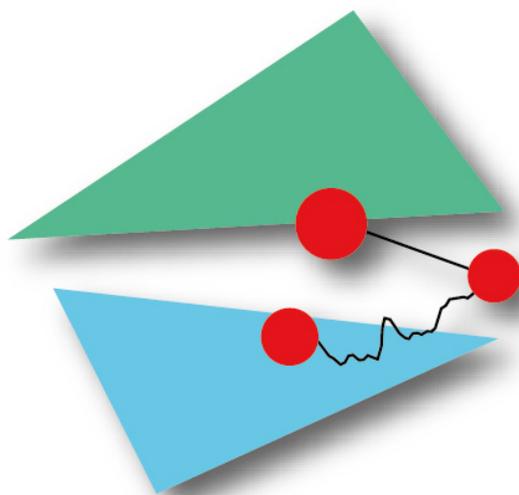


# **ОТ СЛОВА — К РЕПРЕЗЕНТАЦИИ**

**НЕЙРОКОГНИТИВНЫЕ ОСНОВЫ  
ВЕРБАЛЬНОГО НАУЧЕНИЯ**



**Под ред. О.В. Щербаковой**



Санкт-Петербургский государственный университет  
Лаборатория поведенческой нейродинамики

---

# ОТ СЛОВА — К РЕПРЕЗЕНТАЦИИ

## НЕЙРОКОГНИТИВНЫЕ ОСНОВЫ ВЕРБАЛЬНОГО НАУЧЕНИЯ

Под ред. О. В. Щербаковой



Санкт-Петербург

2022

УДК 159.9 + 57 + 80

ББК 88: 81: 28

О80

**Авторский коллектив:**

Ю. Ю. Штыров, О. В. Щербакова, Е. И. Перикова, М. Г. Филиппова, С. Н. Костромина, Е. Д. Благовещенский, А. С. Кирсанов, Д. С. Гнедых, Н. А. Мкртычян, Д. М. Цветова (Курмакаева), Е. Н. Блинова, М. Ю. Васильева, В. М. Князева, А. А. Александров, Н. А. Новиковская, Е. А. Андрющенко, А. Д. Наследов.

**Ответственный редактор:** О. В. Щербакова

**О80 От слова — к репрезентации: Нейрокогнитивные основы вербального научения** / Под ред. О. В. Щербаковой. — СПб: Скифия-принт, 2022. — 358 с.

ISBN 978-5-98620-573-1

В коллективной монографии отражены результаты масштабной междисциплинарной исследовательской программы, выполнявшейся в 2017–2021 гг. в лаборатории поведенческой нейродинамики Санкт-Петербургского государственного университета и посвященной комплексному изучению процессов речевого научения на фонетическом, лексическом и семантическом уровнях. Представлены результаты серии экспериментов, выполненных с помощью таких высокотехнологичных методов, как электроэнцефалография высокой плотности и транскраниальная электрическая стимуляция, и направленных на анализ нейрокогнитивных основ 1) имплицитного и эксплицитного усвоения новых единиц языка детьми и взрослыми, 2) усвоения абстрактных и конкретных понятий, 3) динамических свойств концептуальной системы человека. Издание предназначено для когнитивных ученых, психологов, биологов, лингвистов.

*Все права защищены.*

*Любое использование материалов данной книги полностью или частично без разрешения правообладателя запрещается*

*Данное издание подготовлено и издано на средства гранта Правительства РФ (мегагранта) «Когнитивная нейробиология процессов научения и восприятия языка» № 14.W03.31.0010 (рук. — проф. Ю. Ю. Штыров)*

*Не подлежит продаже*

УДК 159.9 + 57 + 80

ББК 88: 81: 28

О80

ISBN 978-5-98620-573-1

© Коллектив авторов, 2022

# Оглавление

---

От редактора ( <i>О. В. Щербакова</i> ) . . . . .	5
Предисловие ( <i>Ю. Ю. Штыров</i> ) . . . . .	11
Список используемых сокращений . . . . .	21
<b>1. Эксплицитное и имплицитное усвоение новых слов: поведенческие корреляты и нейрофизиологические механизмы (<i>Щербакова О. В., Кирсанов А. С., Филиппова М. Г., Перикова Е. И., Благовещенский Е. Д., Штыров Ю. Ю.</i>) . . . . .</b>	<b>22</b>
1.1. Введение . . . . .	22
1.2. Методы и организация Эксперимента 1 . . . . .	35
1.3. Результаты Эксперимента 1 . . . . .	50
1.4. Обсуждение результатов Эксперимента 1 . . . . .	59
1.5. Методы и организация Эксперимента 2 . . . . .	71
1.6. Результаты Эксперимента 2 . . . . .	74
1.7. Обсуждение результатов Эксперимента 2 . . . . .	79
1.8. Заключение. . . . .	86
1.9. Список литературы. . . . .	89
<b>2. Влияние транскраниальной электрической стимуляции на эксплицитное и имплицитное усвоение новых слов (<i>Перикова Е. И., Филиппова М. Г., Наследов А. Д., Благовещенский Е. Д., Щербакова О. В., Кирсанов А. С., Штыров Ю. Ю.</i>) . . . . .</b>	<b>97</b>
2.1. Введение . . . . .	97
2.2. Методы и организация исследования. . . . .	107
2.3. Результаты . . . . .	118
2.4. Обсуждение . . . . .	131
2.5. Заключение. . . . .	137
2.6. Список литературы. . . . .	138

<b>3. Сверхбыстрое усвоение новой лексики: нейрофизиологические корреляты механизма “fast mapping” у детей и взрослых (Васильева М. Ю., Князева В. М., Александров А. А., Штыров Ю. Ю.). . . . .</b>	<b>144</b>
3.1. Введение . . . . .	144
3.2. Методы и организация Эксперимента 1 . . . . .	164
3.3. Результаты Эксперимента 1 . . . . .	170
3.4. Обсуждение результатов Эксперимента 1 . . . . .	175
3.5. Методы и организация Эксперимента 2 . . . . .	179
3.6. Результаты Эксперимента 2 . . . . .	192
3.7. Обсуждение результатов Эксперимента 2 . . . . .	199
3.8. Заключение. . . . .	200
3.9. Список литературы. . . . .	205
<b>4. Нейрофизиологические механизмы усвоения абстрактной и конкретной семантики (Штыров Ю. Ю., Костромина С. Н., Гнедых Д. С., Благовеценский Е. Д., Мкртычян Н. А., Цветова Д. М.) . . . . .</b>	<b>212</b>
4.1. Введение . . . . .	212
4.2. Методы и организация исследования. . . . .	232
4.3. Результаты . . . . .	244
4.5. Обсуждение . . . . .	261
4.6. Заключение. . . . .	278
4.7. Список литературы. . . . .	280
<b>5. Пластичность концептуальной системы: отсроченное влияние транскраниальной электрической стимуляции на динамику конкретных и абстрактных репрезентаций (Щербакова О. В., Блинова Е. Н., Новиковская Н. А., Андрющенко Е. А., Штыров Ю. Ю.) . . . . .</b>	<b>294</b>
5.1. Введение . . . . .	294
5.2. Методы и организация исследования. . . . .	302
5.3. Результаты . . . . .	325
5.4. Обсуждение . . . . .	338
5.5. Заключение. . . . .	344
5.6. Список литературы. . . . .	345
<b>Об авторах . . . . .</b>	<b>351</b>

## От редактора

---

«Заходят как-то в паб биолог, психолог и лингвист...», — именно так началась история, которая привела в итоге к созданию этой книги. Точнее, биологов, психологов и лингвистов было сразу много, и все они зашли в легендарный<sup>1</sup> кембриджский паб “The Eagle” не просто так, а по делу — отпраздновать завершение только что прошедшей научной конференции “Embodied Language II”. Мероприятие по меркам 2013-го года было не совсем обычным: это сейчас идея о «воплощенном» характере познавательных, в т. ч. речевых, процессов — их тесной связи с сенсорно-перцептивным и моторным опытом субъекта и сходстве мозговых структур, вовлеченных в обработку речевой и неречевой информации, — утратила свою былую революционность и обросла броней многочисленных эмпирических подтверждений, а тогда все мировое сообщество исследователей, активно работающих в русле embodiment-подхода, еще могло полностью уместиться в относительно небольшом помещении. Там-то и состоялась моя первая встреча с Юрием Юрьевичем Штыровым, который тогда заведовал лабораторией магнито- и электроэнцефалографии в Кембридже. Мы немного поговорили о прошедшей конференции и кембриджской архитектуре — и в целом уложились в границы жанра small-talk.

---

<sup>1</sup> В этом пабе в начале 1950-х гг. имели обыкновение обедать сотрудники Кавендишской лаборатории Кембриджского университета и будущие нобелевские лауреаты Дж. Уотсон и Ф. Крик, а в 1953-м году именно в нем было впервые объявлено об открытии двойной спирали ДНК.

Несмотря на то, что знакомство вышло шапочным и по-английски лаконичным, контекст, в котором оно состоялось, послужил неплохим праймингом. Поэтому, когда спустя несколько лет декан факультета психологии СПбГУ А. В. Шаболтас предложила мне подключиться к подготовке заявки на т. н. мегагрант — грант Правительства РФ, самый крупный и престижный в России и в связи с этим невероятно трудный для получения, — которую факультет планировал подавать вместе с Ю. Ю. Штыровым в качестве ведущего ученого, я дала свое согласие без особенных раздумий. В соответствии с условиями гранта, в случае выигрыша заявки на факультете предполагалось создать совершенно новую исследовательскую лабораторию мирового уровня, и было очевидно, что под руководством Юрия Юрьевича (который к тому моменту уже перебрался из Кембриджа в Орхусский университет) из этой затеи может получиться нечто грандиозное в организационном плане и при этом страшно интересное с научной точки зрения.

Основная работа над заявкой пришлась на май 2016-го года. Ю. Ю. Штыров, находясь в Дании, писал по-английски содержательную часть проекта, который был посвящен проблемам речевого научения. Я в Петербурге переводила этот объемный текст на русский язык, попутно адаптируя его к принятой в отечественном психологическом и психолингвистическом дискурсе терминологии (в этом мне помогали Д. Макарова и Е. Никифорова, которым я очень благодарна за их труд). А Елена Викторовна Борисова, руководившая в то время отделом научных исследований нашего факультета, высокопрофессионально готовила необходимые для подачи на грант бесчисленные формы и документы. Несколько недель мы все трудились на пределе возможностей (как интеллектуальных, так и физических, задерживаясь на факультете до глубокой ночи и по несколько раз в день созваниваясь с Юрием Юрьевичем по Скайпу), — и заявка в итоге получилась отличная. В ней удалось удачно соединить то, что — по крайней мере, на деле — соединить практически никогда не удастся даже в тех проектах, которые номинально и считаются междисциплинарными. В заявке были учтены достижения фундаментальной нейробиологии и опыт применения

самых многообещающих и высокотехнологичных методов когнитивной науки; свойственные ленинградской — петербургской психологической школе глубина и комплексный подход к изучению любого психического феномена; наконец, масштабные исследовательские планы опирались на самые передовые экспериментальные парадигмы современной когнитивной лингвистики. И тем обиднее было осознавать, что успех нам, вероятнее всего, не грозит: к тому моменту на факультете психологии уже работала одна лаборатория, не так давно созданная в рамках программы мегагрантов, — и тоже по «языковой» тематике, — поэтому не нужно было быть экспертом, чтобы реалистично оценивать наши шансы на победу в конкурсе как весьма скромные.

Однако в октябре 2016-го года стало ясно, что, по счастью, футурологи из нас так себе: вопреки всем прогнозам заявка выиграла! С этого момента началась история лаборатории поведенческой нейродинамики как нового подразделения Санкт-Петербургского государственного университета. Лабораторию предстояло создать в буквальном смысле с нуля: расчистить и полностью отремонтировать переданные нам в пользование университетские помещения, закупить дорогостоящее оборудование, подготовить рабочие места, сформировать научный коллектив и обучить его новым исследовательским методам. Поскольку масштаб сопутствующей всему перечисленному бюрократии невозможно описать ни в одной книге, почти весь первый год реализации проекта пришлось посвящать решению таких «научных» задач, как переговоры с поставщиками, контроль темпов покраски стен и т. п. Более того, в течение полугода министерство не торопилось перечислять нам положенные средства (без которых невозможно было ни платить зарплату сотрудникам, ни даже купить пачку бумаги для принтера — не говоря уже о заказе всей необходимой техники), но, несмотря на это, ожидало, что мы исправно предоставим отчет за первый год работы в строго установленные сроки. Разумеется, о том, чтобы выполнять запланированные на первый этап проекта нейрофизиологические исследования посреди рулонов линолеума и рабочих лесов, в отсутствие энцефалографов и экспериментальных камер (но зато с ворохом служебных записок

и приказов) не могло быть и речи. Вся научная программа полученного таким трудом мегагранта едва не оказалась под угрозой срыва, но, к счастью, в тот непростой момент нам на помощь пришли коллеги и друзья из Центра нейроэкономики и когнитивных исследований НИУ ВШЭ (г. Москва), которые активно включились в ситуацию и бескорыстно предоставили нам столь необходимое оборудование и доступ к своей базе испытуемых. Мы сердечно благодарим директора Центра Анну Николаевну Шестакову за такую деятельную поддержку! Именно благодаря ей были записаны наши первые ЭЭГ-данные, а проект, вопреки всем препонам, задержкам и бюрократической волоките, все-таки удержался на плаву.

К счастью, описанные трудности удалось как-то преодолеть, и к началу второго года лаборатория заработала уже в полную силу. У нас появилось современное высокотехнологичное оборудование для проведения нейро- и психолингвистических исследований на уровне, отвечающем мировым требованиям: многоканальные стационарные и портативные системы для записи электроэнцефалограмм высокой плотности, многофункциональные транскраниальные электрические стимуляторы, транскраниальный магнитный стимулятор, системы регистрации движений глаз, система для создания виртуальных сред, профессиональное программное обеспечение для обработки ЭЭГ-данных. Были подготовлены полноценные лабораторные помещения — с экранированными и звукоизолированными экспериментальными камерами, в которых могла осуществляться регистрация поведения участников, в т. ч. с помощью систем аудио- и видеослежения, и рабочие места. Постепенно рос и оформлялся научный коллектив, в который вошли как психологи с разной научной специализацией, так и биологи. К исходному костяку каждый год присоединялись новые студенты и аспиранты, которым наш проект позволил начать научную карьеру с опыта работы в сильной команде в режиме «так, как это должно быть». Начали выходить первые публикации по собранным в лаборатории данным.

Также у лаборатории появилось свое «домашнее» научное мероприятие — ежегодная конференция “Neurobiology

of Speech and Language”. С 2017-го по 2021-й год эта конференция прошла внушительный путь, из небольшого семинара для «своих» превратившись в крупное научное событие, определяющее облик профессионального нейро- и психолингвистического ландшафта не только в России, но и во всей Европе (и даже немного за ее пределами). А «своих» за это время стало гораздо больше, о чем красноречиво говорит растущий от года к году состав участников и зашкаливающий уровень звездности приглашенных докладчиков.

В настоящее время лаборатория поведенческой нейродинамики представляет собой научный центр мирового уровня, который по своей инфраструктуре и кадровому составу не имеет аналогов в России. За прошедшие пять лет нам удалось реализовать разработанную Ю. Ю. Штыровым масштабную и уникальную исследовательскую программу, основанную на его многолетнем опыте изучения речи и направленную на всесторонний анализ процессов усвоения фонетических, лексических и семантических свойств новых элементов языка на психологическом и нейрофизиологическом уровнях. В этой книге описаны основные итоги этой многоаспектной работы.

В Главе 1 изложены результаты экспериментов, направленных на сопоставление эффективности основных стратегий усвоения новых слов — эксплицитной и имплицитной — и поиску их нейрональных механизмов с помощью электроэнцефалографии высокой плотности. Глава 2 посвящена описанию того, как влияет на имплицитное и эксплицитное усвоение новых слов транскраниальная электрическая стимуляция. В Главе 3 описаны результаты электрофизиологических исследований, направленных на изучение процесса сверхбыстрого (с одного предъявления) усвоения новых слов у взрослых и детей дошкольного возраста. В Главе 4 представлены результаты экспериментов, выполненных с использованием электроэнцефалографии высокой плотности и транскраниальной электрической стимуляции и направленных на сравнение процессов усвоения новой конкретной и абстрактной семантики. Наконец, Глава 5 отражает результаты исследования, посвященного изучению пластических свойств понятийной системы человека — в частности, того, как транскраниаль-

ная электрическая стимуляция влияет на усвоение и последующую модификацию содержания понятий разной степени обобщенности.

Полученные в рамках данного проекта результаты вносят существенный вклад в понимание процессов речевого научения у человека. Более того, мы впервые так подробно описываем нашу работу на русском языке и надеемся, что наша коллективная монография обогатит российский психо- и нейролингвистический дискурс, ведь развитие отечественной науки — и есть та цель, которую преследует программа мегагрантов. В настоящее время исследования в лаборатории продолжаются, и мы будем рады обратной связи от коллег — психологов, биологов, лингвистов и других специалистов, занимающихся такой сложной и такой многообещающей научной проблемой — проблемой речевых способностей человека.

*О. В. Щербакова*

## Предисловие

---

Как наш мозг обеспечивает реализацию сложных форм поведения, мышления и познания? Этот вопрос по праву занимает свое место на передовом крае научных исследований. Часто говорят, что способность человека к высшим формам интеллектуальной деятельности во многом опирается на уникальное свойство человеческой психики — речевую функцию, обеспечивающую нашу разностороннюю вербальную коммуникацию. Речь и язык служат не только для передачи информации от одного человека к другому, но и для ее организации, структурирования и хранения. Эта функция — уникальный результат эволюции человека как биологического вида, качественно и количественно превосходящий все известные нам коммуникативные системы других животных. Язык определяет нашу индивидуальность и составляет основу нашей социальной, культурной и экономической действительности. Без языковой коммуникации (под которой мы понимаем, конечно, не только устную речь, но и все другие ее формы — например, письмо или язык жестов) невозможна полноценная жизнь индивида, семьи, общества, получение образования, функционирование экономики и государства. По некоторым оценкам, около одной третьей части всего времени, которое мы проводим в состоянии бодрствования, мы разговариваем; если прибавить к этому чтение и переписку, которыми мы практически непрерывно заняты все дни напролет при помощи вездесущих гаджетов, а также просмотр и прослушивание самой разной медиапродукции, то станет ясно, что речь пронизывает буквально все стороны нашей повседневности.

Даже наедине с собой мы с ее помощью формулируем мысли, озвучивая их вслух или проговаривая про себя.

Фактически не существует ни одной нейрокогнитивной функции, которая не была бы связана с речью. По сути, язык определяет работу познавательных процессов, а значит, и мозга в той же степени, что и мозг определяет функционирование языка. При этом, несмотря на очевидную важность речи, она остается одной из самых плохо изученных функций мозга — не в последнюю очередь потому, что как система коммуникации человеческий язык не имеет аналогов по своей сложности и, таким образом, не может быть полноценно изучен на каких-либо модельных биологических объектах. Речевые нарушения, часто встречающиеся как в детстве при расстройствах развития, так и на более поздних этапах жизни в результате травм и заболеваний, не только представляют угрозу для благополучия самих пациентов и членов их семей, но и дорого обходятся обществу в целом. Необходимым условием для успешной диагностики и своевременной терапии таких нарушений, равно как и для разработки программ обучения языку, является понимание нейробиологических основ речевой деятельности, механизмов взаимодействия речи с другими биологическими, познавательными и социальными процессами, а также закономерностей ее становления и распада. В итоге, понимание механизмов функционирования языка может стать ключом к постижению механизмов работы мозга в целом.

Принято считать, что наиболее удивительными свойствами человеческого языка являются его сложность и богатство. Будучи символической системой, язык позволяет кодировать бесконечное количество признаков нашего внутреннего и внешнего мира, а также обмениваться значениями и смыслами. Главными элементами такого информационного потока являются слова, которые мы используем в качестве маркеров того или иного объекта, обладающего для нас смыслом. Для того чтобы эта уникальная человеческая способность могла полноценно функционировать, мы быстро и без особых усилий выучиваем новые слова, что позволяет нам на протяжении жизни выстраивать ментальный лексикон, состоящий из десятков тысяч единиц. Несмотря на это, когнитивные

и нейрональные механизмы, благодаря которым мы запоминаем новые словоформы и устанавливаем связи между словами и их значениями (т. е. усваиваем семантику слов), остаются малоизученными. Каким образом наш мозг выучивает новые слова? Как он ставит новые значения в соответствие ранее не известным сочетаниям звуков или букв? Какие мозговые структуры играют в этом процессе первостепенную роль? Насколько быстро происходят эти нейропластические изменения и поддаются ли они объективной оценке? Возможно ли повлиять на них с помощью нейротехнологий — например, для того, чтобы способствовать речевому научению в норме, компенсировать нарушения речевого развития или бороться с последствиями речевых патологий?

Все эти вопросы, так или иначе связанные с пониманием мозговых механизмов речевого научения и усвоения новых слов, являются центральными для нашей исследовательской работы. Ее результаты и освещает та книга, которую вы держите сейчас в руках. Мы ищем и находим ответы на эти вопросы, используя самые современные методы нейронаук в сочетании с тщательно разработанными психологическими/поведенческими и лингвистическими методами. Это подлинно междисциплинарная работа, которая проводится на стыке очень разных наук — нейрофизиологии, психологии, лингвистики, — и, более того, задействует математические, физические и статистические модели и методы для обработки и интерпретации полученных данных.

Представленные в данной монографии научные исследования — результат масштабного научного проекта, ставшего возможным благодаря самоотверженному труду многих людей и той беспрецедентной поддержке научной деятельности, которая стала оказываться в России в последние годы. Когда-то мне, студенту-биологу сначала Ленинградского, а затем Санкт-Петербургского государственного университета, пришлось стать свидетелем настоящей катастрофы в российской науке. Снижалось и останавливалось финансирование, специалисты уезжали на Запад или вовсе отказывались от академической карьеры, прекращали существование (если не на бумаге, то в реальной жизни) лаборатории и целые направления исследований; молодежь не шла в науку, которая постепенно

стала казаться занятием для безнадежно отставших от жизни интеллектуалов, не сумевших «встроиться в рынок». Тогда трудно было предположить, что этот разрушительный тренд можно будет не только остановить, но и повернуть вспять. После периода деградации и мучительного выживания, продлившегося, по моим оценкам, не менее полутора десятков лет, в России постепенно начали появляться новые системы поддержки науки, стала формироваться структура грантового финансирования, а главное — вернулось понимание того, что успешное существование и развитие общества и экономики невозможно в отсутствие фундаментальных исследований. Наука стала не только снова интересной для молодежи и общества в целом, но и модной — как грибы, стали появляться новые научно-популярные ресурсы, медиапроекты и фестивали.

Особой вехой в развитии «новой науки в новой России» стала правительственная программа т. н. мегагрантов, которая поставила своей целью привлечение крупных ученых международного уровня, причем не просто для выполнения исследований, а непременно для создания новых лабораторий и научных центров, способных стать точками роста, центрами передачи знаний и компетенций, т. е. своего рода катализаторами развития, в самых разных областях науки. Именно благодаря такому мегагранту, выигранному мной как ведущим ученым в сотрудничестве с факультетом психологии СПбГУ, и была создана лаборатория поведенческой нейродинамики, быстро ставшая одним из наиболее современных центров когнитивной нейронауки в РФ. Оснащенная в соответствии с самыми высокими международными стандартами лаборатория и ее молодой, динамичный, мультидисциплинарный коллектив поставили своей целью изучение того, как наш мозг осваивает слова. Мы создали технологическую базу для проведения исследований, которая позволила нам выявить электрофизиологические корреляты мгновенного формирования мнемических репрезентаций в ответ на предъявление новых словоформ и таким образом продемонстрировать существование различных нейрональных основ разных типов научения, а также показать паттерны нейрональной активации, соответствующие усвоению понятий разной степени обобщенности. Кроме того, нам удалось установить электрофизиологические

корреляты мгновенных нейропластических изменений, подлежащих формированию репрезентаций новых слов с одного предъявления, и продемонстрировать эффективность неинвазивного модулирования процесса научения на нейрональном уровне с помощью инструментов стимуляции мозга. Подробности этих исследований вы найдете в главах данной книги. Но это не единственный результат нашей работы. Проект не только создал уникальную современную экспериментальную инфраструктуру и позволил ответить на ряд вопросов, связанных с нейрональными основами речевых способностей. Он открыл перспективы для будущих исследований и подготовил новых специалистов, которые продолжают успешно заниматься нейрокогнитивными исследованиями и сейчас, когда поддержка мегагранта уже завершилась. Это поколение исследователей, обладающее передовыми знаниями, техническими навыками и пониманием того, как делается современная наука, — главный результат как данного проекта, так и всей программы мегагрантов в целом.

Залогом нашего успеха, конечно, стала не только федеральная грантовая поддержка. Никакие гранты и никакой административный ресурс не способны достичь результата, если не будет главного — коллектива единомышленников, способных и желающих добиться результатов, несмотря на все встречающиеся на их пути трудности. А последних нам удалось преодолеть немало. Здесь можно вспомнить разное: и бюрократические проволочки, и задержки в поступлении грантовых средств и в поставках оборудования, и теоретические споры и разногласия о направлении исследований, и технические сложности в подготовке и проведении экспериментов, и кажущиеся нестыковки в интерпретации их результатов, и катастрофические помехи нашей работе в последние два года проекта, когда разразившаяся пандемия коронавируса поставила с ног на голову все представления о нормах и практиках в научной-исследовательской деятельности. Все это наш коллектив успешно преодолел. Именно его членам, принимавшим участие в становлении проекта, создании лаборатории, выполнении исследований, технической и административной поддержке нашей работы, я бы хотел посвятить слова искренней и глубокой признательности.

Если подойти к этому в хронологическом порядке, то прежде всего я хочу поблагодарить Анну Николаевну Шестакову, ставшую инициатором заявки на мегагрант — и сделавшую это абсолютно бескорыстно, так как она, работая в Москве, не могла принимать участие в самом проекте. В тепер уже далеком 2016-м году Анна Николаевна познакомила меня с факультетом психологии СПбГУ. Итогом краткой встречи, на которую она пригласила декана факультета Аллу Вадимовну Шаболтас и заведующую кафедрой психологии личности Светлану Николаевну Костроминову, стала твердая уверенность в полном взаимопонимании и общности научных интересов и целей. Я очень благодарен Алле Вадимовне и Светлане Николаевне, горячо поддержавшим идею совместной заявки и много сделавшим для того, чтобы она стала реальностью. Алла Вадимовна с фантастической энергичностью убедила университет в необходимости поддержать нашу инициативу. Забегая вперед, скажу, что после выигрыша гранта она так же энергично работала над тем, чтобы проект смог запуститься как можно скорее — чтобы были выделены помещения, согласованы разные формальности, был сформирован коллектив и т. д. и т. п. Моя благодарность в целом адресована не только ей, но и всему факультету психологии, который стал нашим якорем в университете и поддерживал нас на всем протяжении проекта. Хотя административно мы и не относились к факультету, эта поддержка и плодотворное научное взаимодействие с его сотрудниками сделали его нашим родным домом.

Работа над самой заявкой велась в тесном сотрудничестве с доцентом кафедры общей психологии Ольгой Владимировной Щербаковой, сквозь чье пристальное внимание прошло каждое слово в этом документе. Мне стыдно признаться, но за десятилетия работы за границей я практически утратил способность писать академическим русским языком. Без Ольги Владимировны, в обсуждении деталей гранта с которой было проведено немало часов в Скайпе и произведены объемы электронной переписки, способные превзойти Большую советскую энциклопедию, не состоялась бы ни заявка, ни изданные за время проекта многочисленные отчеты и публикации, ни эта книга, которую она самоотверженно редак-

тировала на протяжении многих месяцев. Опять же, забегая вперед, отдельно отмечу неоценимый вклад О.В. Щербаковой как организатора ежегодных международных конференций “Neurobiology of Speech and Language”, ставших не только визитной карточкой лаборатории, но и новой точкой притяжения всего когнитивного сообщества. Административное и финансовое оформление заявки было бы невозможно без Елены Викторовны Борисовой, которая оказывала нам высокопрофессиональную помощь во всем, что касалось формальных аспектов взаимодействия с университетом, министерством и оператором грантов в Москве как на стадии подготовки проекта, так и в годы его осуществления. Нам очень не хватало Елены Викторовны на заключительных этапах проекта после того, когда она покинула университет.

Вскоре после выигрыша гранта стал формироваться коллектив и начали выкристаллизовываться детали наших исследований, которые, конечно же, пришлось приводить в соответствие с постоянно уходящим вперед научным прогрессом, с реальностью того, что было нам под силу в рамках выделенного финансирования и доступного оборудования, а также с интересами разрастающегося на глазах научного коллектива. О.В. Щербакова и научный сотрудник кафедры общей психологии Маргарита Георгиевна Филиппова составили костяк научной группы, взявшей за изучение имплицитных и эксплицитных механизмов научения при помощи сочетания поведенческих методик с электроэнцефалографией (ЭЭГ) и транскраниальной электрической стимуляцией (ТЭС). Разработанные ими парадигмы исследований и стимульный материал стали основой очень плодотворного направления работ, продолжающегося до сих пор и описанного в ряде научных публикаций, в том числе и в этой книге. К ним вскоре присоединились молодые исследователи — студентка факультета Елизавета Никифорова и аспирант Александр Кирсанов, взявшие на себя разнообразные задачи, выполнение которых было необходимо для воплощения этих исследований. Александр, помимо этого, стал ключевым специалистом в техническом обеспечении работы лаборатории, а также в дизайне графики, аудио- и видеоматериалов. Позднее в этот коллектив вошли Екатерина Игоревна Перикова в роли старшего научного

сотрудника (о чем я еще скажу ниже), и аспирант факультета Кирилл Мирошник, помимо всего прочего внесший заметный вклад в статистический анализ данных в последний год проекта.

Параллельно с этим стало оформляться не менее интересное направление исследований — изучение механизмов усвоения разных типов семантики. По инициативе и при самом деятельном участии С.Н. Костроминой оформилась группа, чьи исследования сосредоточились на научении конкретным и абстрактным словам. В нее вошли доцент кафедры психологии образования и педагогики Дарья Сергеевна Гнедых и аспиранты — Надежда Мкртычян и Диана Цветова (Курмакаева). Этот удивительно слаженный и работоспособный коллектив разработал уникальные экспериментальные парадигмы для решения непростой задачи сравнения двух столь различных типов семантики в целой серии экспериментов, проведенных с помощью ТЭС и ЭЭГ и описанных в ряде научных публикаций. Успешное развитие данного направления стало одной из изюминок лаборатории и принесло немало интересных открытий, о некоторых из которых вы сможете прочитать ниже.

Вскоре к нам присоединились еще два члена коллектива, ставшие ключевыми в нашей работе. Физиолог Евгений Дмитриевич Благовещенский вошел в обе исследовательские группы и стал нашим экспертом во всем, что касалось записи и обработки электроэнцефалографических данных, а также экспериментальных исследований с применением методов неинвазивной нейростимуляции. Особо значимым приобретением для лаборатории стала Е.И. Перикова. Екатерина Игоревна смогла удивительным образом сочетать тяжелую и сложную работу по обеспечению администрирования проекта, которую осуществляла с самого начала, с эффективной научной деятельностью, в 2019-м году присоединившись к группе, занимающейся изучением имплицитных и эксплицитных механизмов усвоения новых слов. Ее внимание ко всем деталям каждого дела, невероятная трудоспособность, подлинное погружение в любой вопрос, будь то согласование служебных записок, выбор метода для статистического анализа или подготовка и подача заявки на грант, в значительной степени способствовали успешности всего проекта.

По мере того как росла лаборатория, расширялся и горизонт наших исследований. К нам присоединились коллеги с кафедры высшей нервной деятельности и психофизиологии биологического факультета: старший научный сотрудник Марина Юрьевна Васильева, научный сотрудник Вероника Михайловна Князева, заведующий кафедрой Александр Алексеевич Александров, которым я благодарен за то, что они взялись за особо сложный аспект проекта — изучение нейробиологических основ речевого научения у детей. Марина Юрьевна координировала эту сложную работу, контактировала с родителями и детскими садами. Вместе с В.М. Князевой они смогли организовать настоящую babylab в рамках нашей лаборатории и провести серию новаторских исследований по усвоению новой лексики с одного предъявления, чему посвящена одна из глав монографии.

С расширением академических контактов и интересов оформилась еще одна исследовательская группа. Студенты и аспиранты факультета психологии Надежда Новиковская, Екатерина Блинова и Екатерина Андрющенко под руководством О.В. Щербаковой занялись изучением не только формирования, но и последующей модификации и разрушения репрезентаций слов, а также вопросами о роли мультимодальной интеграции в процессах восприятия. Е. Блинова и Е. Андрющенко, помимо этой научной работы, внесли огромный вклад в самые различные аспекты деятельности лаборатории. Позднее к этой дружной группе присоединилась студентка факультета Татьяна Исаева, также много сделавшая для нашей работы.

Через лабораторию прошло немало студентов и аспирантов, которые активно принимали участие в самых разных сторонах нашей работы — сборе и обработке данных, проведении конференций, подготовке документов, поддержке интернет-ресурсов и массе других дел. Кроме уже упомянутых выше представителей этого молодого поколения исследователей, я хочу искренне поблагодарить всех, кто в разное время обеспечивал бесперебойную работу лаборатории: это Варвара Аверьянова, Алексей Филиппов, Анастасия Юрьева, Антон Ямпольский, Екатерина Грабовая, Виктор Тимохов, Артём Сачек и многие другие. Отдельную благодарность за деятель-

ное участие в статистическом анализе следует выразить заведующему кафедрой педагогики и педагогической психологии СПбГУ Андрею Дмитриевичу Наследову.

Лаборатория благодарна всем принимавшим участие в ее работе стажерам и волонтерам (в основном из числа студентов-психологов и биологов), а также тем, без кого наши исследования не были бы возможны, — многим сотням наших испытуемых: как взрослым добровольцам, так и малышам и их родителям, которые своим участием в наших экспериментах внесли ключевой вклад в научный прогресс.

В конце этого списка благодарностей, который можно было бы продолжить еще на многих страницах, я хочу выразить свою глубокую признательность всем коллегам-соавторам, чей труд сделал возможной эту книгу и чьи имена по праву украшают ее главы. Особую благодарность хочу принести автору идеи и редактору монографии О. В. Щербаковой, а также Е. Блиновой, выполнившей тяжелую, скрупулезную и многократную корректорскую правку; именно их труд превратил собрание разношерстных текстов в единое и целостное повествование. Это издание — не только законченное произведение, призванное осветить огромный пласт проделанной нашим коллективом исследовательской работы, но и залог будущих научных успехов и новых экспериментов, которые продолжают открывать тайны работы человеческого мозга.

*Ю. Ю. Штыров*

## Список используемых сокращений\*

---

- ВП — вызванные потенциалы мозга  
ВР — время реакции  
ДОУ — дошкольное образовательное учреждение  
МЭГ — магнитоэнцефалография  
ПЭТ — позитронно-эмиссионная томография  
ТМС — транскраниальная магнитная стимуляция  
ТЭС — транскраниальная электрическая стимуляция  
(ф)МРТ — (функциональная) магнитно-резонансная томография  
ЭОГ — электроокулограмма  
ЭЭГ — электроэнцефалография  
AIC — Akaike information criterion (информационный критерий Акаике)  
ANOVA — analysis of variance (дисперсионный анализ)  
BIC — Bayesian information criteria (байесовский информационный критерий)  
BOLD — blood oxygenation level-dependent (зависимый от уровня кислорода в крови)  
EE — explicit encoding (эксплицитное научение)  
(e/s)LORETA — (exact/standardized)Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography ((точная/стандартизованная) электромагнитная томография низкого разрешения)  
FM — fast mapping («быстрое отображение», имплицитное научение)  
GFP — global field power (мощность глобального поля)  
GLMM — generalized linear mixed models (обобщенные линейные смешанные модели)  
gRMS — global root mean square (общее среднеквадратичное значение)

---

\* Для удобства читателей цифровые версии всех представленных в монографии рисунков размещены на ресурсе: <https://osf.io/mabv7/>

# Глава 1

## Эксплицитное и имплицитное усвоение новых слов: поведенческие корреляты и нейрофизиологические механизмы

---

### Введение

Способность человека к речевому общению представляет собой уникальную когнитивную возможность, которая отличает *Homo sapiens* от всех остальных живых существ, населяющих нашу планету. Несмотря на ту критически важную роль, которую язык играет в нашем благополучии как на индивидуальном уровне, так и на уровне общества в целом, сам вопрос о происхождении языка все еще остается одной из главных загадок эволюции. Один из самых существенных пробелов в этом знании касается недостаточного понимания тех когнитивных и нейрональных процессов, которые лежат в основе речевого научения, обеспечивающего нас возможностью успешного усвоения огромного количества новых слов как в детстве, так и в более поздние периоды жизни, когда, уже будучи взрослыми, мы изучаем иностранный язык или

---

**Ссылка для цитирования:** Щербакова О. В., Кирсанов А. С., Филиппова М. Г., Перикова Е. И., Благовещенский Е. Д., Штыров Ю. Ю. Эксплицитное и имплицитное усвоение новых слов: поведенческие корреляты и нейрофизиологические механизмы // От слова — к репрезентации. Нейрокогнитивные основы вербального научения / Под ред. О. В. Щербаковой. — СПб: Скифия-принт, 2022. — С. 22–96.

осваиваем специфическую для той или иной сферы деятельности профессиональную лексику. В данной главе мы рассмотрим основные вопросы, связанные с речевым научением, обозначим пробелы, существующие в имеющихся на данный момент знаниях, и опишем собственную экспериментальную работу, направленную на их преодоление.

Психологические и нейрофизиологические механизмы усвоения новых слов представляют собой научную проблему, дискуссии вокруг которой не утихают на протяжении последних десятков лет (для обзора см., например, Dollaghan, 1985; Davis, Gaskell, 2009). Сам процесс научения принято подразделять на два этапа — первоначальное кодирование информации и ее последующую консолидацию. И если про кодирование известно, что оно происходит очень быстро и связано с задействованием многих областей мозга, среди которых наиболее важную роль играет срединная височная доля, включающая в себя гиппокамп и прилегающие к нему области коры, то консолидация представляет собой более стадийный процесс, который завершается формированием следов долговременной памяти на уровне новой коры (McClelland et al., 1995; Norman, O'Reilly, 2003).

Эта двухступенчатая модель, известная как «взаимодополняющие системы научения» (complementary learning systems), имеет многочисленные эмпирические подтверждения — начиная от исследований, которые были выполнены на животных с разрушенным гиппокампом и/или неокортексом и показали, что эти структуры по-разному влияют на два этапа процесса научения (Talpos et al., 2008), а также клинических работ, в которых были проанализированы данные пациентов, имеющих повреждения в области гиппокампа и демонстрирующих характерные признаки ретроградной амнезии (Scoville, Milner, 1957; Sharon et al., 2011), до компьютерных моделей, симулирующих образование следов памяти в искусственно созданных нейросетях (O'Reilly, McClelland, 1994). Этот подход был дополнен данными, полученными в ряде классических исследований в области речевого научения, согласно которым новые, только что выученные слова полностью интегрируются в ментальный лексикон только после завершения этапа ночной консолидации, которая сопрово-

ждается изменениями в активности новой коры и срединной височной доли (Gaskell, Dumay, 2003; Davis, Gaskell, 2009; Himmer et al., 2017). Несмотря на то, что описанный подход позволяет найти удовлетворительные объяснения для целого ряда феноменов памяти, научения и языка, известна и другая точка зрения, согласно которой существуют мозговые пути, идущие в обход гиппокампа и обеспечивающие — по крайней мере, в некоторых случаях — прямое усвоение новых слов на уровне неокортекса (см. для обзора Shtyrov, 2012).

В реальной жизни усвоение новых слов, вероятно, может осуществляться посредством одной из двух основных стратегий: эксплицитно, с помощью прямой инструкции («Это *глорн*. Пожалуйста, запомните его»), или имплицитно, с помощью дедуктивного вывода на основе имеющейся контекстной информации («Там на столе стоят ваза, чашка и *глорн*. Какого цвета *глорн*?»). Эти две стратегии хотя и не являются полностью взаимоисключающими, все же имеют ряд существенных различий. Эксплицитное научение, которое часто называют эксплицитным кодированием (explicit encoding, далее — ЕЕ), обычно предполагает, что подлежащая запоминанию информация предьявляется несколько раз (иногда — многократно повторяясь) на протяжении некоторого времени или в несколько приемов — например, так, как это обычно бывает на школьных уроках при изучении нового материала. Такой тип научения можно охарактеризовать как преднамеренное (Копорак et al., 1987; Shtyrov et al., 2019).

В противоположность этому осуществление дедуктивного вывода на основе имеющейся контекстной информации обычно происходит в повседневной жизни в ходе взаимодействия между людьми и, похоже, приводит к практически мгновенным результатам, которые становятся очевидны еще до того, как произойдет консолидация (перевод информации из кратковременной памяти в долговременную). Для того, чтобы такой вывод стал возможным, требуется не так уж много предьявлений нового слова (возможно даже, что достаточно всего одного или нескольких) — при условии, что сам контекст позволяет вывести новое знание методом исключения или за счет использования дедуктивной логики (Bloom, Markson, 1998; Halberda, 2006; Horst, Samuelson, 2008; Vasilyeva et al., 2019). Такое бы-

строе имплицитное научение, осуществляемое на основе контекстной информации посредством логического вывода (и, следовательно, являющееся не преднамеренным, а случайным), часто называют мгновенным, или быстрым, отображением (fast mapping, далее — FM) (Carey, Bartlett, 1978). По-видимому, этот способ научения играет ключевую роль при усвоении новых слов в процессе естественного овладения языком.

Несмотря на то, что способность к научению посредством использования FM-стратегии сохраняется на протяжении всей жизни, она, по всей вероятности, в наибольшей степени выражена у детей дошкольного и младшего школьного возраста (Rohde, Tiefenthal, 2000; Bion et al., 2013). Важно учесть, что в этом возрасте эпизодическая память работает еще не в полную силу, а обеспечивающий ее работу гиппокамп пока далек от своего полного развития (Bauer, 2008). Это означает, что FM-научение не может осуществляться с опорой на мнемические механизмы, связанные с работой средне-височных отделов мозга. Действительно, ранее высказывались предположения о том, что FM (в отличие от ЕЕ) в меньшей степени опирается на работу средне-височных областей и гиппокампально-неокортикальных связей, обеспечивающих процессы консолидации, и в основном зависит непосредственно от функций новой коры (Shtyrov, 2012). Например, клинические исследования показали, что, в то время как прямое (т. е. осуществляемое ЕЕ-способом) предъявление новой информации (например, названий изображенных на картинках предметов) пациентам с поражением гиппокампа не приводит к каким-либо убедительным результатам на поведенческом уровне, использование FM-стратегии позволяет таким пациентам успешно усваивать новые слова — при этом важно, что подобное усвоение становится невозможным в случае, если новая кора повреждена (Sharon et al., 2011; Warren, Duff, 2014; Warren et al., 2016). Кроме того, FM-научение (в противоположность ЕЕ) связано с тем, что в процессе кодирования активируется более широко распределенная неокортикальная сеть, которая, по-видимому, включает в себя височные области, и в особенности переднюю височную долю, как было показано на выборке здоровых взрослых испытуемых в исследовании с использованием функциональной магнитно-резонансной

томографии (фМРТ) (Atir-Sharon et al., 2015; Merhav et al., 2015). В свою очередь, неокортикальные образования передней височной доли и височных областей в целом обычно рассматривают как центр, в котором пересекаются распределенные нейрональные контуры, отвечающие за мнемические репрезентации слов (Patterson et al., 2007). Важно отметить, что при том, что консолидация выученной информации во время ночного сна, по всей видимости, положительно сказывается на результатах ЕЕ-научения, при использовании FM-стратегии после прохождения этой стадии в мнемических репрезентациях не наблюдается каких-либо изменений (Merhav et al., 2015). Представляется само собой разумеющимся, что в основе двух обсуждаемых нами стратегий научения, столь сильно различающихся по своим мозговым коррелятам, должны лежать различные мозговые механизмы, т. к. только это позволило бы объяснить существующую разницу в динамике и результативности ЕЕ- и FM-типов усвоения информации.

Несмотря на важность описанных выше открытий, связанных с закономерностями работы основных стратегий научения, результаты некоторых исследований являются противоречивыми, а ряд вопросов пока еще ожидает своего решения. К примеру, обнаруженные в одних работах преимущества FM-стратегии (и/или ее отличия от ЕЕ-научения с точки зрения результативности) были подвергнуты сомнению в других исследованиях, в которых описанные результаты воспроизвести не удалось (см. Greve et al., 2014; Cooper et al., 2019). Кроме того, несмотря на часто встречающееся в литературе утверждение о том, что FM-стратегия является более выигрышной, на деле в большинстве перечисленных выше работ было продемонстрировано, что показатели распознавания новых слов оказываются более высокими, если эти слова заучены при помощи ЕЕ-стратегии (хотя сам по себе этот факт и не опровергает идею о предполагаемых различиях между мозговыми механизмами двух данных типов научения). Другим существенным ограничением, от которого страдает большинство работ в этой области, является слабый контроль над вмешивающимися переменными при экспериментальном сопоставлении двух стратегий научения: в частности, те задания, на примере которых сравнивается поведенческая эффективность

FM- и ЕЕ-стратегий, различаются между собой не по одному, а по целому ряду параметров, из-за чего чистота экспериментальных процедур и, следовательно, надежность полученных с их помощью данных вызывают серьезные сомнения.

Наиболее распространенная экспериментальная парадигма, применяемая в исследованиях такого типа, основана на использовании задания на формирование ассоциации между словом и изображением (как, например, в Merhav et al., 2015). В таком задании в FM-условии испытуемому предъявляется два или более изображения, только одно из которых является изображением ранее неизвестного объекта, и вопрос, на который нужно дать ответ. Для того чтобы понять, к которому из двух предъявленных изображений относится новое слово, реципиенту необходимо осуществить логическую операцию и самостоятельно прийти к выводу о том, что незнакомое слово, на вопрос о котором нужно ответить (например, «На *глорпе* растут листья?»), связано именно с незнакомым изображением. При этом в ЕЕ-условии обычно предъявляется изображение только одного объекта в сочетании с его названием («Это *глорп*»).

Дизайн такого типа, хотя и является достаточно распространенным, совершенно не учитывает, что стимулы в том и другом условии обязательно должны быть сбалансированы по своим базовым визуальным параметрам, — иначе уже на начальных этапах зрительной обработки они будут различаться между собой с точки зрения перцептивной нагрузки на испытуемого. Более того, на последующих этапах выполнения задания, связанных с более сложной когнитивной обработкой предъявленного материала, эта недостаточная сбалансированность приведет к тому, что в разных экспериментальных условиях внимание испытуемых будет по-разному распределяться внутри зрительного поля. Хотя внимание, как и исполнительные функции в целом, безусловно, играет важную роль в обеспечении научения и может оказывать существенное влияние на его результаты (Kimpra et al., 2016), сами по себе механизмы внимания не связаны с работой речевой системы напрямую, поэтому уже на этапе планирования экспериментальной процедуры их роль необходимо свести к минимуму или хотя бы сбалансировать между различными

экспериментальными условиями. Наконец, из-за сущностной разницы между двумя условиями научения (ЕЕ и FM) оказывается невозможно избежать того, что соответствующие им экспериментальные задания выглядят совершенно по-разному с точки зрения испытуемого; эта разница дополнительно усугубляется особенностями формулировки инструкций в экспериментах такого типа. Обычно в FM-условии (Carey, Bartlett, 1978; Atir-Sharon et al., 2015) используется вопрос («На *глорне* растут листья?») или просьба («Принеси/покажи мне *глорна*»). Однако с точки зрения прагматики наименование, вопрос и просьба представляют собой разные речевые акты (Searle, Searle, 1969), предъявляющие различные требования к когнитивной системе реципиента и опирающиеся на работу хотя и пересекающихся, но все же не совпадающих между собой мозговых контуров (van Ackeren et al., 2012; Egorova et al., 2014), что делает задачу нахождения любых поведенческих или нейрофизиологических различий между FM- и ЕЕ-научением еще более сложной. Несмотря на то, что полностью сбалансировать экспериментальные условия, соответствующие двум стратегиям научения, не сделав их при этом идентичными друг другу по своей сути, невозможно, все же следует стремиться к тому, чтобы исключить влияние как можно большего количества дополнительных факторов, включая визуальные характеристики стимулов, аттенционную и общую когнитивную нагрузку на испытуемого, контекст, в котором происходит предъявление стимулов, и способ формулировки инструкций. Именно такая попытка и была предпринята в нашей экспериментальной работе, которая будет описана ниже.

В целом же экспериментальные парадигмы, использующиеся в современных работах, посвященных проблеме речевого научения, сильно различаются между собой с точки зрения того, как именно происходит обучение испытуемых новым словам. Это может происходить, например, посредством выполнения ими заданий на формирование ассоциаций между словами и изображениями, в которых словоформы предъявляются устно и/или письменно, либо сами по себе (Breitenstein et al., 2005), либо в составе предложений (т. е. контекстно) (Mestres-Missé et al., 2007, 2008); в некоторых случаях и вовсе могут использоваться отдельные словофор-

мы, лишенные какой-либо семантической нагрузки (Gaskell, Dumay, 2003; Shtyrov et al., 2010). Более того, в одних исследованиях словоформы предъявляются чисто перцептивным способом, в то время как в других от испытуемых требуется не только воспринимать новые слова, но и повторять их, самостоятельно проговаривая (Rauschecker et al., 2008) (очевидно, что результаты подобных работ обладают большей экологической валидностью, поскольку, как известно, в реальной жизни артикуляция неотделима от процесса речевого научения).

Помимо уже описанных выше, существует и еще одна проблема: результаты, полученные в разных исследованиях, не совпадают друг с другом также и потому, что в разных работах научение изучается на примере усвоения информации совершенно разных модальностей, что еще больше усложняет общую картину. Для того чтобы получить более чистые данные относительно эффективности того или иного способа речевого научения и той роли, которую в нем играют разнообразные дополнительные факторы, необходимо прямо сопоставлять между собой результаты зрительного и слухового (как наиболее естественного для речевых ситуаций) способов предъявления новых слов, а также итоги усвоения речевых стимулов, предъявленных в контексте или в его отсутствие, с семантической привязкой или без нее, чисто перцептивно или с проговариванием новых словоформ и т. д.

Точно такая же точность требуется и при оценке результатов научения. Опять же, в разных экспериментах исследователи используют разные задания, которые чаще всего включают в себя задачи на свободное воспроизведение (*free recall*), лексическое решение (*lexical decision*) и узнавание (*familiarity judgement/recognition*). Однако все эти задания позволяют оценить результаты научения только на самом поверхностном лексическом уровне и не дают возможности получить полный доступ к лексико-семантическим характеристикам только что сформировавшегося следа памяти. Следовательно, необходимо использовать более комплексные способы проверки, включающие, наряду с чисто лексическими заданиями, задания на проверку усвоения семантики (например, задание на вынесение семантического суждения (*semantic judgement*), установление семантического соответствия (*semantic matching*), самостоя-

тельное определение понятия (*free-form definition*) — вплоть до проверки качества усвоения материала с помощью его понимания из контекста. Более того, проверку усвоения семантических свойств новых словоформ можно также осуществлять посредством регистрации паттернов мозговой активации — например, модально-специфических нейронных контуров, соответствующих определенной группе значений (Macedonia et al., 2011; Vukovic, Shtyrov, 2014; Mayer et al., 2015).

Аналогичным образом авторы многих работ ограничиваются проведением контрольных замеров сразу после завершения экспериментального воздействия и никак не учитывают процессы консолидации, протекающие в долговременной памяти и играющие существенную роль в научении — по крайней мере, на некоторых его этапах (McMurray et al., 2016). Гораздо правильнее было бы осуществлять проверку усвоения выученного материала как сразу после его заучивания, так и после периода консолидации, происходящей во время ночного сна, — а равно, если это возможно, спустя несколько недель или месяцев, что позволило бы оценить эффективность сохранения выученного материала в памяти.

Наконец, последнее и самое главное — это то, что основная часть предшествующих исследований, направленных на поиск различий между двумя стратегиями научения, была выполнена на основе исключительно поведенческих методов и/или с применением «медленных» нейровизуализационных техник (таких, например, как функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ)). Однако использование таких методов в принципе не позволяет зафиксировать быстрые (иногда занимающие всего несколько миллисекунд) нейрональные изменения, имеющие критическое значение для понимания речевых процессов, т. к. речь представляет собой когнитивную функцию, успешная работа которой полностью зависит от быстрой обработки мощного, постоянно меняющегося потока слуховой и/или зрительной информации, последовательно — и очень быстро — разворачивающейся во времени (Friederici, 2002; Pulvermüller et al., 2009; MacGregor et al., 2012; Shtyrov, Stroganova, 2015; Jensen et al., 2019). Это означает, что как внешне наблюдаемые поведенческие реакции, так и параметры регистрируемого с помощью фМРТ

гемодинамического BOLD-сигнала вовсе не обязательно имеют отношение к самой по себе активации мнемического следа или другим происходящим в это время информационным процессам, а могут быть связаны с какими-либо вторичными явлениями, возникающими уже после усвоения значения слова.

Для того чтобы понять сущность нейрональных процессов, лежащих в основе различных типов речевого научения, необходимо иметь возможность измерять электрическую активность нейронов напрямую, непосредственно. Такую возможность может обеспечить использование нейровизуализационных техник с высоким временным разрешением, таких как электроэнцефалография (ЭЭГ) или магнитоэнцефалография (МЭГ), а еще лучше — сочетание сразу нескольких методов, например, получение комплексных ЭЭГ-МЭГ-данных и их последующая обработка с использованием анализа источников на основе индивидуальных для каждого испытуемого снимков МРТ. Несмотря на то, что метод ЭЭГ, который обладает более высоким временным разрешением, активно применяется для изучения нейрональных основ усвоения новых слов, исследования с использованием этой технологии редко бывают направлены на прямое сопоставление двух известных стратегий научения. Кроме того, в посвященных теме научения электроэнцефалографических работах в качестве индикатора усвоения новой информации чаще всего используется хорошо зарекомендовавший себя в этом качестве компонент вызванных потенциалов (ВП) N400, связанный с обработкой речевой информации (например, Borovsky et al., 2012; Abel et al., 2018). N400 наиболее известен как показатель семантической согласованности — например, слов внутри предложения (van Berkum et al., 1999; Kutas, Federmeier, 2011). Однако, несмотря на то, что динамика компонента N400 действительно указывает на быструю интеграцию в лексикон новых слов, выученных FM-способом (Mestres-Missé et al., 2007; Vasilyeva et al., 2019), она может отражать не построение или активацию ментальной репрезентации слова как таковую, а скорее более позднюю активность, связанную с контекстом предъявления информации и процессами ее интеграции в этот контекст. В то же время в других работах было показано, что более ранние ВП-ответы ( $< 300$  мс) имеют более непо-

средственное отношение к автоматической активации соответствующих словам мнемических контуров (Pulvermüller et al., 2009; Shtyrov, 2010) и связаны с такими лексико-семантическими особенностями стимулов, как степень знакомости, частота встречаемости или значение.

Чисто теоретически выбор той или иной стратегии научения может зависеть от контекста, в котором это научение происходит, наличных психических ресурсов субъекта и его целей, а результативность этой стратегии, в свою очередь, может быть различной в зависимости от возраста испытуемого, особенностей его мозговой деятельности, умственных способностей и влияния общих средовых факторов. Более того, представляется крайне маловероятным, что в естественной языковой среде (которая все-таки сильно отличается от ситуации школьного урока) усвоение новых слов хоть первого, хоть второго языка будет осуществляться исключительно на основе какой-то одной стратегии. Наоборот, обе стратегии научения могут задействоваться одновременно, что может привести к более успешному усвоению речи — хотя вопрос о том, в какой мере используется та или иная стратегия в зависимости от конкретной ситуации и языка (первого или второго), остается открытым. Важно подчеркнуть, что нейронные контуры, задействованные в работе обоих мозговых механизмов, пересекаются друг с другом (в основном в районе левой височной доли), а тесная взаимосвязь между этими структурами (Catani, Mesulam, 2008; Friederici, 2012) обеспечивает беспрепятственный обмен информацией между ними. Кроме того, другие участвующие в научении процессы (сравнение новой информации с уже имеющимся опытом, формирование связей, дифференциация, извлечение нужных сведений из памяти) также могут оказывать влияние на усвоение нового материала на разных этапах. Поэтому эти и другие факторы обязательно нужно принимать во внимание при изучении стратегий языкового научения.

Подводя итог, можно сказать, что в известной на данный момент литературе высказываются предположения о существовании взаимно пересекающихся, но в то же время различных стратегий научения, отвечающих за усвоение человеком новых слов: эксплицитной, основанной на прямых инструкциях, и имплицитной, осуществляющейся посредством

дедуктивного вывода на основе контекста. Эти стратегии различаются по скорости своей работы и опираются на функционирование частично различающихся нейрональных сетей. При этом существующие исследования, посвященные сопоставлению эффективности этих двух стратегий и поиску их конкретных нейрофизиологических оснований, сильно разнятся с точки зрения использованной в них методологии и поэтому дают достаточно противоречивую картину.

Для заполнения обозначенных выше пробелов мы провели два ЭЭГ-эксперимента, объединенных общей методологией. Мы разработали оригинальную экспериментальную парадигму, которая предполагала, что испытуемым необходимо усвоить 10 новых словоформ, предъявляющихся на слух в сопровождении соответствующих им иллюстраций в одном из двух экспериментальных условий: ЕЕ либо FM. В качестве контрольных стимулов использовались известные испытуемым слова русского языка, полностью совпадающие с новыми словоформами по своим акустическим, фонологическим и орфографическим характеристикам. Все словоформы предъявлялись на слух и сопровождалась показом сбалансированных по своим основным визуальным параметрам изображений новых и уже известных участникам объектов. И в том, и в другом экспериментальном условии предъявлялось по два изображения: при FM-научении одно из них соответствовало хорошо знакомому испытуемому предмету, а второе — неизвестному объекту, в то время как в случае ЕЕ-научения изображение неизвестного объекта предъявлялось рядом с лишенным какой-либо предметности зрительным пятном (как уже упоминалось, все изображения, используемые в обоих условиях, прошли предварительную процедуру кросс-балансировки с точки зрения своих визуальных параметров). Для того чтобы ЕЕ- и FM-условие были сопоставимы между собой в отношении прагматических характеристик, испытуемым и в том, и в другом случае задавался вопрос, требующий ответа «да/нет», но различающийся в зависимости от той или иной стратегии научения (например: «Это *нони*. Ты узнаешь его потом?» (в случае ЕЕ) или «Есть ли рожки на голове у *нони*?» (в случае FM)). Каждое слово предъявлялось по 10 раз в составе разных предложений и при каждом предъявлении сопровождалось показом нового

изображения соответствующего ему объекта (например, если новой словоформе соответствовало изображение неизвестного инструмента, в каждом из 10 предъявлений этот инструмент был изображен по-новому: с разных ракурсов, разного цвета, в разном положении и т. п.; в случае предъявления контрольного известного слова (например, «бык») на соответствующих ему изображениях были представлены разные быки: стоящие, лежащие, находящиеся в движении и неподвижные и т. п.). Результаты научения оценивались с помощью исчерпывающего набора поведенческих тестов, позволяющих измерить успешность усвоения нового языкового материала как на лексическом, так и на семантическом уровнях. Для оценки нейрональной активации, соответствующей пассивному прослушиванию новых слов, мы записывали возникающие в ответ на их предъявление вызванные потенциалы мозга.

Принято считать, что парадигмы, основанные на пассивном предъявлении (т. е. не требующие от испытуемого прямо направлять свое внимание на стимулы или выполнять связанные с ними задания), являются надежным инструментом оценки степени интеграции стимула в долговременное хранилище памяти. Так, известно, что амплитуда ранних (< 200 мс) компонентов вызванных потенциалов, возникающих в ответ на аудиальное предъявление как ранее известных, так и только что выученных слов, увеличена по сравнению с амплитудами вызванных потенциалов, возникающих в ответ на предъявление идентичных по своим акустическим свойствам, но бессмысленных псевдослов. Такое увеличение амплитуды принято считать нейрональным маркером автоматической активации специфичных для слов мнемических следов, которая основана на мощных связях внутри лексических контуров памяти (Pulvermüller, Shtyrov, 2006; Shtyrov et al., 2010; MacGregor et al., 2012). Описанный подход неоднократно использовался в исследованиях, посвященных изучению лексико-семантических свойств подлежащих запоминанию стимулов, а также динамики формирования мнемических репрезентаций слов. Некоторые авторы связывают увеличение амплитуд ранних компонентов ВП, которое обнаруживается при сопоставлении мозговых ответов на предъявляемые стимулы до и после их заучивания или

при отслеживании динамики таких ответов в процессе повторных предъявлений, с тем, что эти стимулы становятся все более и более знакомыми, чему, вероятно, способствует быстрое возникновение нового нейронального мнемического контура, соответствующего новой словоформе (Shtyrov et al., 2010; Shtyrov, 2011; Kimppa et al., 2016; Partanen et al., 2017, 2018; Bermúdez-Margaretto et al., 2020).

Исходя из этого, дизайн обоих наших экспериментов, в рамках которых испытуемые обучались новым словам двумя различными способами (имплицитно или эксплицитно), предполагал запись ВП, возникающих в ответ на предъявляемые стимулы, непосредственно перед началом короткой обучающей сессии и сразу после ее окончания, а затем сопоставление между собой динамики ЭЭГ-данных, полученных в разных (ЕЕ или FM) условиях обучения.

## **Методы и организация Эксперимента 1**

Первый из двух проведенных нами экспериментов состоял из четырех основных этапов: 1) запись ЭЭГ во время пассивного прослушивания испытуемыми знакомых и новых словоформ до обучающей сессии, 2) обучающая сессия, 3) повторная запись ЭЭГ сразу после заучивания новых словоформ, 4) поведенческая оценка результатов научения. Предъявление аудио- и визуальных стимулов осуществлялось с помощью программной среды NBS Presentation v.20.0 (Neurobehavioral Systems, Беркли, Калифорния, США). Каждая экспериментальная проба включала в себя предъявление двух изображений, относящихся к разным категориям (при этом в ЕЕ-условии использовались изображения-филлеры для обеспечения балансировки его зрительных параметров с FM-условием).

### ***Выборка***

В исследовании приняли участие 12 добровольцев (10 — женщины; 17–34 г.; средний возраст — 25,2,  $SD = 4,88$ ). Все участники были праворукими монолингвами — носителями русского языка как родного (доминирующая рука определялась при помощи Эдинбургского опросника (Oldfield, 1971))

с нормальным или скорректированным до нормального зрением, не имели в анамнезе каких-либо неврологических или психиатрических заболеваний и не принимали на момент участия в исследовании какие-либо препараты, влияющие на работу головного мозга. От каждого было получено информированное согласие, одобренное Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета. Участие в исследовании оплачивалось.

### *Стимульный материал*

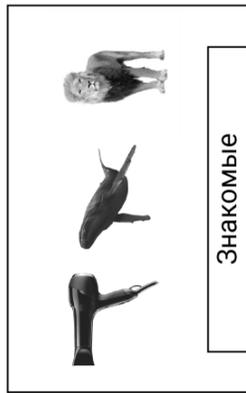
Основной набор стимулов состоял из 40 словоформ, 20 из которых представляли собой слова русского (родного для испытуемых) языка, а другие 20 были новыми словоформами, сбалансированными с настоящими словами по своим фонологическим и прочим характеристикам. Для того чтобы создать новые словоформы, мы отобрали 20 существительных русского языка, которые удовлетворяли ряду требований, а именно: 1) были высокочастотными словами и имели общеизвестные значения; 2) имели одинаковую фонологическую структуру, состоящую из трех фонем и имеющую вид «согласный — гласный — согласный» (СГС); 3) на письме обозначались с помощью трех букв и, таким образом, были схожи по своим орфографическим признакам. В результате такой работы был получен список слов, в который входили хорошо узнаваемые лексические единицы (например, *мяч*, *бык* и т. п.). Затем на основе этого списка были составлены новые слова-трифоны путем перекомбинирования начальных частей настоящих слов и их окончаний. Например, существующие в русском языке слова *фен* и *мул* были использованы для того, чтобы создать такие новые словоформы, как *фел* и *мун*. Благодаря этому удалось достичь того, что в целом и знакомые (существующие) слова, и новые (специально созданные нами) словоформы состояли из одних и тех же фонем, но взятых в разных сочетаниях. Таким образом разница между акустическими/фонетическими свойствами двух типов стимулов была в значительной степени нивелирована. Далее все стимулы были сгруппированы по спискам (по пять словоформ в каждом) для дальнейшей контрбалансировки между разны-

ми экспериментальными условиями (см. ниже). В частности, эти пятистимульные наборы были сбалансированы в отношении частоты входящих в них дифонов (для первых двух и последних двух фонем по отдельности); также внутри каждого из этих списков стимулы были подвергнуты дополнительной балансировке с точки зрения их лексической частоты и знакомости/новизны. Для оценки психолингвистических свойств стимулов использовалась база данных Национального корпуса русского языка (НКРЯ, URL: <https://ruscorpora.ru>).

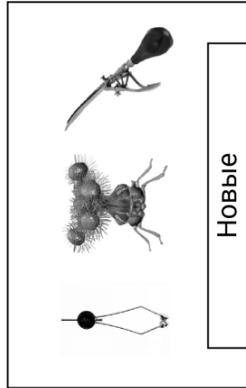
Все аудиальные стимулы (новые и знакомые словоформы, а также относящиеся к ним вопросы) были записаны на цифровой носитель с помощью женщины-диктора, для которой русский язык являлся родным. Их длительность и громкость были сбалансированы между экспериментальными условиями с помощью программного обеспечения Adobe Audition 1.5 (Adobe Inc., Сан-Хосе, Калифорния, США).

Для составления визуальных стимулов, соответствующих предъявляющимся на слух словоформам, мы использовали фотографии 20-ти известных и 20-ти неизвестных объектов. В качестве контрольных изображений были взяты фотографии хорошо известных объектов, иллюстрирующие знакомые слова (например, бык, нож, мяч, сыч и т. д.). Для предъявления вместе с новыми словами, подлежащими заучиванию, использовались изображения редких животных или неодушевленных предметов, не известные среднестатистическим испытуемым. Например, в качестве изображений неизвестных неодушевленных предметов мы использовали фотографии старинных орудий труда или редких музыкальных инструментов, а в качестве неизвестных животных — изображения глубоководных обитателей или других экзотических живых существ (для примера см. Рис. 1). Предшествующая основному эксперименту оценка подобранных нами стимулов независимыми респондентами показала, что все знакомые объекты успешно распознавались всеми участниками — в отличие от неизвестных. Количество одушевленных и неодушевленных объектов было одинаковым в наборах известных и новых стимулов.

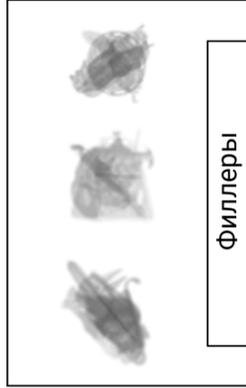
Для каждого объекта было отобрано по 10 оригинальных изображений — так, что в обучающей сессии каждое из них предъявлялось испытуемому только один раз. Эти различаю-



**Знакомые**  
20 объектов X  
10 различных изображений



**Новые**  
20 объектов X  
10 различных изображений



**Филлеры**  
200 различных изображений

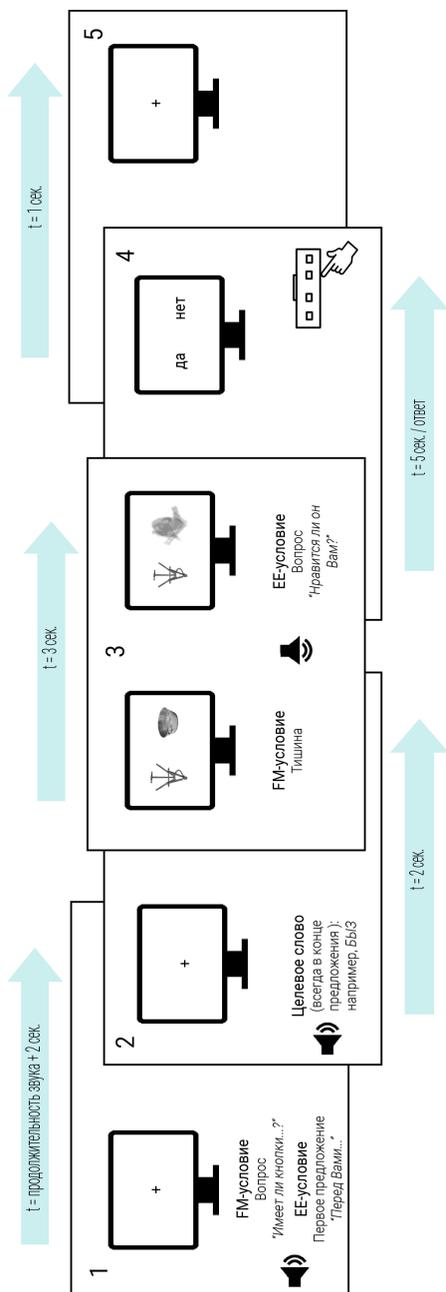
**Рисунок 1.** Примеры изображений предметов, предъявлявшихся в парах со знаковыми (слева) и новыми (посередине) словоформами, а также бессмысленных изображений-филлеров (справа)

щиеся между собой визуальные стимулы были изготовлены на основе пяти исходных изображений, каждое из которых было представлено в двух видах (первоначальном и зеркально перевернутом). Это позволило добиться того, что все 10 изображений внутри каждого набора, с одной стороны, репрезентировали один и тот же объект, а с другой — давали испытуемым возможность связать каждую новую словоформу именно с обобщенным образом нового предмета, а не с его конкретным единичным изображением. Все изображения были переведены в черно-белый формат, помещены на белый фон (400 × 400 пикселей) и выровнены по центру. Затем на основе этих изображений с помощью зашумления, масштабирования, переворачивания и наложения друг на друга был создан набор размытых изображений-филлеров без какого-либо определенного содержания. Эти изображения-филлеры использовались в ЕЕ-условии для балансировки визуальной нагрузки на испытуемого относительно FM-условия. Средняя яркость всех стимулов также была приведена к единому стандарту за счет выравнивания количества черных и белых пикселей в каждом изображении каждого стимульного набора; *t*-критерий не выявил значимых различий в яркости между тремя группами стимульных изображений — известными, новыми и филлерами (все  $p > 0,7$ ).

### *Процедура исследования*

Мы использовали парадигму активного семантического научения, которая предполагала, что усвоение новых слов осуществляется в двух экспериментальных условиях — либо имплицитно (FM-условие), либо эксплицитно (ЕЕ-условие), — максимально приближенных друг к другу с точки зрения способа предъявления, но различающихся с точки зрения конкретных задач, которые стояли перед испытуемыми. В обоих условиях изображение целевого стимула демонстрировалось испытуемому в паре с другим изображением, а также сопровождалось слуховым предъявлением вопроса, относящегося к изображенному на картинке предмету (Рис. 2).

В FM-условии (50% от общего числа экспериментальных проб, предъявлявшихся в случайном порядке) от испытуемо-



**Рисунок 2.** Схематическое изображение обучающих FM- и ЕЕ-проб. Предъявляемые на слух предложения сопровождались демонстрацией изображений объектов, соответствующих новым словоформам. Целевое слово всегда стояло в конце предложения; после того как оно прозвучало, на экране появлялось изображение. Вопросы по поводу предъявленных изображений задавались испытуемым и в FM-, и в ЕЕ-условии, а сами условия были максимально приближены друг к другу по своим характеристикам

го требовалось использовать контекстную информацию, чтобы на основе имеющихся данных сделать вывод о том, какое из предъявленных изображений относится к новому слову. При этом предъявляемые на слух вопросы имели следующий вид: «Бумажный ли ХХХ?» или «Есть ли уши у ХХХ?», а изображения как известных, так и неизвестных объектов предъявлялись рядом друг с другом на мониторе компьютера. Таким образом, в FM-условии испытуемому было необходимо самостоятельно «вычислить», какое из увиденных изображений относится к предъявленному на слух новому слову путем исключения второго (известного) объекта, предъявленного одновременно с первым. В ЕЕ-условии (оставшиеся 50% проб) задача испытуемого заключалась в том, чтобы просто познакомиться с названием целевого изображения. Для этого изображение объекта сопровождалось аудиальным предъявлением его названия, после чего на слух предъявлялся вопрос, касающийся этого объекта. Важно отметить, что этот вопрос был нужен для того, чтобы выдержать единую с FM-условием процедуру предъявления стимульного материала, однако он не предполагал осуществления процедуры имплицитного вывода. Например: «Взгляните, это ХХХ. Запомнили?» или «Перед вами ХХХ. Хорошо его рассмотрели?». В ЕЕ-условии вместо предъявления знакомых изображений в паре с целевыми неизвестными предъявлялись изображения-филлеры, идентичные знакомым изображениям по своему размеру и яркости (см. Рис. 1, 2), благодаря чему удалось сбалансировать ЕЕ- и FM-условия с точки зрения зрительных параметров предъявляемого материала. ЕЕ- и FM-пробы чередовались в псевдослучайном порядке, что позволило исключить влияние таких факторов, как преднастройка внимания или намеренное использование для заучивания каких-либо стратегий, что было бы неизбежно в случае предъявления стимулов, сгруппированных по блокам (например, отдельно все ЕЕ-, а затем FM-пробы, или в обратном порядке).

Новые словоформы были контрбалансированы таким образом, что в ходе эксперимента каждый новый трифон предъявлялся каждому испытуемому в разных ролях: в качестве неизвестного животного в ЕЕ- или FM-условии, нового неодуше-

ленного предмета в ЕЕ- или FM-условии — или как не встречавшееся в обучающей сессии псевдослово (такие слова использовались в качестве филлеров в проверочных заданиях после обучающей сессии; подробнее об этом см. ниже). В обоих экспериментальных условиях для каждой пробы использовалось уникальное сочетание словоформы, изображения и вопроса.

В контрольном условии испытуемым аналогичным образом предъявлялось такое же количество реальных слов русского языка, совпадающих с созданными нами псевдословами по основным лингвистическим параметрам, и изображений существующих объектов, которые так же, как и в экспериментальном условии, предъявлялись либо имплицитным, либо эксплицитным способом и сопровождалась аналогичными типами вопросов. Было использовано по 10 словоформ и соответствующих им изображений, относящихся к каждой из четырех категорий (т. о., всего 40 стимулов), что, опять же, позволило сбалансировать их с точки зрения переменных знакомости/новизны и ЕЕ-/FM-типов научения. Для обеспечения разнообразия стимулов внутри категорий в каждую из них в равном количестве были включены как неживые объекты (например, фен или старинный инструмент с неочевидным назначением), так и животные (например, рыба или какое-либо редко встречающееся живое существо). Каждый стимул предъявлялся в рамках обучающего блока по 10 раз, но каждое конкретное изображение использовалось однократно и для каждой пробы было уникальным (например, слову *фен* при каждом предъявлении соответствовало новое изображение фена). Сопровождающие предъявление изображений фразы также не повторялись от пробы к пробе. Различные типы стимулов и условий обучения были псевдослучайным образом перемешаны внутри обучающего блока, который подразделялся на три подблока, что было необходимо для того, чтобы снизить нагрузку на испытуемых и избежать их чрезмерного утомления, которое могло негативно сказаться на выполнении ими экспериментальных заданий. Эти три подблока чередовались с пассивным предъявлением (которое было исключительно аудиальным и не содержало какой-либо контекстной информации) 10 контрольных псевдослов, совпадающих по своим лингвистическим характеристикам с псевдословами, исполь-

зовавшимися в обучающем блоке. Эти контрольные псевдослова затем использовались нами на этапе поведенческой оценки результатов научения для того, чтобы сопоставить эффективность семантического научения стимулам, предъявленным в сочетании с контекстной информацией, с эффективностью усвоения бессмысленных стимулов, предъявленных такое же количество раз, но без семантической привязки.

Во время прохождения экспериментальной процедуры испытуемые сидели в удобном кресле, помещавшемся внутри звукоизолированной и экранированной от возможных электрических помех экспериментальной камеры (Нейроиконика, Санкт-Петербург, Россия). Их просили расслабиться, сидеть по возможности неподвижно, внимательно слушать предъявляющиеся на слух стимулы и смотреть на экран монитора. Каждая проба начиналась с того, что на экране компьютера появлялся фиксационный крест и одновременно с этим на слух предъявлялся вопрос («Пятнистые ли уши у ХХХ?», FM-условие) или прямое указание на название объекта («Перед Вами ХХХ», ЕЕ-условие).

Важно, что все вопросы были выверены по длине и содержали одинаковое количество слов и в том, и в другом условии. Целевое слово всегда было последним словом предложения и имело форму именительного падежа. Далее на 3 сек. предъявлялись два изображения, одно из которых являлось изображением целевого объекта. В FM-условии изображения знакомого и неизвестного объектов располагались друг возле друга таким образом, что испытуемому требовалось самостоятельно решить, к какому из них относится вопрос. В ЕЕ-условии одно из этих двух изображений было филлером и представляло собой размытое пятно, что позволяло однозначно идентифицировать тот объект, про который шла речь в вопросе. Размытые филлеры были необходимы для обеспечения сходства зрительных параметров предъявления стимулов в том и другом условии; каждый из них предъявлялся в ходе эксперимента только один раз, т. к. в противном случае испытуемые могли бы их запомнить, что автоматически перевело бы эти изображения в категорию известных объектов. В ЕЕ-условии также предъявлялся вопрос (например, «Хорошо его рассмотрели?»)

или «Он Вам понравился?»), который звучал одновременно с предъявлением изображений, но, в отличие от FM-условия, не требовал совершения каких-либо логических умозаключений. Отметим, что вопросы, использовавшиеся в обоих условиях, были уникальными и не повторялись.

Расположение целевых стимулов слева или справа также было сбалансировано между условиями, и каждая комбинация изображений использовалась только один раз. В конце в обоих условиях перед испытуемым появлялся экран с вариантами ответа (да/нет). Для того чтобы дать ответ, нужно было нажать указательным пальцем левой руки на одну из клавиш специального пульта RB-740 (Cedrus Corp., Сан-Педро, Калифорния, США).

### *Запись ЭЭГ во время пассивного прослушивания словоформ*

Для того чтобы оценить изменения в мозговой активности, вызванной новыми словоформами, которые заучивали испытуемые, мы осуществляли запись ЭЭГ во время задания на пассивное прослушивание стимулов до и после обучающей сессии. Испытуемые получали инструкцию сосредоточиться на просмотре немого мультфильма, который проигрывался на экране компьютера без субтитров или какого-либо иного текстового сопровождения<sup>2</sup>. Во время этого просмотра им

---

<sup>2</sup> Использовались разные серии одного и того же немого мультипликационного сериала («Крот», реж. З. Миллер, URL: <https://imdb.com/title/tt0841927>), случайным образом варьировавшиеся между группами испытуемых. Это позволило нам быть уверенными в том, что визуальные характеристики предъявляемого в разных группах видеоматериала остаются неизменными, в то время как его содержательное наполнение меняется. Последнее обстоятельство было важно в связи с тем, что нам было необходимо избежать возможного запоминания или узнавания испытуемыми содержания той или иной конкретной серии, которое могло бы возникнуть в случае их повторного предъявления. По аналогии с другими исследованиями, в которых используются парадигмы пассивного прослушивания, схожие с нашей, отвлекающий видеоряд не был каким-либо образом привязан к слуховому предъявлению словоформ, что позволило свести к минимуму различия в ВП, возникающих в ответ на предъявление стимулов различных типов.

с помощью наушников предъявлялись аудиальные стимулы — известные и новые словоформы, каждая из которых повторялась по 10 раз в псевдослучайном порядке, и аналогичные им словоформы-филлеры, не использовавшиеся в обучающей сессии. Общее число проб для каждой категории стимулов составило 100 предъявлений, а временной интервал между соседними пробами (асинхронность начала стимула) варьировался в промежутке от 1100 до 1200 мс. Запись ЭЭГ осуществлялась при помощи 128-канальной ЭЭГ-системы с активными электродами и программного обеспечения PyCorder (BrainProducts, GmbH, Гильхинг, Германия). Использовались широкополосный фильтр 0,016–1000 Гц и частота дискретизации 5 кГц, в качестве референтного электрода было выбрано отведение Fp1. Установка электродов на голове осуществлялась в соответствии с расширенной версией международной системы 10% — 20%.

### *Поведенческая оценка результатов научения*

После обучающей сессии и регистрации ЭЭГ производилась оценка усвоения новых слов с помощью трех различных проверочных заданий: свободного воспроизведения, узнавания на слух и задания на установление семантического соответствия между словом и изображением.

В задании на свободное воспроизведение испытуемому нужно было письменно перечислить как можно больше словоформ, предъявленных ему во время обучающей сессии. Количество воспроизведенных слов, как и время выполнения задания, не ограничивалось, но большинство испытуемых справлялись с ним приблизительно за пять минут. Оценивалось количество правильно воспроизведенных словоформ; эта процедура не представляла особой сложности, т. к. русский язык обладает т. н. прозрачной орфографией: в нем фонологические и орфографические характеристики слов в большой степени совпадают друг с другом, что особенно хорошо заметно в случае односложных слов с единственным (ударным) гласным, использовавшихся в данном эксперименте.

В задании узнавания на слух задача испытуемого заключалась в том, чтобы определить, встречался им тот или иной

стимул в ходе обучающей сессии или нет. После того как подлежащий оценке стимул предъявлялся на слух, испытуемый с помощью левого указательного пальца нажимал на клавишу «да» в том случае, если он считал, что стимул уже предъявлялся ранее, или на клавишу «нет» — если не предъявлялся. Этот проверочный блок включал в себя все предъявлявшиеся в ходе эксперимента стимулы и такое же количество аналогичных по своим акустическим и фонологическим свойствам дистракторов, которые представляли собой либо а) слова (так же, как и целевые стимулы, обозначающие животных или инструменты), либо б) не использовавшиеся в обучающей сессии псевдослова, которые предъявлялись в псевдослучайном порядке. После нажатия на кнопку следовала пауза продолжительностью 500 мс, затем предъявлялся следующий стимул. На каждый ответ отводилось пять секунд.

Задание на установление семантического соответствия между словом и изображением предполагало необходимость сделать выбор между четырьмя вариантами ответа. В данном случае целевая словоформа предъявлялась на слух одновременно с четырьмя изображениями (в виде матрицы  $2 \times 2$ ), уже предъявлявшимися ранее в ходе обучающей сессии. Только одно из этих четырех изображений по смыслу соответствовало предъявленной на слух словоформе. Задача состояла в том, чтобы выбрать нужное изображение, нажав указательным пальцем левой руки на соответствующую ему клавишу. Каждое изображение соответствовало правильному ответу только в одной из проб, хотя в других пробах оно могло использоваться в качестве одного из неправильных вариантов. Изображения, использующиеся в качестве правильных и неправильных вариантов ответа в разных пробах, были сбалансированы с точки зрения их принадлежности к той или иной семантической категории (животные или инструменты).

Проверочные задания предъявлялись в порядке, направленном на минимизацию любых дополнительных факторов, которые могли бы повлиять на результаты научения: 1) свободное воспроизведение (не предполагающее дополнительного предъявления стимулов и поэтому никак не задействующее процессы научения); затем 2) узнавание (в котором

предъявлялись только словоформы, в случайном порядке перемешанные с дистракторами и без какой-либо отсылки к своему семантическому наполнению); и, наконец, 3) задание на установление семантического соответствия между словом и изображением. Важно отметить, что даже если в процессе предъявления стимулов в проверочных заданиях и возникало какое-либо дополнительное научение, оно было одинаковым для ЕЕ- и FM-условий. Важно также и то, что регистрация ЭЭГ осуществлялась как до, так и после обучающей сессии, но и в том, и в другом случае — перед оценкой поведенческих результатов, в силу чего сама процедура оценки не могла оказать влияние на ЭЭГ-данные. И наоборот, даже если повторное предъявление стимулов в ходе записи ЭЭГ и могло положительно сказаться на результатах поведенческой оценки, этот эффект не различался бы между стимулами, предъявленными в ЕЕ- и FM-условиях, поскольку и те, и другие предъявлялись идентичным способом. Таким образом, внимание между стимулами в разных условиях распределялось одинаково и, следовательно, не могло сыграть роль вмешивающейся переменной и исказить результаты в ту или иную сторону.

Обработка поведенческих данных осуществлялась с помощью дисперсионного анализа (ANOVA) и  $t$ -критерия Стьюдента. Оценивались такие параметры, как время реакции и количество правильных ответов. Особое внимание мы уделяли сравнению поведенческих результатов научения с использованием ЕЕ- и FM-стратегий.

### *Анализ ЭЭГ-данных*

Для анализа всех ЭЭГ/ВП-данных использовались собственные скрипты, написанные нами в программной среде Matlab v.9.2.0 (MathWorks Inc., Нейтик, Массачусетс, США), и пакет Berlin Brain-Computer Interface (BBCI; URL: <https://github.com/bbci>) в той же среде. Сперва сырые ЭЭГ-данные были отфильтрованы в диапазоне частот от 1 до 45 Гц с помощью фильтра Баттерворта четвертого порядка, частота дискретизации была снижена до 250 Гц, а данные со всех отведений пересчитаны относительно об-

щего среднего референта. Также мы производили визуальный осмотр и оценку мощности спектров для того, чтобы обнаружить и исключить из дальнейшего анализа «шумные» каналы (в среднем для каждого испытуемого были исключены два канала из 128). Глазодвигательные артефакты удалялись с помощью алгоритма Fast Independent Component Analysis (FastICA), реализованного в программной среде Matlab (Hyvärinen, 1999).

С помощью меток, обозначающих моменты предъявления стимулов, ЭЭГ-записи были поделены на подлежащие дальнейшему анализу отрезки, включающие в себя временные промежутки в диапазоне от  $-200$  до  $1000$  мс относительно начала предъявления стимула. При этом осуществлялась коррекция изолинии относительно интервала от  $-200$  до  $0$  мс до начала стимула. Дополнительная чистка полученных отрезков ЭЭГ была произведена при помощи анализа стандартного отклонения для каждой из проб с использованием пакета Berlin Brain-Computer Interface. ЭЭГ-данные одного из испытуемых оказались повреждены из-за поломки ЭЭГ-оборудования и поэтому были исключены из последующего анализа.

Как уже упоминалось выше, стимулы были сконструированы таким образом, что каждая словоформа использовалась (поочередно у разных испытуемых) в ЕЕ- и FM-условиях в сочетании с разными изображениями. Это дало нам возможность получить ВП-ответы, по большей части не связанные с физическими особенностями вызвавших их стимулов. Считается, что ВП, возникающие в ответ на пассивное прослушивание аудиальных сигналов, связаны с активацией мнемических следов, соответствующих уже известным испытуемому словам. Обычно это выражается в увеличении негативности амплитуд ВП на ранних (до  $200$  мс) интервалах и расценивается как способ отследить возникновение новых мнемических следов в процессе усвоения новой лексики. О формировании такого следа как раз и говорит увеличение амплитуд ранних компонентов ВП после процедуры научения (Kimppa et al., 2015, 2019; Gosselke Berthelsen et al., 2018; Vasilyeva et al., 2019).

Таким образом, эти ранние компоненты ВП априори представляли для нас наибольший интерес. Для получения

наиболее объективной картины первым делом была определена общая мощность ВП, которая рассчитывалась как общее среднеквадратичное значение (global root mean square, gRMS) ВП-ответов по всем отведениям, для всех стимулов и типов условий. С этой целью сначала был рассчитан общий средний ответ для всех условий и типов стимулов, а затем для каждого момента времени вычислялся квадратный корень из суммы квадратов значений амплитуд ВП по всем отведениям, поделенной на количество этих отведений. Наконец, в получившемся общем среднеквадратичном значении были выделены наиболее выраженные пики ВП. Хотя такой подход, возможно, менее чувствителен к незначительным временным различиям между условиями вне общих пиков, он является оптимальным с точки зрения наиболее объективного анализа данных, поскольку позволяет сосредоточиться на тех участках, в которых наблюдается самая сильная общая нейрональная активность, и таким образом избежать предвзятости в отборе интервалов ВП при сравнении разных наборов данных.

Как и ожидалось, ранние ответы оказались наиболее выраженными на промежутке 150–190 мс — аналогично результатам, полученным в предшествующих исследованиях (Pulvermüller et al., 2001; Shtyrov et al., 2004). Кроме того, наиболее четко выраженные пики в сигнале gRMS приходились на 230–270 и 500–540 мс. В целом ВП-ответы были наиболее выражены в передне-центральных отведениях, что обычно характерно для слуховых ВП. Таким образом, мы получили данные по 45 отведениям, охватывающим эту и прилегающие к ней области мозга (F, FC, C, CP, и P-линии, по девять электродов в каждой, международная система 10% — 20%). Усредненные по каждому из этих временных интервалов значения ВП были использованы в пятифакторном дисперсионном анализе (ANOVA). В качестве факторов выступали Новизна (два уровня: знакомые/новые), Тип научения (два уровня: ЕЕ/FM), Блок (два уровня: до/после обучения), Каудальность (пять уровней: линии электродов с F по P), Латеральность (девять уровней: электроды слева направо). Обнаруженные значимые взаимодействия дополнительно проверялись с помощью *post hoc* анализа. Наконец, поскольку анализ выявил

ряд связанных с научением эффектов, выражающихся в изменении амплитуд ВП после обучающего блока, мы дополнительно рассчитали общую разницу между нейрональными ответами на новые словоформы, предъявляемые до и после процедуры научения, а также с помощью алгоритма реконструкции распределенных источников установили предполагаемые источники этой мозговой активации. Для этой цели использовался алгоритм eLORETA (exact LORETA; Pascual-Marqui et al., 2011), посредством которого рассчитывалось распределение электрического тока по тканям головы с помощью модели граничных элементов, основанной на МРТ-шаблоне Монреальского неврологического института.

Возможные местоположения источников нейрональной активации были ограничены поверхностью серого вещества, поэтому реконструкция была осуществлена на основании усредненных данных, что позволило извлечь выгоду из повышенного соотношения сигнал/шум. Эта часть анализа была произведена с использованием программного пакета sLORETA/eLORETA 4 (URL: <https://uzh.ch/keyinst/loreta.htm>) для средней разности между ВП-ответами, полученными до и после обучения, на основных временных интервалах, которые были определены с помощью описанного выше анализа сигналов ВП.

## Результаты Эксперимента 1

### *Поведенческие результаты*

Все приведенные ниже описательные статистики будут представлены в формате «среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение». Правильность узнавания всех типов стимулов, которые использовались в обучающем блоке, составила  $97 \pm 1,5\%$  для известных словоформ в ЕЕ-условии,  $81 \pm 5,34\%$  для новых словоформ в ЕЕ-условии,  $94 \pm 2,42\%$  для знакомых в FM-условии и  $67 \pm 6,5\%$  для новых в FM-условии — и при этом во всех случаях значимо отличалась (все  $p < 0,01$ ) от правильности узнавания филлеров ( $16 \pm 3,63\%$ ), которые не встречались на этапе обучения, но предъявлялись такое же количество раз в отсутствие какой-либо семантической при-

вязки. Кроме того, в результате ANOVA было выявлено влияние фактора Новизна на правильность ответов: известные словоформы узнавались значимо более точно ( $95 \pm 1,43\%$ ), чем новые ( $74 \pm 4,3\%$ ) ( $F(1, 84) = 23,4, p < 0,01, R^2 = 0,22$ ). Аналогично этому было обнаружено влияние фактора Новизна на время реакции: испытуемые давали ответы быстрее ( $F(1, 84) = 7,67, p < 0,01, R^2 = 0,08$ ) в случае узнавания ранее известных словоформ ( $1143 \pm 250$  мс) по сравнению с новыми ( $1382 \pm 506$  мс). Важно отметить, что при этом с помощью ANOVA не удалось обнаружить ни взаимодействия между факторами Новизна и Тип обучения, ни разницы в правильности ответов и времени реакции между FM- и ЕЕ-условиями (ЕЕ-условие: правильность ответов  $89 \pm 3,01\%$ ; время реакции  $1259 \pm 55$  мс; FM-условие: правильность ответов  $80 \pm 3,98\%$ ; время реакции  $1265 \pm 70$  мс; все  $p > 0,05$ ).

В задаче на установление семантического соответствия между словом и изображением количество правильных ответов для всех четырех типов стимулов — известных словоформ в ЕЕ-условии ( $98 \pm 1,15\%$ ), новых словоформ в ЕЕ-условии ( $79 \pm 5,6\%$ ), знакомых в FM-условии ( $97 \pm 1,38\%$ ) и новых в FM-условии ( $73 \pm 5,3\%$ ) значимо превышало вероятность случайного угадывания (все  $p < 0,01$ ). Дальнейший анализ с использованием двухфакторного ANOVA  $2 \times 2$  (факторы Новизна и Тип научения) подтвердил, что время реакции ниже ( $F(1, 92) = 65,7, p < 0,01, R^2 = 0,42$ ), а правильность ответов выше ( $F(1, 92) = 31,1, p < 0,01, R^2 = 0,25$ ) для известных словоформ (время реакции  $1777 \pm 50$  мс; правильность ответов  $98 \pm 0,9\%$ ) по сравнению с новыми (время реакции  $3317 \pm 183$  мс; правильность ответов  $76 \pm 3,8\%$ ). Каких-либо взаимодействий или различий между двумя экспериментальными условиями в этом проверочном задании выявлено не было (все  $p > 0,3$ ) (ЕЕ-условие: правильность ответов  $88 \pm 3,16\%$ ; время реакции  $2455 \pm 180$  мс; FM-условие: правильность ответов  $85 \pm 3,19\%$ ; время реакции  $2638 \pm 169$  мс).

Как и предполагалось, успешность выполнения задания на свободное воспроизведение оказалась достаточно низкой: в отсутствие каких-либо подсказок испытуемые смогли вспомнить меньше половины от общего количества предъявленных словоформ. Несмотря на это, данные, получен-

ные с помощью этого задания, имели нормальное распределение (отличие от нормального распределения, согласно критерию Шапиро — Уилка, было незначимо и составило  $W = 0,97$ ,  $p = 0,95$ ) и поэтому были подвергнуты дальнейшей обработке параметрическими методами. Был обнаружен отчетливый эффект семантического научения: число правильно воспроизведенных словоформ всех четырех типов — известных в ЕЕ-условии ( $2,4 \pm 0,27$ ), новых в ЕЕ-условии ( $1,4 \pm 0,32$ ), известных в FM-условии ( $2,5 \pm 0,34$ ) и новых в FM-условии ( $1,12 \pm 0,23$ ) было значимо большим, чем число воспроизведенных контрольных псевдослов, которые пассивно предъявлялись в отсутствие семантического обучения ( $0,28 \pm 0,11$ ; все  $p < 0,01$ ). Анализ количества правильно воспроизведенных после обучающей процедуры словоформ с помощью двухфакторного ANOVA  $2 \times 2$  (Новизна  $\times$  Тип научения) позволил обнаружить значимое влияние фактора Новизна ( $F(1, 88) = 16,8$ ,  $p < 0,01$ ,  $R^2 = 0,16$ ): испытуемым удавалось вспомнить ранее известные словоформы чаще, чем новые. Однако разница в количестве правильных ответов между ЕЕ- ( $1,94 \pm 0,22$ ) и FM-условиями ( $1,81 \pm 0,23$ ) снова оказалась незначимой ( $p > 0,67$ ).

### *ЭЭГ-результаты*

Все предъявлявшиеся стимулы вызвали появление отчетливых электрофизиологических ответов мозга (вызванных потенциалов) в обоих блоках пассивного слушания — как до, так и после обучающей сессии. Для объективной количественной оценки общего паттерна активации мы рассчитали средние показатели ВП по всем стимулам, условиям и испытуемым. Затем эти средние показатели были подвергнуты среднеквадратичному преобразованию, что позволило свести весь исходный набор данных к одной кривой, отражающей временную динамику всех ВП (Рис. 3, сверху). Анализ этого «глобального» электрофизиологического ответа показал наличие трех основных пиков активации — в районе ~170, 250 и 520 мс после начала предъявления стимулов. Получив таким образом объективные данные относительно временной динамики общей электрофизиологической активации, мы

подвергли статистическому анализу данные каждого пика на интервалах длительностью 40 мс. Результаты этого анализа представлены ниже для каждого из пиков в отдельности.

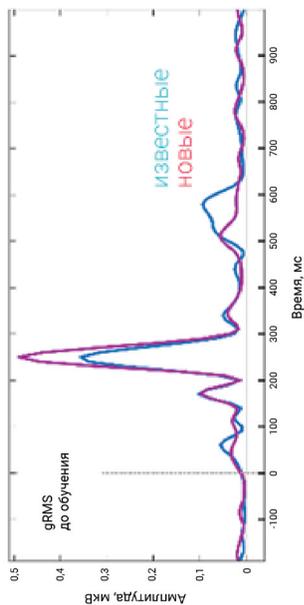
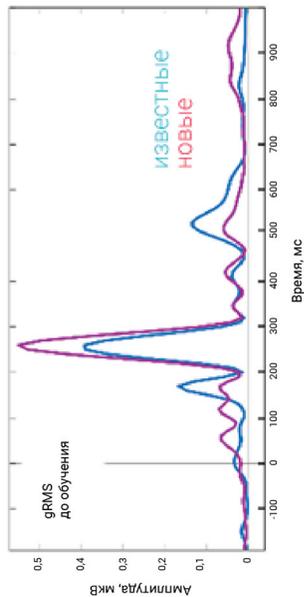
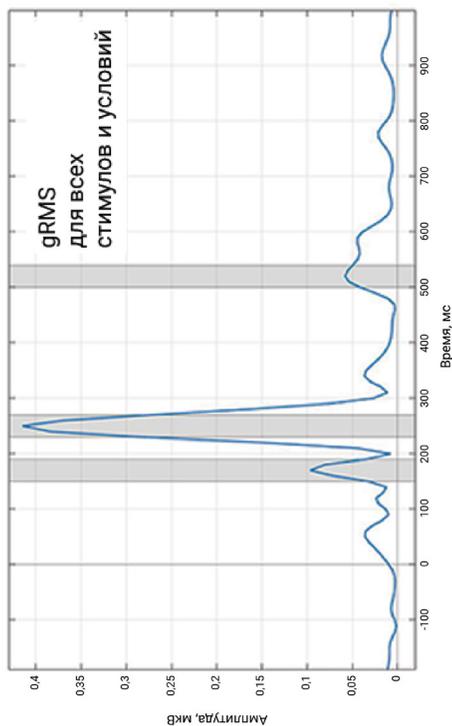
### **Временной интервал 150–190 мс**

На первом пике было обнаружено значимое взаимодействие между факторами Обучающий блок, Новизна и Каудальность ( $F(4, 40) = 3,79, p = 0,01, R^2 = 0,27$ ; см. также топограммы на Рис. 3), проявившееся вследствие разного распределения ВП, возникших в ответ на предъявление новых и известных словоформ до процедуры научения (значимое взаимодействие новизны стимулов и топографии соответствующих им ВП:  $F(4, 40) = 6,36, p < 0,01, R^2 = 0,39$ ). При этом после научения ВП, возникающие в ответ на предъявление стимулов двух разных типов, уже не различались в топографическом отношении: и тем, и другим была свойственна негативность в передне-центральных отделах. Более детальный анализ этого взаимодействия показал, что оно было связано с различиями между локализованными в передне-центральных областях ВП-ответами на известные и новые стимулы до обучающей сессии, приближающимися к значимому уровню: более выраженные амплитуды ВП были характерны для знакомых слов ( $F(1, 10) = 4,2, p = 0,07, R^2 = 0,30$ ). При этом после обучающего блока амплитуды ВП, возникающих в ответ на новые слова, увеличились, что свело на нет изначальное различие ( $F(1, 10) = 0,60, p = 0,81$ ).

Также было обнаружено значимое четырехстороннее взаимодействие между факторами Новизна, Тип Обучения, Блок и Латеральность ( $F(8, 80) = 2,18, p = 0,04, R^2 = 0,18$ ), которое было обусловлено различной латерализацией динамики ВП-ответов на слова, предъявленные в ЕЕ- и FM-условиях, до и после процедуры обучения. Разбив это взаимодействие по фактору Блок на данные, записанные до и после обучения, мы обнаружили, что до обучения взаимодействие между Новизной, Типом научения и Латеральностью не было значимым ( $F(8, 80) = 0,81, p = 0,60$ ), но после завершения обучающей сессии оно достигло уровня значимости ( $F(8, 80) = 2,76, p = 0,01, R^2 = 0,22$ ). Как показано на Рис. 4 и 5, негативность

**Рисунок 3. (самый верхний) Динамика средневзвешенного ответа (gRMS), рассчитанного для всех условий, испытуемых и электродов, указывает на наиболее выраженные пики активации на 170, 250 и 520 мс (перечисленные временные отрезки +/- 20 мс выделены цветом).**

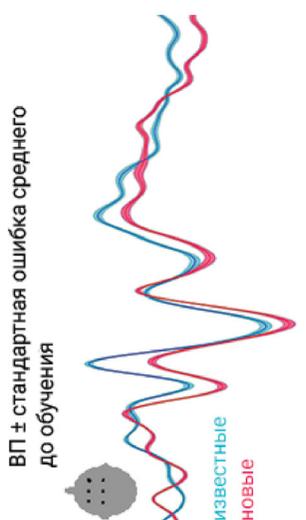
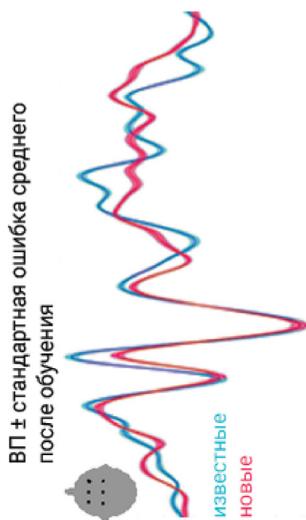
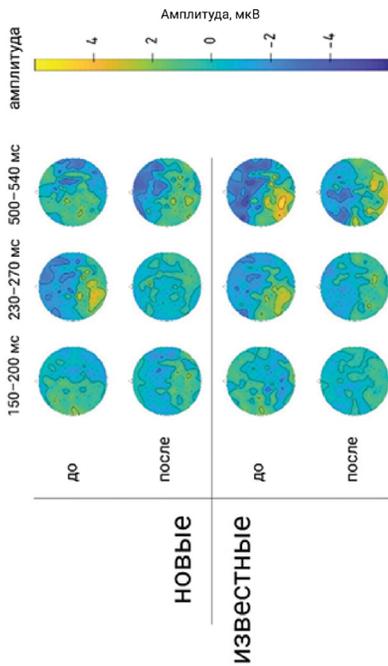
**(второй сверху) gRMS для новых и ранее известных слов до и после обучающей сессии выявил различия в относительной динамике мозговой активности, наиболее выраженные на первом и последнем временных интервалах**

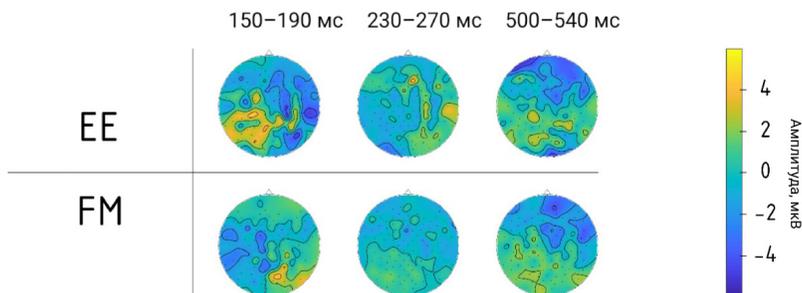


(второй снизу) Топографическое

распределение усредненных электрофизиологических ответов на предъявление новых и ранее известных слов до и после обучающей сессии на временных интервалах 150–190, 230–270 и 500–540 мс, усредненное по типам обучения, показало изменение амплитуды и распределения после прохождения процедуры обучения.

(самый нижний) ВП, возникающие в ответ на предъявление новых и ранее известных слов до и после обучения в передне-центральных отведениях (F1, Fz, F2, C1, Cz, и C2): форма кривой отражает амплитуду ВП, толщина — стандартную ошибку среднего



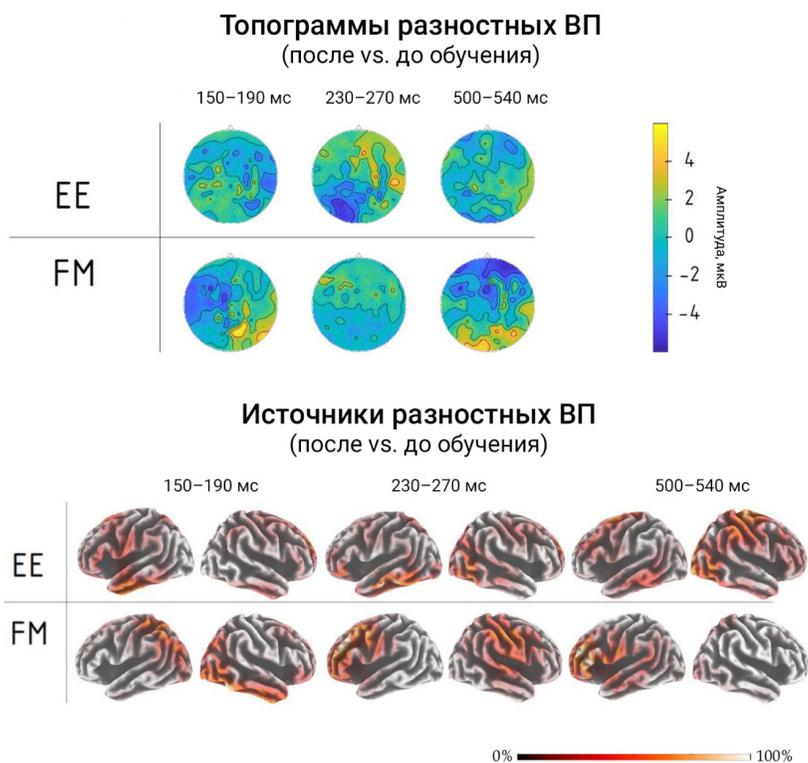


**Рисунок 4.** Топограммы усредненных по всей выборке ВП, возникающих в ответ на предъявление новых словоформ на временных интервалах 150–190, 230–270 и 500–540 мс для FM- и EE-условий

ВП-ответов на новые словоформы, предъявленные в FM-условии, смещена в область левого полушария — в противоположность более равномерно распределенной негативности, характеризующей ВП-ответы на новые слова, предъявленные EE-способом. Однако более детальный разбор этого взаимодействия с помощью *post hoc* сравнений не дал каких-либо значимых результатов.

### Временной интервал 230–270 мс

Во временном интервале 230–270 мс было обнаружено четырехстороннее взаимодействие между факторами Новизна, Блок, Каудальность и Латеральность ( $F(32, 320) = 1,96, p < 0,01, R^2 = 0,16$ ). Более подробный анализ показал взаимодействие фактора Новизна с Каудальностью и Латеральностью еще до процедуры обучения ( $F(32, 320) = 1,98, p < 0,01, R^2 = 0,17$ ): в передне-центральных областях негативность ВП, возникающих в ответ на предъявление новых словоформ, была более выраженной, чем негативность ВП, соответствующих уже известным словоформам (см. Рис. 3). Однако после обучения эта разница между ВП, возникающими в ответ на предъявление знакомых и новых слов, исчезала ( $F(32, 320) = 0,82, p = 0,75$ ). Взаимодействия фактора Тип научения с другими факторами на этом временном интервале обнаружены не были.



**Рисунок 5.** (сверху) Топограммы усредненных по всей выборке разностных (после обучения минус до обучения) ВП, возникающих в ответ на предъявление новых слов на временных интервалах 150–190, 230–270 и 500–540 мс для FM- и ЕЕ-условий. (снизу) Анализ распределенных источников (eLORETA) разностных ВП в левом и правом полушариях

### Временной интервал 500–540 мс

Так же, как и в предшествующем интервале, на этом временном отрезке было обнаружено взаимодействие факторов Новизна, Блок, Каудальность и Латеральность ( $F(32, 320) = 1,5, p = 0,04, R^2 = 0,13$ ), которое было подвергнуто более тщательному анализу. До обучения взаимодействие между Новизной и Латеральностью ( $F(8, 80) = 4,14, p < 0,01, R^2 = 0,29$ )

было обусловлено значительно более выраженной негативностью ВП, возникающих в ответ на предъявление знакомых слов, в передних левых отведениях ( $F(1, 10) = 7,1, p = 0,02, R^2 = 0,41$ ). После обучающего блока как сам по себе эффект новизны ( $F(1, 10) = 1,7, p = 0,22$ ), так и его взаимодействие с латеральностью ( $F(8, 80) = 0,67, p = 0,72$ ) перестали быть значимыми: электрофизиологическая активность, соответствующая ранее известным и новым словам, сравнялась. Кроме того, в этом временном интервале было обнаружено значимое взаимодействие между факторами Новизна, Тип научения и Каудальность ( $F(4, 40) = 7,32, p < 0,01, R^2 = 0,45$ ).

Взаимодействие этих факторов было вызвано особенностями топографического распределения ВП, возникших в ответ на предъявление новых и известных словоформ, в разных условиях обучения. Так, для ВП, соответствовавших предъявлению знакомых слов, разницы между FM- и ЕЕ-условиями обнаружено не было ( $F(4, 40) = 0,62, p = 0,65$ ), в то время как топография ВП, возникших в ответ на предъявление новых слов, различались между двумя экспериментальными условиями, что отразилось в значимом взаимодействии между типом научения и топографией ( $F(4, 40) = 6,41, p < 0,01, R^2 = 0,39$ ), а именно в более распределенном изменении нейрональных ответов при ЕЕ-научении и увеличении негативности в передне-центральных отделах при использовании FM-стратегии (Рис. 5).

### **Анализ источников**

На завершающем этапе анализа был произведен расчет различий между мозговой активностью, сопровождающей предъявление новых словоформ, до и после обучающей сессии; также с помощью алгоритма eLORETA были рассчитаны предполагаемые нейрональные основы этих различий. Это было сделано на основе средней по выборке разницы между амплитудами ВП, возникающими до и после процедуры обучения, для временных интервалов, в которых была обнаружена наиболее выраженная нейрональная активность, описанная выше с помощью анализа амплитуд как таковых.

На основании полученных результатов (Рис. 5) можно предполагать, что при использовании обеих стратегий научения были задействованы билатеральные лобно-височно-теменные сети, однако конкретные паттерны активации различались в том и другом случае, в частности, левая теменная активность была более выражена в случае FM-научения уже на первом временном интервале.

## **Обсуждение результатов Эксперимента 1**

Анализ поведенческих данных показал, что общим для всех проверочных заданий результатом является разница в ответах между ранее известными словами и теми словами, которые испытуемые выучивали в ходе эксперимента. Участники эксперимента справлялись с заданиями проверочных тестов заметно лучше в том случае, если проверялось усвоение уже известных существительных, обозначающих хорошо знакомые испытуемым предметы и животных, что в большинстве случаев выражалось в большей правильности ответов и меньшем времени реакции по сравнению с новыми словами. Такой результат был достаточно предсказуем, поскольку со словами, обозначающими известные предметы и животных, испытуемые регулярно встречаются в повседневной жизни, — тогда как слова, соответствующие новым, не знакомым ранее, предметам и животным, им необходимо было выучить в процессе эксперимента с нуля. Аналогичные результаты, связанные с более успешным выполнением проверочных заданий такого типа (в т. ч. различных заданий на узнавание) в случае предъявления хорошо известных высокочастотных слов, уже были подробно описаны в предшествующих работах (Connine et al., 1990; Grainger, 1990). Однако, несмотря на эти общие различия, новые словоформы были успешно усвоены в результате обучения, о чем говорят результаты использованных нами проверочных заданий.

При сопоставлении результатов выполнения задания на узнавание мы обнаружили значимый эффект узнавания в отношении новых слов, предъявлявшихся в ходе обучающей сессии (по сравнению со словами-филлерами). Этот эффект был очень выраженным, поскольку испытуемые узна-

вали новые слова почти настолько же хорошо, как и ранее известные: различий в правильности ответов между новыми и известными словами обнаружено не было, хотя время реакции в отношении новых слов все же превышало аналогичный показатель для известных слов. Аналогичным образом при выполнении задания на свободное воспроизведение испытуемые вспоминали новые словоформы легче, чем контрольные новые слова без семантической привязки, не предъявлявшиеся в ходе обучающей сессии. В задании на установление семантического соответствия, несмотря на то, что результаты для ранее известных слов также были хорошими, все новые слова оказались сопоставлены со своими значениями на высоком уровне правильности (> 70%), существенно превышающем уровень случайного угадывания (25%). Это позволяет говорить о хорошем усвоении испытуемыми семантических свойств новых словоформ — и об успешности процедуры научения в целом.

Результаты поведенческой оценки отчетливо показывают, что 20 новых словоформ, каждая из которых была предъявлена по 10 раз в сопровождении контекстной информации, были успешно усвоены испытуемыми. При этом такое усвоение проявилось непосредственно после обучения, т. е. до того, как могли запуститься какие-либо процессы консолидации (перевод информации из кратковременной памяти в долговременную). В предыдущих работах, в которых так же, как и в нашей, использовался большой набор предъявлявшихся на слух словоформ (Davis, Gaskell, 2009; Dumay, Gaskell, 2012; Pulvermüller et al., 2012), было показано, что об успешном научении можно говорить только после завершения этапа ночной консолидации, — даже если количество предъявлений каждого нового стимула было существенно большим (например, свыше 30), чем в нашем эксперименте. Таким образом, можно предположить, что для быстрого и успешного усвоения новых слов особое значение имеет наличие ясной семантической привязки. Этот вывод хорошо согласуется с результатами более ранних работ, в которых использовалась процедура семантического научения, также обеспечившая успешное усвоение новой информации после небольшого количества предъявлений (Mestres-Missé et al., 2007, 2008; Vasilyeva et al., 2019).

Интереснее всего то, что нам не удалось обнаружить значимых поведенческих различий между ЕЕ- и FM-условиями. Согласно нашим данным, обе стратегии научения приводят к одинаково успешным результатам, что подтверждается отсутствием значимых различий между ними во всех проверочных заданиях — и до некоторой степени противоречит высказанным ранее утверждениям относительно разной эффективности этих двух стратегий (см. раздел *Введение*). Такие результаты могут объясняться особенностями нашей экспериментальной парадигмы и характеристиками использовавшегося нами стимульного материала. В отличие от всех предшествующих исследований, экспериментальные условия в нашей работе были одинаковыми с точки зрения своих основных физических (аудиальных и визуальных) параметров. Они также были сбалансированы между собой по способу предъявления стимулов и общей когнитивной нагрузке, с которой сталкивались испытуемые в процессе выполнения экспериментальных заданий. Такой сбалансированности нам удалось добиться за счет того, что и в одном (ЕЕ), и в другом (FM) случае от испытуемых все время требовалось фокусироваться на одном из двух предъявленных изображений, а затем отвечать на связанный с этим изображением вопрос. Таким образом, при использовании обеих стратегий научения оказались задействованы ресурсы внимания, а также с точки зрения прагматики были созданы идентичные речевые ситуации, связанные с необходимостью ответить на поставленный вопрос. Использование настолько тщательно сбалансированной по всем показателям экспериментальной парадигмы показало, что обе стратегии являются эффективными и приводят к хорошим результатам, которые удается зарегистрировать непосредственно после выполнения проверочных заданий, т. е. еще до прохождения стадии ночной консолидации только что сформированных следов памяти.

Следует особо отметить, что так же, как и в другой работе, направленной на поиск различий между ЕЕ- и FM-научением (Greve et al., 2014), нам не удалось обнаружить каких-либо недостатков эксплицитной стратегии. Вероятно, это может означать, что при условии тщательного контроля всех прочих параметров обе стратегии могут в равной степе-

ни приводить к успешному научению. Примечательно и то, что в большинстве предшествующих работ для изучения эффективности FM-научения использовалось крайне небольшое число предъявлений новых стимулов, а сами эти стимулы были единичны. В нашем же исследовании была предпринята попытка объединения традиционных поведенческих подходов с требованиями ВП-эксперимента, а именно с необходимостью использовать в каждом из экспериментальных условий большое количество проб чтобы получить качественные ВП-данные, — и при этом иметь набор стимулов, достаточно разнообразный для того, чтобы предотвратить возможное привыкание к ним, которое могло бы отрицательно подействовать на характеристики ВП-сигналов испытуемых (в первую очередь их амплитуду). Поэтому в ходе нашего эксперимента от участников требовалось выучить 10 новых слов, предъявленных ЕЕ-способом, и 10 слов, предъявленных FM-способом. Такое количество стимулов приближается к верхнему порогу способности взрослого человека к запоминанию новых слов в рамках одной обучающей сессии. Поскольку такое значительное количество новых лексических единиц могло поставить под вопрос успешность их усвоения, мы увеличили количество экспериментальных проб и предъявляли каждый стимул по 10 раз, что было достаточно для успешного усвоения этих двух наборов по 10 стимулов каждый.

В сущности, хотя такой подход позволил задействовать стратегию FM в ее классической версии, он также включал в себя ряд поправок, нацеленных на повышение качества получаемого ЭЭГ-сигнала, с одной стороны, и выравнивание между собой ЕЕ- и FM-условий, с другой. В будущих исследованиях возможно будет использовать модификацию этого подхода, сделав экспериментальный дизайн более схожим с теми, которые применялись в предшествующих работах на тему FM и предполагали использование гораздо меньшего количества как самих стимулов, так и их предъявлений (см., например, Vasilyeva et al., 2019, где описано ЭЭГ-исследование научения новым словам с одного предъявления), что особенно актуально в случае работы с детскими выборками.

На фоне успешного усвоения новых словоформ на поведенческом уровне, зарегистрированного непосредственно

после прохождения процедуры научения, особенно интересными представляются ЭЭГ-результаты нашего исследования. Для того чтобы выявить изменения в нейрональной активности, сопровождающие усвоение новых слов на семантическом уровне и предположительно лежащие в основе процессов научения, мы сравнивали мозговую активность испытуемых, возникающую в ответ на предъявление им новых словоформ до и после прохождения процедуры обучения. В результате анализа были выявлены три основных пика активации (самый ранний из которых проявлялся еще до того, как с момента начала предъявления стимула успело пройти 200 мс): ~170, 250 и 520 мс, — на каждом из которых различия между нейрональными процессами, протекающими до и после процесса обучения, проявились в различной степени.

Прежде всего, мы обнаружили разницу в активации, возникающей до процедуры научения в ответ на предъявление новых и известных ранее стимулов. Она проявилась в том, что до обучения амплитуды ВП, возникающих в ответ на предъявление знакомых слов, были больше, чем амплитуды ВП, возникающих в ответ на предъявление новых слов, на первом и третьем временных интервалах, а также в том, что топография нейрональной активации до и после научения была различной для всех трех выявленных пиков. Эти различия в ВП могут отражать разницу в мозговой активации, сопровождающей, с одной стороны, восприятие уже известных слов, для которых существуют соответствующие мнемические репрезентации, и, с другой стороны, восприятие неизвестных словоформ, не имеющих таких мнемических следов. Все использованные нами проверочные задания показали, что эти различия — как в амплитудах ВП, так и в их топографии — становились статистически незначимыми после процедуры научения, в результате которого мозговая активность в ответ на предъявление новых и ранее известных слов становилась схожей. Наряду с поведенческими результатами, эти данные указывают на успешное формирование новых мнемических следов, соответствующих новым словоформам, по итогам всего 10 предъявлений этих словоформ вместе с соответствующими им изображениями — несмотря на их значительное количество (20 штук).

Это хорошо согласуется с результатами предшествующих ЭЭГ- и фМРТ-исследований (Mestres-Missé et al., 2007, 2008) и позволяет предполагать, что формирование нейрональных контуров, соответствующих новым лексическим единицам родного языка, происходит практически мгновенно и является особенно эффективным в том случае, если для подлежащих научению новых слов создается семантическая привязка.

Ряд авторов полагают, что такому общему изменению активации, предположительно отражающему усвоение/снижение степени незнакомости новых слов, подлежит быстрое формирование новых мнемических следов в процессе повторного предъявления стимулов (Shtyrov et al., 2010; Kimppa et al., 2015; Partanen et al., 2017; Bermúdez-Margaretto et al., 2020). Принципиально важно здесь то, что в нашем эксперименте количество предъявлений и, следовательно, итоговая «знакомость» словоформ были идентичными для двух типов научения. Несмотря на это, рисунок этих нейрональных изменений (согласно данным ВП) оказывается неодинаковым для ЕЕ- и FM-условий, что проявляется уже на ранних этапах активации. Так, уже на первом пике мы обнаружили, что после процедуры научения изменения в латерализации ВП-ответов на новые и ранее известные стимулы различаются для двух стратегий научения. Наиболее ярко это проявлялось как усиление негативности ВП в левой височной области для слов, выученных с использованием FM-стратегии. Это соотносится с результатами некоторых предшествующих работ, в которых высказывалось предположение о том, что левая височная область новой коры является центральным узлом в системе, отвечающей за формирование лексико-семантических репрезентаций в целом (Patterson et al., 2007) и за имплицитное FM-усвоение новых слов на основе контекстной информации в частности (Atir-Sharon et al., 2015; Merhav et al., 2015). Несмотря на то, что использованный в нашей работе метод ЭЭГ не обладает достаточным пространственным разрешением, которое бы позволило со всей точностью подтвердить нейроанатомическую локализацию этого эффекта, он выявляет общую временную динамику нейрональной активации, которая начинается уже на ранних этапах распознавания слова (< 200 мс) — т. е. на той ста-

дии, которую принято считать соответствующей быстрой автоматической активации мнемических репрезентаций слов (MacGregor et al., 2012; Pulvermüller et al., 2012; Partanen et al., 2017) и отражающей их мгновенное и при этом прочное формирование после всего нескольких предъявлений в семантическом контексте.

Нейрональный ответ, возникший на 250 мс, не обладал какой-либо выраженной спецификой относительно того или иного типа научения. Действительно, в предшествующих исследованиях было показано, что возникающие на этой стадии обработки ВП-ответы преимущественно имеют отношение к другим типам когнитивной деятельности (речь идет в основном о компоненте ВП Р300а, связанном с вниманием; см., например, Escera et al., 1998). Тем не менее, различия в активации мнемических контуров, сформированных посредством ЕЕ- либо FM-научения, обнаружившиеся на первом временном интервале, сохранились и на более поздней стадии обработки, проявившись на третьем пике, в районе 520 мс после предъявления стимула. Это выразилось в том, что в случае ЕЕ-научения выраженное нарастание негативности ВП-ответов оказалось более широко распределенным, в то время как для FM-усвоения новых слов была характерна фронтально-локализованная негативность, которая в большей степени свойственна реакции на аудиальное предъявление стимулов. Считается, что эти поздние компоненты ВП-ответов (в первую очередь N400 и P600) отражают вторичную, нисходящую обработку лингвистических стимулов (Friederici, 2002). Это может иметь отношение к более эксплицитной, подчиняющейся контролю со стороны внимания природе ЕЕ-стратегии научения, а нейроанатомическое распределение этих эффектов может указывать на участие распределенных лобно-височно-теменных систем, отвечающих за работу внимания и исполнительных функций, в формировании новых мнемических следов в условиях эксплицитного научения. В предшествующих работах предпринимались попытки связать изменение ВП-ответов в рамках данных временных интервалов с процессами памяти, научения и усвоения новых слов (см., например, McLaughlin et al., 2004; Bermúdez-Margaretto et al., 2020; Gosselke Berthelsen et al.,

2020), что хорошо соотносится с полученными нами результатами, которые также указывают на то, что описанные системы чувствительны к режиму научения.

Важно отметить, что, хотя мы в своей работе сфокусировались на основных пиках общей активности, чтобы осуществить максимально объективный анализ данных, в будущем исследовательский интерес может быть также направлен на изучение временной динамики мозговой активности в отношении иных — возможно, более скоротечных — эффектов, проявляющихся за пределами основных пиков активации, равно как и на проверку гипотезы о наличии взаимосвязей между этими ВП-показателями и поведенческими результатами с использованием корреляционного или регрессионного анализа (Kimppa et al., 2015, 2016).

Полученные нами результаты могут внести вклад в решение существующего в литературе противоречия, касающегося природы FM-научения и вопроса о его эффективности (Shtyrov et al., 2019). С одной стороны, полученные нами поведенческие результаты не могут быть рассмотрены в качестве подтверждения специфического преимущества FM-научения перед эксплицитным способом усвоения словоформ; таким образом, они в некоторой степени подтверждают аналогичные результаты, полученные теми авторами, которые сомневаются в эффективности FM-стратегии как таковой (Greve et al., 2014; Cooper et al., 2019). С другой — наши данные подкрепляют результаты более ранних клинических и фМРТ-исследований, в которых было показано, что при использовании различных стратегий научения усвоение новых слов обеспечивается нейрональными контурами, которые, по меньшей мере частично, различаются между собой (Sharon et al., 2011; Atir-Sharon et al., 2015; Merhav et al., 2015).

Принципиально важно здесь то, что, несмотря на различия в мозговых механизмах, обеспечивающих работу двух стратегий научения, они обе приводят к успешному усвоению новой информации — причем в одинаковой степени. Вероятно, этим обстоятельством и объясняется тот факт, что авторам некоторых описанных выше исследований не удалось получить поведенческие доказательства большей эффективности какой-либо одной из обсуждаемых стратегий.

Основным преимуществом нашего исследования по сравнению с предыдущими работами, в которых предпринимались попытки разграничения этих двух стратегий, является строгий контроль условий, в которых происходило ЕЕ- и FM-научение. Такой контроль позволил нам получить максимально «чистые» данные, не зависящие от влияния каких-либо вмешивающихся переменных, связанных с различиями между двумя типами задач с точки зрения основных физических параметров, общей когнитивной нагрузки, интенсивности зрительного внимания или характера конкретного речевого акта.

Несмотря на это, к выводам настоящего исследования все же следует относиться с определенной долей осторожности, принимая во внимание некоторые особенности экспериментального дизайна и полученных в ходе его реализации результатов. Так, например, в некоторых работах (Berlyne, Borsa, 1968; Jerma et al., 2012) было показано, что рассматривание размытых изображений (которые в нашей парадигме предьявлялись в ЕЕ-условии в качестве филлеров) может привести к повышению уровня общего возбуждения, а это, в свою очередь, может оказать фасилитирующее воздействие на процессы научения. С другой стороны, изображения такого типа могут отвлекать внимание участников, побуждая их к разрешению противоречия, возникающего вследствие восприятия неопределенной зрительной информации (Gottlieb et al., 2013; Wade, Kidd, 2019), что может негативно сказаться на эффективности научения. Хотя полученные нами поведенческие результаты не говорят напрямую в пользу той или иной версии, очевидно, что полная визуальная балансировка ЕЕ- и FM-условий так или иначе является невозможной, — более того, сложно найти более удачный способ проконтролировать зрительные параметры стимулов и условий предьявления, чем использованный нами. Важно понимать, что внимание, направленное на оба появляющихся на экране изображения, должно оказывать влияние и на ЕЕ-, и на FM-условие (инструкция внимательно смотреть на экран была одинаковой для всех экспериментальных условий и типов стимулов), но конкретное содержание каждого из условий — формулировка основанного на контекстной ин-

формации вывода (FM) или прямая инструкция (EE) — само по себе способствует различным типам научения. В будущих исследованиях можно было бы использовать дополнительные экспериментальные условия или методы (например, регистрацию движений глаз) для контроля эффектов внимания.

Аналогичная проблема связана с использованием вопросов, которые априори должны были различаться для двух типов проб, способствуя тому или иному варианту поведения (запоминанию в EE-условии и тщательному рассматриванию предъявленных изображений в FM-условии). Опять же, все описанное представляет собой неотъемлемые характеристики EE- и FM-стратегий научения, и полная балансировка двух условий без риска сделать их полностью одинаковыми представляется невозможной. Наш дизайн являет собой усовершенствованную версию использовавшихся ранее парадигм, включающую оба экспериментальных условия в один и тот же речевой акт; более того, каждый вопрос и в том, и в другом условии был уникальным и не повторялся, что позволило обеспечить разнообразную и экологически валидную среду, в которой происходило научение. При проведении дальнейших исследований необходимо будет отделить влияние этих специфических прагматических характеристик научения от характеристик экспериментального задания как такового.

Использование недостаточно точного в анатомическом отношении метода исследования (ЭЭГ) не позволяет нам четко разграничить мозговые структуры, обеспечивающие работу EE- и FM-стратегий. Полученные нами результаты анализа источников указывают на то, что при усвоении обоих типов новых слов (обозначающих объекты и животных) задействуются лобно-височно-теменные контуры и правого, и левого полушарий. Однако эти результаты также показывают, что паттерны активации, соответствующие EE- и FM-стратегиям, различаются — главным образом за счет того, что уже на первом временном интервале задействуются левые теменные области в случае FM-научения и лобные — при использовании EE-стратегии, что лишний раз подтверждает идею о существовании хотя и пересекающихся, но все-таки различных мозговых механизмов, соответствующих двум разным типам научения. Местоположение источников было рассчи-

тано на основе общих усредненных данных (это было сделано для того, чтобы извлечь потенциальную выгоду из увеличенного таким образом отношения сигнала к шуму — параметра, к которому весьма чувствительны алгоритмы такого типа, особенно в отсутствие данных индивидуальных МРТ-сканов). Поскольку эта процедура исключает статистический анализ активности источников, к полученным результатам следует относиться с особенной осторожностью. В будущем для более точной оценки местоположения нейроанатомических структур, подлежащих тому или иному типу научения, возможно использование более современных методов — таких как магнитоэнцефалография (МЭГ) в сочетании с реконструкцией источников активности на основе данных индивидуальных МРТ-сканов, — что позволит либо подтвердить, либо опровергнуть существование различий между мозговыми путями, обеспечивающими FM- и EE-научение.

Тем не менее, использование таких методов, как ЭЭГ или фМРТ, не позволяет выявить причинно-следственные взаимосвязи между мозговыми структурами и их функциями и, следовательно, указывает только лишь на непрямые ассоциации между нейрональной активностью и определенным типом поведения. Таким образом, в последующих работах для проверки гипотез о причинно-следственных отношениях между активацией конкретных областей мозга, в частности механизмов, отвечающих за речевое научение, и их поведенческими проявлениями могут быть также использованы неинвазивные нейростимуляционные методы — например, транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) или транскраниальная электрическая стимуляция (ТЭС) (Vukovic, Shtyrov, 2019; Kurmakaeva et al., 2021).

Также, хотя использованный в настоящем исследовании экспериментальный дизайн направлен главным образом на сравнение активации мнемических следов до и после процедуры научения, в дальнейшем аналогичные методы можно использовать для детального изучения мозговой активации непосредственно во время научения (как, например, в Shtyrov et al., 2010). Правда, для того чтобы обеспечить необходимое качество сигнала при реализации такого подхода, потребуется большее количество проб и/или стимулов, что,

в свою очередь, может помешать выполнению экспериментального задания. Таким образом, характер этой динамики еще предстоит более детально изучить в процессе будущих исследований. Небольшой объем выборки Эксперимента 1, пусть и соответствует объему выборок многих других нейрофизиологических исследований, одновременно означает, что, хотя полученные нами размеры эффектов указывают на достаточно надежные результаты, к ним (по крайней мере, их поведенческой части) следует относиться с определенной долей осторожности. В будущих работах для перепроверки полученных нами результатов нужно будет использовать сбалансированные аналогичным образом экспериментальные условия для обследования более крупных выборок (что и было частично осуществлено в Эксперименте 2), а также проделать аналогичную работу с использованием материала других языков и иных типов стимулов.

Наконец, поскольку нашей основной целью была проверка существования мгновенных эффектов научения, данный эксперимент не был направлен на электрофизиологическую оценку возможных различий в процессах консолидации и удержания в долговременной памяти стимулов, выученных с помощью ЕЕ-либо FM-стратегии. Это можно будет осуществить в будущем, тестируя испытуемых с различными интервалами (по прошествии ночи/нескольких дней/недель) после научения.

Подводя итог Эксперимента 1, можно сказать, что мы осуществили проверку гипотезы о существовании двух основных стратегий научения — ЕЕ и FM — с использованием тщательно сбалансированной экспериментальной парадигмы и набора поведенческих и ЭЭГ-замеров. Результаты указывают на то, что хотя оба способа научения могут приводить к быстрому и успешному усвоению новых слов, соответствующие им электрофизиологические паттерны различаются; это, в свою очередь, позволяет предполагать различия в нейрональных системах, лежащих в основе этих стратегий научения.

Несмотря на то что описанные выше результаты представляют несомненный интерес, небольшой объем выборки Эксперимента 1 указывает на необходимость их дальнейшего уточнения. Также эти результаты хотя и позволяют говорить о наличии определенных связей между конкретными поведенческими

результатами научения и динамикой электрофизиологической активности мозга, они не дают возможности утверждать, что характер этой связи — причинно-следственный. Для преодоления указанных ограничений нами был проведен Эксперимент 2.

## **Методы и организация Эксперимента 2**

### ***Выборка***

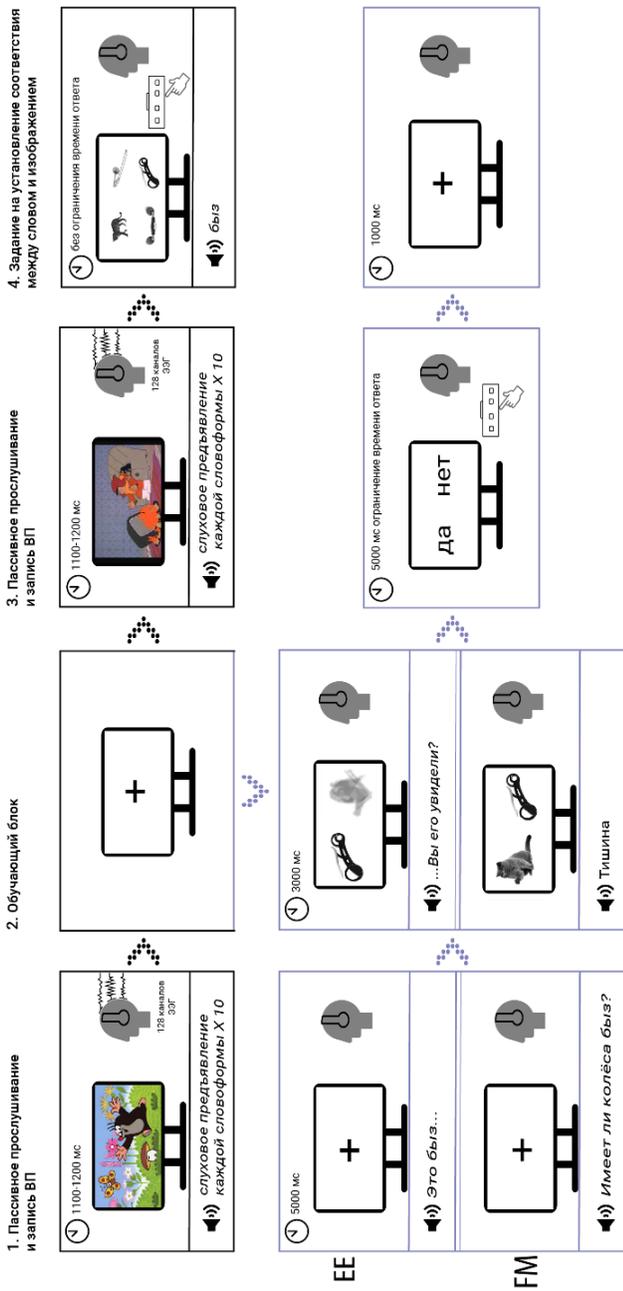
В исследовании приняли участие 36 добровольцев (24 — женщины; 18–31 г.; средний возраст — 22,51,  $SD = 3,53$ ). Аналогично Эксперименту 1 все участники были праворукими монолингвами — носителями русского языка как родного (доминирующая рука определялась при помощи Эдинбургского опросника (Oldfield, 1971)) с нормальным или скорректированным до нормального зрением, не имели в анамнезе каких-либо неврологических или психиатрических заболеваний и не принимали на момент участия в исследовании какие-либо препараты, влияющие на работу головного мозга. От каждого было получено информированное согласие, одобренное Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета. Участие в исследовании оплачивалось.

### ***Стимульный материал и процедура исследования***

Экспериментальная парадигма и процедура обучения, использовавшиеся в Эксперименте 2, были полностью аналогичны тем, которые применялись в Эксперименте 1. Для проверки качества усвоения новых словоформ использовалось задание на установление семантического соответствия, успешно зарекомендовавшее себя в первом эксперименте и, что особенно важно, дающее возможность оценить не только поверхностное знакомство с лексической формой, но и успешное усвоение смысла слова. Схематическое изображение всех этапов эксперимента приведено на Рис. 6.

### ***Обработка и анализ данных***

Статистический анализ проводился с использованием программы IBM SPSS v.25.0 (IBM Inc., Армонк, Нью-Йорк,



**Рисунок 6.** Экспериментальная процедура: (1, 3) запись ВП до и после обучающей сессии, (2) процедура научения новым словам (приведены примеры проб в ЕЕ- и FM-условии), (4) поведенческая оценка результатов научения с помощью задания на установление семантического соответствия

США) и среды программирования Matlab v.9.2.0 (MathWorks Inc., Нейтик, Массачусетс, США). Анализ поведенческих результатов проводился на основе правильности ответов (выраженной в процентах) в задаче на установление семантического соответствия между выученными словами и изображениями. Правильность ответов рассчитывалась отдельно для слов, выученных в FM- и EE-условиях, и статистически сравнивалась между ними с использованием критерия хи-квадрат и *t*-критерия Стьюдента.

Вся предварительная чистка и предобработка ЭЭГ-данных выполнялась идентично Эксперименту 1. После подсчета ВП для каждого условия и всех испытуемых общая динамика активности мозга в ответ на вербальные стимулы была количественно определена как мощность глобального поля (GFP), посчитанная как сумма квадратов амплитуд ВП по всем электродам, стимулам и условиям. Наиболее выраженные пики во временной динамике GFP были обнаружены на 196 и 280 мс. Средние амплитуды ВП в окружающих эти пики интервалах шириной 40 мс и были использованы для дальнейшего анализа.

Для проверки предполагаемых взаимосвязей между поведенчески измеряемой эффективностью обучения и данными ВП использовался множественный регрессионный анализ (МРА). Поскольку оба выделенных пика показали фронтально-центральное распределение, мы извлекли данные из охватывающего эту область массива из 45 электродов (линии F, FC, C, CP и P по девять электродов в каждой), а затем рассчитали разность между амплитудами ВП, полученными после и до обучения. Чтобы оценить, может ли эта электрофизиологическая мера изменений активности мозга объяснить эффективность обучения на поведенческом уровне, и был проведен пошаговый множественный регрессионный анализ. В качестве зависимых переменных в нем использовались правильность ответов и время реакции в задаче сопоставления новых слов и изображений, а в качестве независимых переменных — разностные амплитуды ВП (усредненных по кластеру электродов) по обоим временным интервалам.

Кроме того, различия в нейрональной активации до и после обучения также были дополнительно исследованы на обоих пиках путем применения критерия Уилкоксона ко всему

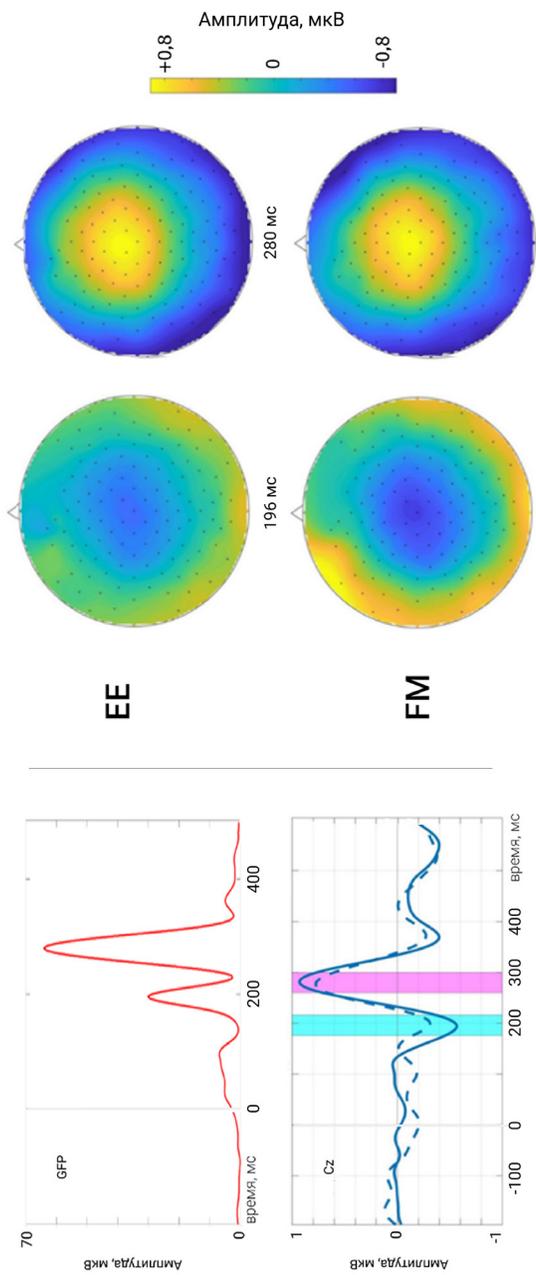
массиву амплитудных данных по всем электродам. Для учета множественных сравнений при этом использовалась кластерная пермутационная статистика (Maris, Oostenveld, 2007).

Для оценки нейрональных генераторов динамики ВП, связанной (при помощи МРА) с поведенческими результатами, была проведена реконструкция распределенных кортикальных источников. Данный анализ был аналогичен Эксперименту 1 и использовал средние по группе разностные амплитуды ВП. В отличие от Эксперимента 1, в котором использовался алгоритм eLORETA (exact LORETA), здесь был применен схожий по принципу действия метод стандартизованной электромагнитной томографии головного мозга с низким разрешением sLORETA (standardized LORETA; Pascual-Marqui, 2002).

## Результаты Эксперимента 2

Все испытуемые успешно усвоили новые слова — предъявленные как в FM-, так и в ЕЕ-условии. В обоих условиях количество правильных ответов превысило уровень случайного угадывания (25%):  $\chi^2(1) = 386,3$ ,  $p < 0,01$  для FM-стратегии и  $\chi^2(1) = 614$ ,  $p < 0,01$  — для ЕЕ-стратегии. Правильных ответов для слов, предъявленных в ЕЕ-условии, оказалось значительно больше ( $78 \pm 2,8\%$ ), чем в FM-условии ( $69 \pm 3,1\%$ ) ( $t(35) = 2,99$ ,  $p < 0,01$ ).

Анализ ЭЭГ-записей показал, что в блоке пассивного слушания — как до, так и после обучающей сессии — в ответ на предъявление всех использованных нами стимулов возникли выраженные ВП (Рис. 7). Для того чтобы осуществить объективную количественную оценку общего паттерна активации, мы рассчитали величину ВП, усредненную по всем стимулам, экспериментальным условиям и испытуемым, и подвергли ее преобразованию мощности глобального поля, сократив тем самым весь набор данных до одной кривой, отражающей глобальные изменения амплитуды во времени (Рис. 7, слева сверху). График GFP показал наличие двух наиболее выраженных пиков активации в районах 196 и 280 мс после предъявления стимула, имеющих лобно-центральную локализацию и характеризующихся усилением негативности ВП-ответов на первом из обозначенных пиков и усилением

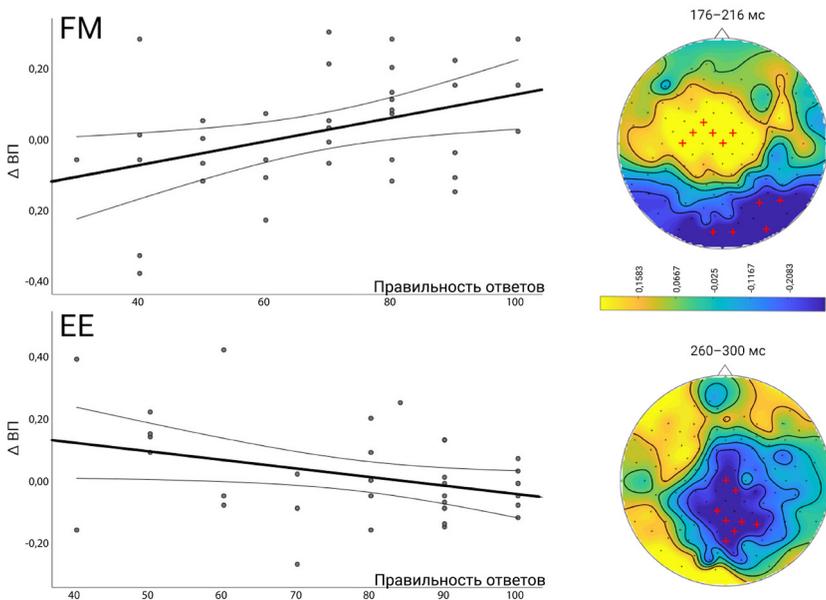


**Рисунок 7.** (слева сверху) Мощность глобального поля (GFP) для ВП, усредненных по всем условиям, стимулам и электродам. Выделяются два наиболее выраженных пика активации — на 196 и 280 мс, — которые были использованы в дальнейшем анализе. (слева снизу) Усредненные по всей выборке ВП, возникающие в ответ на предъявление новых слов в EE- и FM-условии в районе электрода Cz; интересующие нас временные интервалы (176–216 мс и 260–300 мс) выделены цветом. Сплошная линия — EE-условие, пунктирная линия — FM-условие. (справа) Топограммы ВП для новых слов, выученных EE- и FM-способом, на двух временных интервалах: 176–216 мс (M = 196) и 260–300 мс (M = 280)

позитивности — на втором. Мы извлекли данные о средних амплитудах ВП из временных интервалов длиной 40 мс, прилегающих к этим пикам активации, и по аналогии с тем, как это делалось в Эксперименте 1 и в предшествующих исследованиях на тему мгновенного научения (Mestres-Missé et al., 2007; Kimppa et al., 2015, 2016; Shtyrov et al., 2021), вычислили разницу между ВП-ответами, возникающими до и после научения. Эти разностные ВП затем были подвергнуты множественному регрессионному анализу.

Множественный регрессионный анализ выявил наличие значимых взаимосвязей между правильностью решения в задании на установление семантического соответствия между словом и изображением и динамикой ВП-активации. При проведении такого анализа поведенческие данные (о правильности ответов отдельных испытуемых в задании на установление семантического соответствия для обоих типов стимулов) использовались в качестве зависимых переменных, а разница в амплитудах ВП на двух пиках выступала в роли независимой переменной. В результате анализа было показано, что 30% дисперсии правильности ответов может быть объяснено посредством линейной комбинации амплитуд ВП ( $F(2, 36) = 7,28, p < 0,01, R = 0,55$ ).

Для более подробного изучения выявленного эффекта аналогичный анализ был использован применительно к правильности ответов для стимулов, предъявленных в ЕЕ- и FM-условиях, по отдельности. С этой целью мы использовали правильность ответов в задании на установление семантического соответствия для стимулов, предъявленных в FM-условии, в качестве зависимой переменной, а в качестве независимых — разницы в амплитудах ВП, вызванных этими стимулами на обоих пиках активации. Аналогичная схема множественного регрессионного анализа была также применена для анализа поведенческих и ВП-данных, полученных в ходе усвоения стимулов, предъявленных в ЕЕ-условии. И в том, и в другом случае анализ позволил получить статистически значимые результаты (Рис. 8), которые, что немаловажно, различались между собой по параметру латентности двух компонентов ВП, которые оказались значимо связаны с поведенческими данными.



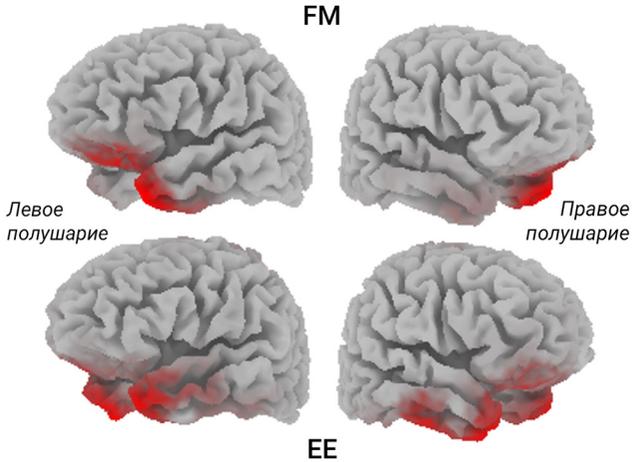
**Рисунок 8.** Регрессионные модели связи между поведенческими результатами и разностной динамикой ВП до и после обучения. (слева) Графики (регрессионная прямая  $\pm$  95% доверительный интервал). Правильность (в %) выполнения заданий на установление семантического соответствия для слов, выученных FM-способом, оказалась значимо связана с динамикой ВП ( $\Delta$ ERP, мкВ) на первом пике (верхний график), в то время как правильность выполнения заданий для слов, выученных EE-способом, была значимо связана с динамикой ВП на втором временном интервале (нижний график). (справа) Топограммы разности амплитуд ВП (после — до обучения) на пиках, показавших в МРА значимые связи с поведенческими результатами: интервал 176–216 мс для FM-условия (сверху) и 260–300 мс для EE-условия (снизу). Красными крестами помечены кластеры электродов, показавшие значимые различия в амплитудах до и после обучения при помощи кластерного пермутационного анализа

В случае со стимулами, предъявлявшимися в FM-условии, построенная модель позволяла объяснить 16,1% дисперсии прогнозируемой правильности ответов, при этом параметр ВП вносил вклад только на первом временном интервале (176–216 мс) ( $R = 0,40$ ,  $p = 0,02$ ): использование этой стратегии научения сопровождалось возрастанием позитивности амплитуд ВП на первом пике (Рис. 8, сверху). В свою очередь, для стимулов, предъявлявшихся в ЕЕ-условии, в результате построения линейной регрессии было обнаружено, что характеристики ВП вносили значимый вклад в предсказание правильности ответов только на втором (216–300 мс) временном интервале ( $R = 0,34$ ,  $p = 0,04$ ): усиление негативности ВП объясняло 11,5% дисперсии (Рис. 8, снизу).

Наконец, мы произвели оценку нейрональных источников описанной выше динамики ВП, связанной с поведенческими результатами научения. На основе группового среднего значения разницы в ВП, возникающих в ответ на предъявление стимулов до и после процедуры научения на двух интервалах, выявленных посредством множественного регрессионного анализа, с использованием алгоритма sLORETA был проведен анализ источников мозговой активности. Он показал, что динамика ВП для обоих типов научения была, вероятно, обусловлена активностью височных областей (Рис. 9). Однако, хотя в ЕЕ-условии изменение амплитуд ВП, скорее всего, было вызвано двусторонней активностью височных областей мозга, в FM-условии активность височных областей имела ярко выраженную левополушарную латерализацию.

## Обсуждение результатов Эксперимента 2

В описанном выше эксперименте нами была предпринята попытка установить связь между успешностью усвоения новых слов, выученных с помощью либо эксплицитной, либо имплицитной стратегии, с одной стороны, и зарегистрированной с помощью метода ЭЭГ динамикой нейрональных ответов на предъявление этих слов — с другой. Мы использовали ту же экспериментальную парадигму, что и в Эксперименте 1, что позволило нам исключить (или, по крайней мере, свести к минимуму) влияние разнообразных вмеша-



**Рисунок 9.** Источники значимо связанной с поведенческими ответами разностной ВП-динамики (sLORETA), являющиеся основой различий в активности мозга, возникающей в ответ на предъявление новых слов до и после обучения: ранний пик ВП для FM-условия (сверху) и более поздний пик для EE-условия (снизу). Особо отметим билатеральную активность в передней височной доле для EE- и более левостороннюю — для FM-условия

вающихся переменных при сравнении результатов EE- и FM-научения за счет тщательной балансировки этих двух условий с точки зрения их основных физических (аудиальных и визуальных) параметров, процедуры предъявления и дизайна инструкций, — и таким образом добились того, что итоговая когнитивная нагрузка на испытуемых в EE- и FM-условиях была идентичной. В частности, это обеспечивалось за счет того, что в обоих условиях испытуемых просили посмотреть на изображение целевого объекта, а затем ответить на связанный с этим изображением вопрос, а сами словоформы, которые необходимо было усвоить в процессе эксперимента, были контрбалансированы между условиями. Для оценки качества усвоения новых слов на поведенческом уровне мы использовали семантическое задание, для успешного выполнения которого было недостаточно простого по-

верхностного усвоения фонетической «оболочки» словоформ, а требовалась уже более глубокая когнитивная обработка их смысловых характеристик, основанная на активации всего лексико-семантического контура, соответствующего данному слову. Для оценки нейрональных изменений, подлежащих процессам научения на уровне мозгового субстрата, мы анализировали динамику ВП, возникающих в ответ на пассивное аудиальное предъявление новых и ранее известных словоформ до начала процедуры обучения и после ее завершения. Важно подчеркнуть, что в данном эксперименте, в отличие от Эксперимента 1, мы уже напрямую сопоставляли поведенческие результаты и данные ВП с помощью множественного регрессионного анализа. Обработка как поведенческих, так и нейрофизиологических данных показала, что после прохождения экспериментальных процедур испытуемые успешно усвоили предъявленные им новые словоформы. Особую значимость имеет тот факт, что мы не просто выявили статистически значимую взаимосвязь между поведенческим и электрофизиологическим уровнями научения, а обнаружили, что эта взаимосвязь различается в зависимости от использованной стратегии усвоения информации. Опишем полученные результаты более подробно.

Анализ поведенческих данных показал, что для обоих условий научения — как для FM-, так и для EE- — количество правильных ответов в проверочном задании было выше, чем это можно было бы ожидать в результате случайного угадывания. Это означает, что, как и в Эксперименте 1, обе стратегии научения позволяли испытуемым успешно усваивать новые словоформы, и это становилось очевидно сразу после завершения самих обучающих процедур — т. е. еще до того как могла произойти консолидация выученной информации в процессе ночного сна. Эти результаты хорошо согласуются с данными, полученными в других исследованиях. Однако при сравнении двух стратегий научения между собой было обнаружено, что правильность ответов для словоформ, выученных с помощью EE-стратегии, несколько выше по сравнению с правильностью словоформ, усвоенных в FM-условии (средние значения правильности — 78% и 69%, соответственно). Эта разница в 9% хотя и не была

такой уж большой, тем не менее, оказалась статистически значимой. Если принять во внимание то обстоятельство, что разработанный нами стимульный материал был тщательным образом контрбалансирован между условиями, а сами условия предъявления подлежащих заучиванию словоформ строго контролировались на предмет их полного соответствия друг другу по всем параметрам, кроме собственно типа научения, то следует признать, что дело, вероятно, в ЕЕ-стратегии как таковой. Похоже, эксплицитный тип научения, который требует от испытуемого одновременно удерживать внимание и на изображении целевого объекта, и на аудиально предъявляющемся названии этого объекта, оказывается хоть и ненамного, но все же более эффективен, чем FM, — по крайней мере, на том уровне усвоения материала, который удастся оценить непосредственно после завершения самого научения.

Этот результат подтверждает аналогичные выводы о количественном преимуществе ЕЕ-научения, сделанные авторами предшествующих работ на эту тему (Coutanche, Thompson-Schill, 2014; Atir-Sharon et al., 2015; Merhav et al., 2015), и, следовательно, поддерживает идею о существовании принципиальных различий между ЕЕ- и FM-стратегиями. Он также представляется особенно интересным в свете того, что в Эксперименте 1, процедура которого была в целом аналогична процедуре Эксперимента 2, не было выявлено каких-либо статистически значимых различий между результатами ЕЕ- и FM-научения (см. также Shtyrov et al., 2021). Правда, необходимо принять во внимание, что выборка Эксперимента 1 была гораздо меньшей, чем в Эксперименте 2, что могло препятствовать проявлению этих различий (которые, хотя и обнаружались в Эксперименте 1, все же были гораздо более скромными в количественном отношении). С другой стороны, в литературе (см. раздел *Введение*) достаточно часто встречается утверждение, согласно которому мнемические репрезентации, сформированные с помощью FM-научения, являются более надежными и лучше сохраняются на протяжении длительного периода времени. Наше исследование не может предоставить данных в поддержку этой идеи или для ее опровержения, т. к. в текущем эксперименте не оценивались показатели успешности сохранения выучен-

ных слов. Для этого необходимо проведение дополнительных исследований с использованием дизайна, аналогичного нашему или другого, так же тщательно сбалансированного по ряду ключевых показателей, — а также повторное тестирование испытуемых спустя различные промежутки времени (дни/недели/месяцы) после завершения процедуры обучения.

Для того чтобы оценить нейрональную активацию, соответствующую новым словам, мы записывали слуховые вызванные потенциалы (ВП), возникающие в ответ на пассивное предъявление словоформ. Пассивные (т. е. не требующие от испытуемого обращать внимание на предъявляющиеся ему стимулы) ВП-парадигмы представляют собой широко известный и достаточно надежный инструмент, использующийся для оценки того, насколько прочно тот или иной стимул интегрировался в долговременную вербальную память (Pulvermüller, Shtyrov, 2006; Alexandrov et al., 2011; Leminen et al., 2016; Aleksandrov et al., 2020). Такой подход уже многократно применялся ранее для изучения лексико-семантических свойств подлежащих заучиванию стимулов, а также нейрональной динамики формирования мнемической репрезентации слова (например, Kimppa et al., 2016, 2019; Partanen et al., 2017, 2018), и хорошо себя зарекомендовал, что и обусловило его использование в настоящем эксперименте.

Общий предварительный анализ показал, что ВП с наибольшими амплитудами возникали на временных участках, соответствующих 196 и 280 мс с момента предъявления стимула. Весь дальнейший анализ был сфокусирован на прояснении вопроса о том, могут ли изменения ВП, возникающие на этих двух пиках (и, согласно данным кластерного пермутационного анализа, являющиеся статистически значимыми), объяснить поведенческие результаты, связанные с различной эффективностью двух стратегий научения. Множественный регрессионный анализ, в котором амплитуды ВП выступали в качестве независимых переменных, а успешность выполнения поведенческих тестов — в качестве зависимой переменной, показал, что связь между результатами, зафиксированными на поведенческом и нейрональном уровнях, действительно существует и является значимой. Это, с одной сторо-

ны, поддерживает идею о том, что динамика ранних компонентов ВП связана с активацией специфичных для только что выученных слов следов памяти: аналогичные результаты были получены в более ранних работах, выполненных в рамках корреляционных подходов, хотя и с использованием иных протоколов обучения (Kimpra et al., 2016; Sugiura et al., 2018; Macedonia et al., 2019). Гораздо более важно то, что, согласно полученным нами результатам, это соотношение нейронального и поведенческого уровней было различным для двух изучаемых нами стратегий научения. Если в случае использования FM-стратегии поведенческие результаты оказались статистически значимо связаны с первым пиком активации, пришедшимся на 196 мс, то для EE-стратегии аналогичная связь была обнаружена для более позднего пика, возникающего в районе 280 мс. Эти результаты подтвердились в ходе множественного линейного регрессионного анализа. Также было обнаружено, что полярность изменений ВП на этих временных отрезках является различной: FM-научение сопровождалось увеличением позитивности ВП-ответов на первом пике, тогда как для объяснения поведенческих результатов EE-научения больше подходило увеличение негативности амплитуд ВП на втором временном интервале. Сами по себе эти различия в динамике ВП-ответов однозначно указывают на существование различных (хотя бы до некоторой степени) нейрокогнитивных механизмов, подлежащих двум стратегиям научения. Все это хорошо согласуется с результатами большого количества поведенческих и нейровизуализационных исследований, в т. ч. полученными в последние годы. Более того, наши данные также указывают на то, что активация соответствующих словоформам мнемических следов отражает не только разнообразные физические (громкость, длину) и психолингвистические (частотность, значение) характеристики самих слов, но и тот тип научения, с помощью которого они были усвоены. Таким образом, получается, что даже в том случае, когда и сами словоформы, и их изобразительные референты являются полностью идентичными, конфигурация соответствующих этим словам мнемических следов все равно может различаться в зависимости от того, какой именно способ использовался для их усвоения.

Однако какова же причина этих различий? Динамику ранних компонентов ВП традиционно связывают с автоматическими процессами первичного лексико-семантического доступа (Pulvermüller et al., 2009; Shtyrov, 2010). Возможно, стратегия «быстрого отображения», которая требует от субъекта выполнения задачи зрительного поиска одновременно с осуществлением процедур логического вывода, но при этом не связана с необходимостью сосредотачивать внимание непосредственно на заучиваемых словах, в большей степени влияет на протекание этих ранних, осуществляемых в автоматическом режиме этапов активации мнемических следов. Эксплицитное научение, напротив, предполагает, что субъект специально направляет свое внимание как на саму словоформу, так и на соответствующий ее значению объект (референт); следовательно, этот тип научения может преимущественно зависеть от степени активации системы, отвечающей за внимание и исполнительный контроль. Нейрональные ответы, возникающие на интервале 250–300 мс (компоненты ВП P300/P300a/P300b), обычно связывают с процессами внимания (Escera et al., 1998; Polich, 2007; Smart et al., 2014), что может объяснять тот факт, что мозговая активность, соответствующая данному временному отрезку, хорошо согласуется с поведенческими результатами использования ЕЕ-стратегии. Однако важно учитывать, что приведенные нами потенциальные объяснения пока что носят предварительный характер и являются до некоторой степени умозрительными, поэтому для их уточнения потребуются дальнейшие исследования.

Наконец, анализ распределенных источников активности также выявил существование определенных различий в динамике мозговой активации, подлежащей FM- и ЕЕ-научению. Несмотря на то, что как в том, так и в другом случае наиболее заметные различия в нейрональных ответах, возникающих до и после научения, оказались связаны с активацией височных областей мозга, латерализация этой активации была различной в случае использования FM- и ЕЕ-стратегий. Если при ЕЕ-научении изменение в амплитудах ВП, по всей видимости, было связано с двусторонней височной активацией, то в случае научения с помощью FM-стратегии мозговая

активность имела четко выраженную левостороннюю латерализацию и была в первую очередь связана с работой левой части передней височной доли.

Эти результаты подтверждают идею о существовании различных (по крайней мере, до некоторой степени) нейрональных механизмов, подлежащих двум разным типам научения. Передняя височная доля, в частности, ее левая часть уже неоднократно обсуждалась в качестве мозгового центра, отвечающего за обработку лексико-семантических репрезентаций отдельных слов и интегрирующего их различные признаки, которые сами по себе могут при этом быть распределены по разным областям мозга (Patterson et al., 2007; Rice et al., 2015; Core et al., 2020). Более того, авторы фМРТ-работ часто связывают именно работу правой височной доли с феноменом быстрого отображения (Atir-Sharon et al., 2015; Merhav et al., 2015). Наше исследование не только подтверждает наличие этой связи, но и, что особенно важно, показывает, что левая часть передней височной доли очень быстро (меньше, чем за 200 мс с момента предъявления стимула) активируется в ответ на только что выученные новые слова.

Подведем итог. В Эксперименте 2 мы использовали тщательно разработанный протокол обучения и регистрировали ЭЭГ, а полученные данные обрабатывали с помощью множественного регрессионного анализа, чтобы проверить гипотезу о существовании различных мозговых механизмов, подлежащих имплицитному и эксплицитному типам научения новым словоформам. Мы обнаружили следующее: несмотря на то, что обе стратегии научения приводили к успешному усвоению новых стимулов, конкретные результаты их применения различались как на поведенческом (правильность ответов на задания семантических проверочных тестов), так и на нейрофизиологическом уровне. Наиболее важным открытием является то, что нам удалось обнаружить различия во временной динамике взаимодействия между этими двумя уровнями научения в зависимости от используемой стратегии: в случае FM-научения это взаимодействие между поведенческими показателями научения и подлежащей им мозговой активацией проявлялось раньше (и, возможно, отражало более заметное влияние этой стратегии на первые,

автоматические стадии усвоения слова), а в случае ЕЕ-научения проявлялось позже (что, вероятно, указывало на более интенсивное вовлечение внимания и функций исполнительного контроля). Полученные нами результаты также подчеркивают роль передней височной доли в формировании новых лексико-семантических репрезентаций. Несмотря на их значимость, мы считаем важным подчеркнуть необходимость проведения дальнейших исследований на эту тему — на материале других языков, с использованием иных типов стимулов и экспериментальных дизайнов, а равно с применением иных поведенческих тестов и методов нейровизуализации, — т. к. они позволят уточнить полученные нами данные и углубить существующие знания относительно различных нейрокогнитивных систем, отвечающих за эксплицитный и имплицитный типы научения.

## Заключение

Подведем итоги обоих экспериментов. И в Эксперименте 1, и в Эксперименте 2 нами были получены результаты, которые показали существование двух частично пересекающихся, но все же различающихся между собой нейрональных механизмов, подлежащих 1) имплицитному и 2) эксплицитному усвоению новых слов. Однако следует особо отметить как общие черты, так и различия между двумя экспериментами.

Во-первых, мы обнаружили несколько фаз активности мозга, возникающей в ответ на предъявление новых слов. При этом уже на самом раннем пике можно было зафиксировать динамику мозговой активации, отражающую усвоение новой вербальной информации. Эта динамика продемонстрировала, что мозг формирует следы памяти после всего лишь 10 предъявлений новых языковых элементов — несмотря на их значительное количество. Об успешности такого формирования можно говорить в случае как имплицитного, так и эксплицитного научения. То же самое было показано при помощи поведенческих методов: результаты речевого научения оказались положительными при использовании обеих стратегий. Во всех случаях в этом научении были задействованы распределенные сети коры головного мозга, включа-

ющие в себя как основные речевые области (зону Вернике и зону Брока), так и неречевые области левого полушария (теменные и лобные), а также кору правого полушария. Исходя из анализа этой мозговой активности, можно предположить, что в то время как при имплицитном научении доминируют левополушарные речевые области, в т. ч. височный полюс, считающийся своего рода центром лексико-семантических репрезентаций, при эксплицитном научении также задействуются сети, связанные с работой внимания и общим когнитивным контролем и отличающиеся двусторонним распределением. При этом следует отметить значительные различия между конфигурацией источников активности, выявленной в первом и втором экспериментах. Если в Эксперименте 1 было показано существование более распределенных сетей, то в Эксперименте 2 было выявлено доминирование активности височных полюсов левого и правого полушарий. На данном этапе исследований не представляется возможным дать этим различиям функциональную интерпретацию — скорее здесь имеет место случайная комбинация факторов, связанных с трудностями моделирования распределенных источников активности для ЭЭГ-данных с разным уровнем соотношения сигнала и шума при отсутствии точных моделей проводящих тканей. Вопрос о конкретных мозговых источниках активности быть может решен в будущем при помощи методов с более высоким пространственно-временным разрешением, таких как использование МЭГ для регистрации нейрональной активности в сочетании с моделями мозга, основанными на индивидуальных МРТ-сканах испытуемых.

Также следует отметить некоторые различия во временных параметрах активности: если в первом эксперименте мы зарегистрировали результаты эксплицитного и имплицитного научения уже на первом пике (при этом второй пик не показал различий между двумя стратегиями), то во втором эксперименте более ранний пик был связан с процессами имплицитного научения, а второй пик отражал усвоение только эксплицитно предъявленных слов. Данные различия, скорее всего, связаны с разными способами обработки ЭЭГ-данных: если в первом эксперименте мы применяли стандартные

факториальные методы статистического анализа амплитуд ВП, то во втором использовалась множественная линейная регрессия. Так или иначе, оба эксперимента указывают как на крайне быстрые сдвиги в мозговой активности, отражающей формирование новых следов памяти, так и на различия в этой динамике между двумя типами научения.

Кроме того, некоторые различия между эксплицитным и имплицитным научением проявились и в поведенческих результатах. Если в Эксперименте 1 мы не обнаружили никаких различий между поведенческими результатами использования двух типов научения, то в Эксперименте 2 все же было зарегистрировано некоторое преимущество использования эксплицитной стратегии. Это подтверждает данные, ранее полученные рядом исследователей, которые в схожих парадигмах зафиксировали лучшее узнавание эксплицитно усвоенных слов по сравнению со словами, усвоенными имплицитно. Несмотря на тщательную балансировку условий в обоих проведенных нами экспериментах, мы не можем исключить вероятность того, что FM- и EE-условие все же характеризовались различным уровнем внимания испытуемых к выполняемым ими задачам. Также на полученных нами результатах могла сказаться разница между условиями в постановке вопросов, а равно некоторые визуальные различия между FM- и EE-пробами, связанные с использованием филлеров в эксплицитном условии. При проведении дальнейших экспериментальных исследований можно будет взять за основу созданную нами парадигму и попробовать еще более усовершенствовать контрбалансировку различных условий и контроль за физическими и когнитивными параметрами стимуляции.

В описанных нами двух экспериментах были впервые обнаружены паттерны электрофизиологической активности, специфические для разных типов вербального научения. Таким образом, полученные нами результаты существенно дополнили уже известные данные, описанные в литературе и полученные в основном, с помощью использования поведенческих, клинических и фМРТ-методов. Однако следует отметить, что такие методы, как ЭЭГ, МЭГ и фМРТ, могут только констатировать активность мозга, но не могут ука-

зять на то, является ли она причиной явлений поведенческого плана. Для установления причинно-следственных связей необходимы методы нейростимуляции, использование которых может дать более прямой ответ на вопрос об участии той или иной мозговой структуры в реализации конкретной когнитивной функции. О результатах использования таких методов в нейропсихолингвистических исследованиях будет рассказано в *Главе 2*.

## Список литературы

1. База данных Национального корпуса русского языка (НКРЯ) [электронный ресурс] // URL: <http://ruscorpora.ru>.
2. Abel A. D., Schneider J., Maguire M. J. N400 response indexes word learning from linguistic context in children // *Language Learning and Development*. — 2018. — V. 14(1). — P. 61–71.
3. Aleksandrov A. A., Memetova K. S., Stankevich L. N., Knyazeva V. M., Shtyrov Y. Referent's lexical frequency predicts mismatch negativity responses to new words following semantic training // *Journal of Psycholinguistic Research*. — 2020. — V. 49(2). — P. 187–198.
4. Alexandrov A. A., Boricheva D. O., Pulvermüller F., Shtyrov Y. Strength of word-specific neural memory traces assessed electrophysiologically // *PLoS One*. — 2011. — V. 6(8). — e22999.
5. Atir-Sharon T., Gilboa A., Hazan H., Koilis E., Manevitz L. M. Decoding the formation of new semantics: MVPA investigation of rapid neocortical plasticity during associative encoding through fast mapping // *Neural Plasticity*. — 2015. — 804385.
6. Bauer P. J. Toward a neuro-developmental account of the development of declarative memory // *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*. — 2008. — V. 50(1). — P. 19–31.
7. Berlyne D. E., Borsa D. M. Uncertainty and the orientation reaction // *Perception & Psychophysics*. — 1968. — V. 3(1). — P. 77–79.
8. Bermúdez-Margaretto B., Beltrán D., Shtyrov Y., Dominguez A., Cuetos F. Neurophysiological correlates of top-down phonological and semantic influence during the orthographic processing of novel visual word-forms // *Brain Sciences*. — 2020. — V. 10(10). — 717.
9. Bion R. A. H., Borovsky A., Fernald A. Fast mapping, slow learning: Disambiguation of novel word-object mappings in relation to vocabulary learning at 18, 24, and 30 months // *Cognition*. — 2013. — V. 126(1). — P. 39–53.

10. Bloom P., Markson L. Capacities underlying word learning // Trends in Cognitive Sciences. — 1998. — V. 2(2). — P. 67–73.
11. Borovsky A., Elman J.L., Kutas M. Once is enough: N400 indexes semantic integration of novel word meanings from a single exposure in context // Language Learning and Development. — 2012. — V. 8(3). — P. 278–302.
12. Breitenstein C., Jansen A., Deppe M., Foerster A.F., Sommer J., Wolbers T., Knecht S. Hippocampus activity differentiates good from poor learners of a novel lexicon // NeuroImage. — 2005. — V. 25(3). — P. 958–968.
13. Carey S., Bartlett E. Acquiring a single new word // Papers and Reports on Child Language Development. — 1978. — V. 15. — P. 17–29.
14. Catani M., Mesulam M. The arcuate fasciculus and the disconnection theme in language and aphasia: History and current state // Cortex. — 2008. — V. 44(8). — P. 953–961.
15. Connine C.M., Mullennix J., Shernoff E., Yelen J. Word familiarity and frequency in visual and auditory word recognition // Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. — 1990. — V. 16(6). — P. 1084–1096.
16. Cooper E., Greve A., Henson R.N. Investigating fast mapping task components: No evidence for the role of semantic referent nor semantic inference in healthy adults // Frontiers in Psychology. — 2019. — V. 10. — 394.
17. Cope T.E., Shtyrov Y., MacGregor L. J., Holland R., Pulvermüller F., Rowe J.B., Patterson K. Anterior temporal lobe is necessary for efficient lateralised processing of spoken word identity // Cortex. — 2020. — V. 126. — P. 107–118.
18. Coutanche M.N., Thompson-Schill S.L. Fast mapping rapidly integrates information into existing memory networks // Journal of Experimental Psychology: General. — 2014. — V. 143(6). — P. 2296–2303.
19. Davis M.H., Gaskell M.G. A complementary systems account of word learning: Neural and behavioural evidence // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. — 2009. — V. 364(1536). — P. 3773–3800.
20. Dollaghan C. Child meets word “fast mapping” in preschool children // Journal of Speech, Language, and Hearing Research. — 1985. — V. 28(3). — P. 449–454.
21. Dumay N., Gaskell M.G. Overnight lexical consolidation revealed by speech segmentation // Cognition. — 2012. — V. 123(1). — P. 119–132.
22. Egorova N., Pulvermüller F., Shtyrov Y. Neural dynamics of speech act comprehension: An MEG study of naming and requesting // Brain Topography. — 2014. — V. 27(3). — P. 375–392.

23. Escera C., Alho K., Winkler I., Näätänen R. Neural mechanisms of involuntary attention to acoustic novelty and change // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 1998. — V. 10(5). — P. 590–604.
24. Friederici A.D. The cortical language circuit: From auditory perception to sentence comprehension // *Trends in Cognitive Sciences*. — 2012. — V. 16(5). — P. 262–268.
25. Friederici A.D. Towards a neural basis of auditory sentence processing // *Trends in Cognitive Sciences*. — 2002. — V. 6(2). — P. 78–84.
26. Gaskell M.G., Dumay N. Lexical competition and the acquisition of novel words // *Cognition*. — 2003. — V. 89(2). — P. 105–132.
27. Gosselke Berthelsen S., Horne M., Brännström K.J., Shtyrov Y., Roll M. Neural processing of morphosyntactic tonal cues in second-language learners // *Journal of Neurolinguistics*. — 2018. — V. 45. — P. 60–78.
28. Gosselke Berthelsen S., Horne M., Shtyrov Y., Roll M. Different neural mechanisms for rapid acquisition of words with grammatical tone in learners from tonal and non-tonal backgrounds: ERP evidence // *Brain Research*. — 2020. — V. 1729. — 146614.
29. Gottlieb J., Oudeyer P.Y., Lopes M., Baranes A. Information-seeking, curiosity, and attention: Computational and neural mechanisms // *Trends in Cognitive Sciences*. — 2013. — V. 17(11). — P. 585–593.
30. Grainger J. Word frequency and neighborhood frequency effects in lexical decision and naming // *Journal of Memory and Language*. — 1990. — V. 29(2). — P. 228–244.
31. Greve A., Cooper E., Henson R.N. No evidence that ‘fast-mapping’ benefits novel learning in healthy older adults // *Neuropsychologia*. — 2014. — V. 60. — P. 52–59.
32. Halberda J. Is this a dax which I see before me? Use of the logical argument disjunctive syllogism supports word-learning in children and adults // *Cognitive Psychology*. — 2006. — V. 53(4). — P. 310–344.
33. Himmer L., Müller E., Gais S., Schönauer M. Sleep-mediated memory consolidation depends on the level of integration at encoding // *Neurobiology of Learning and Memory*. — 2017. — V. 137. — P. 101–106.
34. Horst J.S., Samuelson L.K. Fast mapping but poor retention by 24-month-old infants // *Infancy*. — 2008. — V. 13(2). — P. 128–157.
35. Hyvärinen A. Fast and robust fixed-point algorithms for independent component analysis // *IEEE Transactions on Neural Networks*. — 1999. — V. 10(3). — P. 626–634.
36. Jensen M., Hyder R., Shtyrov Y. MVPA analysis of intertrial phase coherence of neuromagnetic responses to words reliably

- classifies multiple levels of language processing in the brain // *ENeuro*. — 2019. — V. 6(4). — ENEURO.0444–18.2019.
37. Jepma M., Verdonschot R. G., van Steenbergen H., Rombouts S. A., Nieuwenhuis S. Neural mechanisms underlying the induction and relief of perceptual curiosity // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. — 2012. — V. 6. — 5.
  38. Kimppa L., Kujala T., Leminen A., Vainio M., Shtyrov Y. Rapid and automatic speech-specific learning mechanism in human neocortex // *NeuroImage*. — 2015. — V. 118. — P. 282–291.
  39. Kimppa L., Kujala T., Shtyrov Y. Individual language experience modulates rapid formation of cortical memory circuits for novel words // *Scientific Reports*. — 2016. — V. 6(1). — 30227.
  40. Kimppa L., Shtyrov Y., Hut S.C. A., Hedlund L., Leminen M., Leminen A. Acquisition of L2 morphology by adult language learners // *Cortex*. — 2019. — V. 116. — P. 74–90.
  41. Konopak B., Sheard C., Longman D., Lyman B., Slaton E., Atkinson R., Thames D. Incidental versus intentional word learning from context // *Reading Psychology: An International Quarterly*. — 1987. — V. 8(1). — P. 7–21.
  42. Kurmakaeva D., Blagovechtchenski E., Gnedykh D., Mkrtychian N., Kostromina S., Shtyrov Y. Acquisition of concrete and abstract words is modulated by tDCS of Wernicke's area // *Scientific Reports*. — 2021. — V. 11(1). — 1508.
  43. Kutas M., Federmeier K.D. Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP) // *Annual Review of Psychology*. — 2011. — V. 62. — P. 621–647.
  44. Leminen A., Kimppa L., Leminen M.M., Lehtonen M., Mäkelä J.P., Shtyrov Y. Acquisition and consolidation of novel morphology in human neocortex: A neuromagnetic study // *Cortex*. — 2016. — V. 83. — P. 1–16.
  45. Macedonia M., Müller K., Friederici A.D. The impact of iconic gestures on foreign language word learning and its neural substrate // *Human Brain Mapping*. — 2011. — V. 32(6). — P. 982–998.
  46. Macedonia M., Repetto C., Ischebeck A., Mueller K. Depth of encoding through observed gestures in foreign language word learning // *Frontiers in Psychology*. — 2019. — V. 10. — 33.
  47. MacGregor L. J., Pulvermüller F., van Casteren M., Shtyrov Y. Ultra-rapid access to words in the brain // *Nature Communications*. — 2012. — V. 3. — 711.
  48. Maris E., Oostenveld R. Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data // *Journal of Neuroscience Methods*. — 2007. — V. 164(1). — P. 177–190.

49. Mayer K. M., Yildiz I. B., Macedonia M., von Kriegstein K. Visual and motor cortices differentially support the translation of foreign language words // *Current Biology*. — 2015. — V. 25(4). — P. 530–535.
50. McClelland J. L., McNaughton B. L., O'Reilly R. C. Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: Insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory // *Psychological Review*. — 1995. — V. 102(3). — P. 419–457.
51. McLaughlin J., Osterhout L., Kim A. Neural correlates of second-language word learning: Minimal instruction produces rapid change // *Nature Neuroscience*. — 2004. — V. 7(7). — P. 703–704.
52. McMurray B., Kapnoula E. C., Gaskell M. G. Learning and integration of new word-forms: Consolidation, pruning, and the emergence of automaticity // *Speech Perception and Spoken Word Recognition* / Ed. by G. Gaskell, J. Mirković. — London: Psychology Press, 2016. — P. 126–152.
53. Merhav M., Karni A., Gilboa A. Not all declarative memories are created equal: Fast mapping as a direct route to cortical declarative representations // *NeuroImage*. — 2015. — V. 117. — P. 80–92.
54. Mestres-Missé A., Càmara E., Rodriguez-Fornells A., Rotte M., Münte T. F. Functional neuroanatomy of meaning acquisition from context // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2008. — V. 20(12). — P. 2153–2166.
55. Mestres-Missé A., Rodriguez-Fornells A., Münte T. F. Watching the brain during meaning acquisition // *Cerebral Cortex*. — 2007. — V. 17(8). — P. 1858–1866.
56. Norman K. A., O'Reilly R. C. Modeling hippocampal and neocortical contributions to recognition memory: A complementary-learning-systems approach // *Psychological Review*. — 2003. — V. 110(4). — P. 611–646.
57. O'Reilly R. C., McClelland J. L. Hippocampal conjunctive encoding, storage, and recall: Avoiding a trade-off // *Hippocampus*. — 1994. — V. 4(6). — P. 661–682.
58. Oldfield R. C. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory // *Neuropsychologia*. — 1971. — V. 9(1). — P. 97–113.
59. Partanen E., Leminen A., de Paoli S., Bundgaard A., Kingo O. S., Krøjgaard P., Shtyrov Y. Flexible, rapid and automatic neocortical word form acquisition mechanism in children as revealed by neuromagnetic brain response dynamics // *NeuroImage*. — 2017. — V. 155. — P. 450–459.
60. Partanen E. J., Leminen A., Cook C., Shtyrov Y. Formation of neocortical memory circuits for unattended written word forms:

- Neuromagnetic evidence // *Scientific Reports*. — 2018. — V. 8(1). — 15829.
61. Pascual-Marqui R.D. Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): Technical details // *Methods & Findings in Experimental & Clinical Pharmacology*. — 2002. — V. 24(Suppl D). — P. 5–12.
  62. Pascual-Marqui R. D., Lehmann D., Koukkou M., Kochi K., Anderer P., Saletu B., Tanaka H., Hirata K., John E. R., Prichep L., Biscay-Lirio R., Kinoshita T. Assessing interactions in the brain with exact low-resolution electromagnetic tomography // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. — 2011. — V. 369(1952). — P. 3768–3784.
  63. Patterson K., Nestor P. J., Rogers T. T. Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain // *Nature Reviews Neuroscience*. — 2007. — V. 8(12). — P. 976–987.
  64. Polich J. Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b // *Clinical Neurophysiology*. — 2007. — V. 118(10). — P. 2128–2148.
  65. Pulvermüller F., Kiff J., Shtyrov Y. Can language-action links explain language laterality? An ERP study of perceptual and articulatory learning of novel pseudowords // *Cortex*. — 2012. — V. 48(7). — P. 871–881.
  66. Pulvermüller F., Kujala T., Shtyrov Y., Simola J., Tiitinen H., Alku P., Alho K., Martinkauppi S., Ilmoniemi R. J., Näätänen R. Memory traces for words as revealed by the mismatch negativity // *NeuroImage*. — 2001. — V. 14(3). — P. 607–616.
  67. Pulvermüller F., Shtyrov Y. Language outside the focus of attention: The mismatch negativity as a tool for studying higher cognitive processes // *Progress in Neurobiology*. — 2006. — V. 79(1). — P. 49–71.
  68. Pulvermüller F., Shtyrov Y., Hauk O. Understanding in an instant: Neurophysiological evidence for mechanistic language circuits in the brain // *Brain and Language*. — 2009. — V. 110(2). — P. 81–94.
  69. Rauschecker A. M., Pringle A., Watkins K. E. Changes in neural activity associated with learning to articulate novel auditory pseudowords by covert repetition // *Human Brain Mapping*. — 2008. — V. 29(11). — P. 1231–1242.
  70. Rice G. E., Lambon Ralph M. A., Hoffman P. The roles of left versus right anterior temporal lobes in conceptual knowledge: An ALE meta-analysis of 97 functional neuroimaging studies // *Cerebral Cortex*. — 2015. — V. 25(11). — P. 4374–4391.
  71. Rohde A., Tiefenthal C. Fast mapping in early L2 lexical acquisition // *Studia Linguistica*. — 2000. — V. 54(2). — P. 167–174.

72. Scoville W.B., Milner B. Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions // *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*. — 1957. — V. 20(1). — P. 11–21.
73. Searle J.R., Searle J.R. *Speech acts: An essay in the philosophy of language*. — Cambridge: Cambridge University Press, 1969.
74. Sharon T., Moscovitch M., Gilboa A. Rapid neocortical acquisition of long-term arbitrary associations independent of the hippocampus // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2011. — V. 108(3). — P. 1146–1151.
75. Shtyrov Y. Automaticity and attentional control in spoken language processing: Neurophysiological evidence // *The Mental Lexicon*. — 2010. — V. 5(2). — P. 255–276.
76. Shtyrov Y. Fast mapping of novel word forms traced neurophysiologically // *Frontiers in Psychology*. — 2011. — V. 2. — 340.
77. Shtyrov Y. Neural bases of rapid word learning // *The Neuroscientist*. — 2012. — V. 18(4). — P. 312–319.
78. Shtyrov Y., Filippova M., Blagovechtchenski E., Kirsanov A., Nikiforova E., Shcherbakova O. Electrophysiological evidence of dissociation between explicit encoding and fast mapping of novel spoken words // *Frontiers in Psychology*. — 2021. — V. 12. — 571–673.
79. Shtyrov Y., Hauk O., Pulvermüller F. Distributed neuronal networks for encoding category-specific semantic information: The mismatch negativity to action words // *European Journal of Neuroscience*. — 2004. — V. 19(4). — P. 1083–1092.
80. Shtyrov Y., Kirsanov A., Shcherbakova O. Explicitly slow, implicitly fast, or the other way around? Brain mechanisms for word acquisition // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2019. — V. 13. — 116.
81. Shtyrov Y., Nikulin V.V., Pulvermüller F. Rapid cortical plasticity underlying novel word learning // *Journal of Neuroscience*. — 2010. — V. 30(50). — P. 16864–16867.
82. Shtyrov Y.Y., Stroganova T.A. When ultrarapid is ultrarapid: On importance of temporal precision in neuroscience of language // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2015. — V. 9. — 576.
83. Smart C.M., Segalowitz S.J., Mulligan B.P., MacDonald S.W. Attention capacity and self-report of subjective cognitive decline: A P3 ERP study // *Biological Psychology*. — 2014. — V. 103. — P. 144–151.
84. Sugiura L., Hata M., Matsuba-Kurita H., Uga M., Tsuzuki D., Dan I., Hagiwara H., Homae F. Explicit performance in girls and implicit processing in boys: A simultaneous fNIRS-ERP study on second language syntactic learning in young adolescents // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2018. — V. 12. — 62.

85. Talpos J.C., Dias R., Bussey T.J., Saksida L.M. Hippocampal lesions in rats impair learning and memory for locations on a touch-sensitive computer screen: The “ASAT” task // *Behavioural Brain Research*. — 2008. — V. 192(2). — P. 216–225.
86. van Ackeren M.J., Casasanto D., Bekkering H., Hagoort P., Rueschemeyer S.A. Pragmatics in action: Indirect requests engage theory of mind areas and the cortical motor network // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2012. — V. 24(11). — P. 2237–2247.
87. van Berkum J.J.A., Hagoort P., Brown C.M. Semantic integration in sentences and discourse: Evidence from the N400 // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 1999. — V. 11(6). — P. 657–671.
88. Vasilyeva M.J., Knyazeva V.M., Aleksandrov A.A., Shtyrov Y. Neurophysiological correlates of fast mapping of novel words in the adult brain // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2019. — V. 13. — 304.
89. Vukovic N., Shtyrov Y. Cortical motor systems are involved in second-language comprehension: Evidence from rapid mu-rhythm desynchronisation // *NeuroImage*. — 2014. — V. 102(Pt. 2). — P. 695–703.
90. Vukovic N., Shtyrov Y. Learning with the wave of the hand: Kinematic and TMS evidence of primary motor cortex role in category-specific encoding of word meaning // *NeuroImage*. — 2019. — V. 202. — 116179.
91. Wade S., Kidd C. The role of prior knowledge and curiosity in learning // *Psychonomic Bulletin & Review*. — 2019. — V. 26(4). — P. 1377–1387.
92. Warren D.E., Duff M.C. Not so fast: Hippocampal amnesia slows word learning despite successful fast mapping // *Hippocampus*. — 2014. — V. 24(8). — P. 920–933.
93. Warren D.E., Tranel D., Duff M.C. Impaired acquisition of new words after left temporal lobectomy despite normal fast-mapping behavior // *Neuropsychologia*. — 2016. — V. 80. — P. 165–175.

## Глава 2

### Влияние транскраниальной электрической стимуляции на эксплицитное и имплицитное усвоение новых слов

---

#### Введение

Транскраниальная электрическая стимуляция (ТЭС) — это метод неинвазивной стимуляции мозга слабым постоянным электрическим полем, широко используемый для модуляции когнитивных функций. В последние годы этот метод все чаще находит применение в разных исследованиях, в результате которых одни авторы приходят к выводам о его эффективности (Flöel et al., 2008; Lee et al., 2013; Maljutina, den Ouden, 2015; Dedoncker et al., 2016; Brückner, Kammer, 2017; Imburgio, Orr, 2018; Lum et al., 2018; Owusu, Burianová, 2020), а другие, напротив, сообщают об отсутствии влияния ТЭС на протекание познавательных процессов (Henseler et al., 2014; Horvath et al., 2015; Meinzer et al., 2016; Westwood, Romani, 2017; Maljutina et al., 2018). Рассмотрим полученные к настоящему времени данные более подробно.

---

Ссылка для цитирования: *Перикова Е. И., Филиппова М. Г., Наследов А. Д., Благовещенский Е. Д., Щербакова О. В., Кирсанов А. С., Штыров Ю. Ю.* Влияние транскраниальной электрической стимуляции на эксплицитное и имплицитное усвоение новых слов // *От слова — к репрезентации. Нейрокогнитивные основы вербального научения* / Под ред. О. В. Щербаковой. — СПб: Скифия-принт, 2022. — С. 97–143.

На основании метаанализа 61 исследования с применением ТЭС дорсолатеральной префронтальной коры Ж. Дедонкер с коллегами делают вывод о положительном влиянии однократной анодной ТЭС на успешность выполнения широкого круга когнитивных задач, затрагивающих память, внимание и исполнительные функции, а также об отсутствии влияния на их решение катодной стимуляции (Dedoncker et al., 2016).

В другом обзоре, выполненном М. Имбурхио и Дж. Орром (Imburgio, Orr, 2018), был осуществлен метаанализ 27 исследований, также проведенных на основе использования ТЭС дорсолатеральной префронтальной коры и направленных на оценку влияния стимуляции на успешность выполнения разных когнитивных задач, которые были классифицированы авторами как имеющие отношение к исполнительным функциям. Эти задачи были разделены на три категории: 1) связанные с необходимостью торможения доминантных ответов (например, как в парадигме Струпа), 2) требующие смены мысленных установок (т. е. предполагающие фокусировку на релевантной задаче и отвлечение от нерелевантной, например, переключение между задачами) и 3) основанные на обновлении информации (и требующие динамического изменения содержимого рабочей памяти, как в парадигме n-back<sup>3</sup>). По результатам метаанализа авторы констатировали положительное влияние однократной анодной ТЭС на обновление информации, но не на торможение и смену установок.

Имеются данные, согласно которым ТЭС речевых зон мозга оказывает положительное влияние на обработку семантической информации (Meinzer et al., 2013; Brückner, Kammer, 2017), способствует выполнению задачи повторения скороговорок (Fiori et al., 2014) и называния объектов (Sparing et al., 2008; Fertonani et al., 2010; Fiori et al., 2011), а также усвоению зрительно-моторных последовательностей (Lum et al., 2018).

Однако можно встретить и публикации, в которых обсуждаются ограничения, связанные с использованием ТЭС. Результаты ряда исследований показывают, что эффекты ТЭС

---

<sup>3</sup> В этой парадигме человека просят назвать символы (чаще всего буквы), которые предъявлялись ему *n* шагов назад (в зависимости от количества этих шагов меняется название конкретной методики: 2-back, 3-back и т. д.) (подробнее см. в: Smith, Jonides, 1997).

ненадежны, малы и не поддаются репликации — по крайней мере, в случае применения однократной стимуляции на выборке здоровых людей. Так, в исследовании В. Фьори и коллег (Fiori et al., 2017) с использованием задачи усвоения семантики новых слов положительное влияние анодной стимуляции левой височной области было обнаружено только в группе пожилых людей: в группе более молодых испытуемых аналогичный эффект выявить не удалось. Возможности ТЭС также подвергаются серьезным сомнениям в обзоре Дж. Хорвата и коллег (Horvath et al., 2015), в котором сообщается об отсутствии доказательств существования каких-либо когнитивных эффектов в 80 исследованиях, выполненных на здоровых людях с использованием однократной ТЭС, — за исключением изменения моторных вызванных потенциалов мозга. С этими данными согласуются результаты и других исследований, в которых не было обнаружено различий между условиями реальной и плацебо-стимуляции. Например, в исследовании М. Майнцера и его коллег (Meinzer et al., 2016) с использованием парадигмы интерференции изображения и слова не удалось выявить ожидаемое усиление интерференции после стимуляции верхней височной извилины. В исследовании И. Хенселер с коллегами (Henseler et al., 2014), в котором также использовалась эта парадигма, тоже не удалось зафиксировать влияние ни лобной, ни височной стимуляции. Аналогичным образом результаты недавнего исследования С. Малютиной и коллег (Maljutina et al., 2018), проведенного на выборке из 72 здоровых участников, показали, что анодная и катодная стимуляция нижней лобной извилины не влияют на узнавание псевдослов, слов или понимание смысла предложений в сравнении с плацебо-стимуляцией. Наконец, результаты четырех экспериментов С. Вествуда и К. Романи (Westwood, Romani, 2017), в которых проверялась гипотеза о влиянии лобной и височной анодной ТЭС на результативность выполнения задач называния и чтения, также не позволили выявить какой-либо эффект стимуляции. В силу этого авторы указанной работы приходят к выводу о том, что на здоровых участниках сложно обнаружить надежные эффекты ТЭС в задачах чтения и называния. Более того, они предостерегают от использования ТЭС в качестве средства регулирования когни-

тивной деятельности и предлагают ограничить ее применение сферой патологической нейрофизиологии (Там же).

И действительно, наиболее ярко и однозначно потенциал ТЭС раскрывается при ее применении для коррекции различных речевых патологий. В частности, оптимистичные результаты демонстрируют исследования по восстановлению речевой функции при афазии с использованием ТЭС, в которых показаны возможности улучшения показателей беглости речи, а также способности называть и повторять слова (Baker et al., 2010; Fiori et al., 2014; Marangolo et al., 2014). Повышение результативности в задачах называния, включающих процесс артикуляции, не вызывает сомнений при использовании ТЭС нижней лобной извилины (Lee et al., 2013; Marangolo et al., 2014, 2016).

Как правило, в исследованиях с участием пациентов, страдающих от афазии, осуществляется стимуляция речевых зон в левом полушарии, но встречаются и данные, согласно которым вовлечение в работу правого полушария также может способствовать улучшению показателей речи (см. Cocquyt et al., 2017 для обзора). В целом можно констатировать, что использование такого простого неинвазивного инструмента, как ТЭС, позволяет строить благоприятные прогнозы в отношении улучшения речевых функций. Оптимистичные результаты, полученные в области нейрореабилитации, дают основания надеяться, что ТЭС речевых зон мозга может повысить вербальные способности в целом и показатели речевого научения в частности.

Что касается исследований в области речевого научения, то они сосредоточены, как правило, на изучении функциональной роли основных речевых зон — Брока и Вернике, — которые у большинства людей находятся в левом полушарии. Так, сообщается, что использование однократной ТЭС улучшает показатели выполнения задач называния (naming), повторения (repetition) и семантического словообразования (semantic word generation) (Fiori et al., 2017). В контексте нашего собственного исследования, которое будет подробно описано ниже, особенно актуальным является то, что в ряде случаев было обнаружено положительное влияние ТЭС на интеграцию новых слов в уже имеющийся лексикон (Flöel et al.,

2008; Meinzer et al., 2014; Owusu, Burianová, 2020). Например, в работе А. Флээль с коллегами с использованием ТЭС области Вернике участники заучивали набор из 30 новых слов, обозначающих объекты (Flöel et al., 2008). Однократной анодной стимуляции оказалось достаточно, чтобы повысить результативность такого ассоциативного научения с точки зрения как скорости, так и правильности ответов по сравнению с катодной и плацебо-стимуляцией (проверка производилась посредством вынесения суждения о том, соответствует ли звучащее название предъявленному изображению). Аналогичным образом в исследовании М. Майнцера и его группы анодная ТЭС области Вернике улучшала усвоение новых слов (что проверялось с помощью задач на запоминание и распознавание) в условиях пятидневного обучения, при этом эффект был минимальным в первый день и постепенно увеличивался от сеанса к сеансу (Meinzer et al., 2014). Результаты данного исследования показали, что более успешное — опять же, с точки зрения как скорости ответов, так и их правильности — научение было связано с анодной ТЭС (по сравнению с плацебо-стимуляцией). В другом исследовании с использованием анодной ТЭС зоны Вернике (Owusu, Burianová, 2020) применялась техника предъявления слов-омонимов, скомбинированных с другими словами, имеющими а) прямое значение омонима, б) его переносное значение или в) представляющими собой новые (не имеющие значений) словоформы. На этапе проверки испытуемые должны были по подсказке, в роли которой выступало слово-омоним, воспроизводить второе слово из предъявленной ранее пары. Предполагалось, что ТЭС повысит эффективность запоминания ассоциативной связки омонима и новой словоформы (а не омонима со словами, имеющими его прямое и переносное значение, поскольку эти ассоциативные связи уже были сформированы ранее). Именно такой эффект и был получен в результате: количество правильных воспроизведений новой словоформы по подсказке в виде слова-омонима возросло по сравнению с условием плацебо-стимуляции. Авторы пришли к заключению, что анодная ТЭС способна укреплять ассоциативные связи, возникающие между многозначными словами и псевдословами, и предложили рассматривать ее в качестве катализатора лингвистического кодирования.

Несмотря на то что результаты большинства экспериментов говорят о положительном влиянии анодной ТЭС речевых зон мозга на показатели речевых функций, иногда можно встретить сообщения и об отрицательных эффектах стимуляционного воздействия. Так, в исследовании А. Пизони и коллег (Pisoni et al., 2015) применялась ТЭС левой передней височной доли, которая включает зону Вернике, и левой нижней лобной извилины, куда входит область Брока, а испытуемые выполняли задачу запоминания имен незнакомых им людей. Проверка качества усвоения проводилась с помощью заданий двух типов: называния лиц (proper name retrieval test) и сопоставления лиц с именами (association test). Было обнаружено, что анодная ТЭС левой передней височной доли вела к уменьшению т. н. ошибок вторжения (в качестве которых рассматривалось называние имен, принадлежащих другим людям), т. е. снижала интерференцию с другими именами по сравнению с плацебо-стимуляцией, тогда как анодная ТЭС левой нижней лобной извилины, напротив, вела к увеличению этой интерференции. По мнению авторов, анодная стимуляция левой передней височной доли усиливала помехи со стороны слов-конкурентов при извлечении требуемого имени. При этом катодная стимуляция левой передней височной доли не повлияла на выполнение этих заданий.

Помимо исследований, в которых не было обнаружено какого-либо эффекта катодной стимуляции (Flöel et al., 2008; Jacobson et al., 2012; Dedoncker et al., 2016), нередко можно встретить работы, сообщающие о том, что она оказывает негативное воздействие на речевое научение. К работам такого типа относится, например, исследование В. Фьори и ее коллег, в котором было показано, что, в отличие от анодной ТЭС левой лобной коры, способствующей выполнению задачи повторения скороговорок, катодная стимуляция выполнению этой задачи, напротив, препятствовала (Fiori et al., 2014). Аналогичным образом в исследовании Ш. Элмера с коллегами катодная стимуляция левой дорсолатеральной префронтальной коры мешала усвоению аудиально предъявленных существительных (Elmer et al., 2009). Крайне редко встречаются исследования, результаты которых обнаруживают позитивное влияние катодной ТЭС на речевую деятель-

ность. Так, в эксперименте С. Малютиной и Д.-Б. ден Удена катодная стимуляция области Брока у здоровых участников увеличивала скорость называния глаголов и существительных по сравнению с плацебо-стимуляцией (Malyutina, den Ouden, 2015). А в работе С. Брюкнер и Т. Каммера катодная ТЭС зоны Вернике позволила уменьшить время реакции при узнавании псевдослов в сравнении с плацебо-воздействием (Brückner, Kammer, 2017).

Отдельной проблемой в области речевого научения является вопрос о влиянии зоны Брока на эффективность артикуляции, поскольку очень часто позитивные эффекты использования ТЭС области Брока наблюдаются в задачах, которые так или иначе предполагают артикуляцию подлежащих усвоению слов. Именно такие задачи использовались в описанном выше исследовании С. Малютиной и Д.-Б. ден Удена (Malyutina, den Ouden, 2015), где было обнаружено возрастание скорости называния слов при катодной ТЭС, а также в упомянутом ранее эксперименте В. Фьори и коллег, где анодная ТЭС повышала эффективность повторения скороговорок (однако катодная стимуляция препятствовала выполнению этой задачи) (Fiori et al., 2014). В другом эксперименте В. Фьори и ее соавторов, где также использовалась задача артикулирования заучиваемых слов, анодная ТЭС зоны Брока способствовала усвоению глаголов неродного языка (Fiori et al., 2018). Возрастание эффективности выполнения задачи называния изображений было показано в исследовании Р. Холланд с соавторами (Holland et al., 2011), а, согласно данным З. Каттанео и коллег (Cattaneo et al., 2011), анодная ТЭС области Брока повышает беглость речи. Все эти результаты позволяют предполагать важную роль зоны Брока в артикуляторном научении. При этом в исследовании А. Пизони и его коллег (Pisoni et al., 2017), посвященном изучению влияния ТЭС на фонологическую фасилитацию (т. е. ускорение называния изображения при аудиальном предъявлении фонологически связанных с ним слов), не было обнаружено эффекта анодной ТЭС зоны Брока. Однако стимуляция левой верхней височной извилины, включающей в себя зону Вернике, вызвала общий неспецифический эффект, проявившийся в снижении фонологической фасилитации за счет уменьшения времени ре-

акции при предъявлении фонологически не связанных друг с другом стимулов. Авторы предполагают, что стимуляция левой верхней височной извилины активировала конкуренты целевого слова, за счет чего вместо выборочного ускорения его названия ускорялось даже название слов, фонологически не связанных с ним. Ими также было высказано предположение, что ТЭС способна снижать взаимное торможение между целевыми словами и дистракторами, тем самым оказывая влияние на механизмы переработки информации.

В целом, несмотря на достаточное количество исследований с применением ТЭС и существование мнения о том, что из-за простоты и безопасности этого инструмента его использование в нейролингвистических работах является перспективным (например, Flöel, 2014), влияние электрической стимуляции постоянным током на процессы вербального научения еще нельзя считать достаточно изученным.

Неопределенности добавляют и методологические сложности, связанные с использованием в процессе ТЭС различных конфигураций электродов. Несмотря на то что количество исследований с применением ТЭС в последнее время увеличивается, одновременно растет и их методологическая неоднородность, связанная, в частности, с использованием разных технических параметров стимуляции, которые также оказывают влияние на ее результат. Например, значение может иметь расположение контрольного электрода (референта), поскольку он модулирует ориентацию текущего потока электрического тока относительно целевых популяций нейронов (Garnett et al., 2015; Rawji et al., 2018). В частности, так происходит в случае использования биполярного монтажа<sup>4</sup> (контрольный

---

<sup>4</sup> Существует несколько основных типов монтажа: 1) билатеральный или биполярный (bilateral (bi-cephalic) montage), при котором оба электрода — активный и референтный — располагаются на голове, над той или иной областью мозга, 2) монолатеральный или униполярный (monolateral (mono-cephalic) montage), при котором активный электрод помещается на голове, а референтный — за ее пределами (например, на плече), и 3) т. н. «не-головной» (non-cephalic montage), при котором активный электрод также располагается на голове, а референтный — в области головы, но не над мозгом (например, на щеке). Второй и третий типы монтажа часто объединяют под общим названием «униполярный».

катод расположен над правым полушарием или контрольный анод помещен над левым полушарием), конфигурация которого фактически влияет сразу на оба полушария мозга (см. также de Aguiar et al., 2015). Данная особенность связана с тем, что область распространения электрического поля от наложенного на кожу электрода может быть шире, чем сама стимулируемая зона. В связи с этим в качестве альтернативы используются униполярные монтажи (Zhao et al., 2017), однако они также могут становиться причиной возникновения некоторых побочных эффектов. Биполярные монтажи используются как для катодной стимуляции правого полушария (например, Flöel et al., 2011; Kang et al., 2011; You et al., 2011; Rosso et al., 2014) с левыми надглазничными контрольными анодами, так и для анодной стимуляции левого полушария (например, Fridriksson et al., 2011 — контрольный катод на правой половине лба; Saidmanesh et al., 2012 — контрольный катод над правой дорсолатеральной префронтальной корой; Fiori et al., 2011 и Marangolo et al., 2013 — контралатеральные фронтополярные референтные катоды).

Также известно, что расположение катода может уменьшить выраженность эффекта односторонней анодной ТЭС дорсолатеральной префронтальной коры. Так, в обзоре М. Имбурхио и Дж. Орра сообщается о том, что, в отличие от униполярного монтажа ТЭС, при котором катоды чаще всего располагаются на плече, при биполярном монтаже, когда катоды закрепляются на голове (обычно на гомологе стимулируемой зоны мозга) может не обнаруживаться никакого влияния стимуляции на когнитивную деятельность (Imburgio, Orr, 2018). Таким образом, в отношении влияния ТЭС на речевые области головного мозга в случае использования биполярного монтажа остается не вполне ясным, какую именно роль играет стимуляция речевых зон левого полушария, а какую — стимуляция их правополушарных гомологов. Кроме того, разница в эффектах ТЭС может объясняться различиями между когнитивными задачами, которые выполняет испытуемый во время или после стимуляции. Так, А. Пизони с коллегами подчеркивают, что анодная ТЭС вызывает пластические изменения в тех кортикальных областях, которые важны для текущей задачи (Pisoni et al., 2018).

Несмотря на то что исследования в области речевого научения с применением ТЭС уже далеко не единичны, до сих пор не изучалось влияние стимуляции мозга на эффективность усвоения новых слов в связи с используемой стратегией научения. Как было подробно описано в *Главе 1*, в психо- и нейролингвистических исследованиях выделяют две основные стратегии научения, характерные как для детей, так и для взрослых: имплицитное (“fast mapping”, FM), связанное с пониманием информации на основе контекста, т. е. через дедукцию, и эксплицитное (explicit encoding, EE), происходящее посредством прямого указания на подлежащий усвоению объект с последующим повторением выученного материала (Carey, Bartlett, 1978; Dollaghan, 1985). Поскольку результаты ряда исследований говорят о том, что мозговые механизмы этих двух стратегий отличаются друг от друга (Shtyrov et al., 2019, 2021; см. также *Главу 1*), есть все основания полагать, что ТЭС также может оказывать различное влияние на имплицитное и эксплицитное научение.

Итак, за последнее время стало понятно, что результаты ТЭС довольно неоднозначны: кроме проблем с методологической неоднородностью исследований, нет определенности и в отношении специфичности влияния полярности стимуляции (катодной или анодной) на эффективность усвоения новых слов. Существует дефицит прямых сравнений влияния анодной и катодной ТЭС на речевое научение. В частности, не существует исследований, оценивающих влияние анодной и катодной стимуляции правого и левого полушария по отдельности: имеются лишь данные по параллельной билатеральной стимуляции анодом и катодом (Lee et al., 2013). Также можно отметить недостаток прямых сопоставлений влияния ТЭС основных речевых зон — Брока и Вернике — и их правополушарных гомологов на усвоение новых единиц языка в рамках одного и того же экспериментального плана. Для прояснения этих вопросов необходимо проведение специальных исследований. И, наконец, совершенно неизученным остается вопрос о влиянии ТЭС на усвоение новых слов с помощью эксплицитной и имплицитной стратегий научения. Решение этих проблем вошло в задачи настоящего эксперимента, включающего в себя комплексную оценку эффектов ТЭС в условиях имплицитного и эксплицитного нау-

чения при различных полярностях (анодная/катодная) и зонах (Брока/Вернике) стимуляции, полушариях (левое/правое (т. е. гомологи зон Брока и Вернике в правом полушарии)), с артикуляцией подлежащих усвоению словоформ и без нее.

## **Методы и организация исследования**

### ***Стимульный материал***

Стимульный материал исследования состоял из 1) аудиальных стимулов, представленных словами и содержащими эти слова контекстными предложениями, и 2) визуальных стимулов.

Для эксперимента были созданы 16 новых словоформ на основе 16-ти существительных русского языка (имеющих структуру «согласный—гласный—согласный»: например, *нож, фен, бык, лев*). Вербальные стимулы полностью соответствовали русской фонологии и фонотактике, поскольку представляли собой комбинации из начала и конца существующих слов, но не имели существовавших значений в русском языке. 16 новых словоформ чередовались между участниками, предъявляясь в разных ролях при разных типах научения и условиях артикуляции для исключения идиосинкразических эффектов постоянного сочетания одной и той же словоформы с одним и тем же новым значением; всего каждый участник выучил восемь новых словоформ.

В качестве семантических референтов используемых в эксперименте слов (ранее известных и новых) использовались изображения известных и малоизвестных объектов и животных (например, древних музыкальных инструментов или глубоководных рыб). Различия в узнаваемости известных и малоизвестных объектов среди контрольной группы русскоязычных респондентов были значимы ( $p < 0,01$ ). Для каждого предмета было отобрано по 10 изображений, позволяющих сформировать целостное представление о значимых свойствах объектов, относящихся к одной и той же семантической категории.

Для семантизации слов с помощью отобранных изображений были составлены наборы вопросительных предложений. Для каждого из объектов было разработано по 10 предложе-

ний, структура которых была стандартизированной и зависела от стратегии речевого научения.

Стимульные слова и предложения были озвучены русскоговорящей женщиной-диктором, затем записанные материалы были сбалансированы по громкости и продолжительности звука с помощью программного обеспечения Adobe Audition 1.5 (Adobe Inc., Сан-Хосе, Калифорния, США).

### *Процедура исследования*

Экспериментальный дизайн исследования механизмов эксплицитного и имплицитного научения был основан на аудиальном предъявлении участникам новых слов в соответствии с их визуальными референтами. Условия имплицитного или эксплицитного научения были сбалансированы с точки зрения режима презентации и общей когнитивной нагрузки: оба условия включали изображение целевого и нецелевого стимула и сопровождалось вопросом, представленным на слух и семантически связанным с целевым изображением. Различия касались необходимости использования той или иной стратегии научения: в условии имплицитного научения испытуемый должен был использовать контекстную информацию, чтобы сделать вывод о целевом объекте, исключив другой знакомый ему объект, представленный одновременно с целевым, например, «Имеет ли хвост ХХХ?». В условии эксплицитного научения цель участников состояла в том, чтобы явно связать целевой объект с соответствующим ему словом. Для решения этой задачи предъявление изображения целевого объекта сопровождалось вопросом для привлечения внимания, например, «Вот ХХХ. Вы его запомните?». Для уравнивания двух типов научения оба условия включали вопрос и два изображения, в условиях эксплицитного научения референтным изображением был филлер (бессмысленное размытое изображение).

Каждая новая словоформа появлялась 10 раз во время обучающей серии, но вопросы и семантические референты никогда не повторялись, что обеспечивало различный — и экологически валидный — контекст научения. Таким образом,

каждая проба характеризовалась уникальным сочетанием словоформы / изображения / вопроса. Контекстные вопросы для условий эксплицитного и имплицитного научения были псевдослучайным образом смешаны в одном блоке. Дополнительным условием для участников была артикуляция словоформы в конце экспериментальной пробы для 50% изучаемых слов. Общая схема экспериментальной парадигмы представлена на Рис. 10.

Каждая проба начиналась с предъявления фиксационного креста в центре экрана на 5000 мс одновременно с устно звучащим вопросом. Затем предъявлялись два изображения (целевое и нецелевое) в течение 3000 мс. В условии имплицитного научения были представлены изображения малоизвестных и известных объектов; в условии эксплицитного научения одно из изображений было филлером, введенным для визуального баланса двух условий. Левое/правое расположение целевого изображения было контрбалансировано для всех проб. Для 50% целевых слов, представленных в обоих условиях, требовалась артикуляция. Участники отвечали на вопрос «да» или «нет», нажимая указательным пальцем левой руки соответствующую кнопку на специальном пульте RB-740 (Cedrus Corp., Сан-Педро, Калифорния, США).

### *Проверочные задания*

Для проверки усвоения новых слов на лексическом и семантическом уровнях были использованы два проверочных задания: узнавание и установление семантического соответствия между словом и изображением.

Задача узнавания предполагала аудиальное распознавание словоформ. Участник исследования определял, встречалась словоформа ранее в обучающей серии или нет. После предъявления каждого стимула участник нажимал кнопку «да», если считал, что стимул был предъявлен ранее в ходе эксперимента, и кнопку «нет» в противном случае. Продолжительность звучания словоформы и время ответа составляли 5000 мс. Затем в центре экрана на 100 или 150 мс появлялся фиксационный крест («+»), после чего начиналось предъявление следующей словоформы.



Задача на установление семантического соответствия состояла в сопоставлении словоформы и изображения. Испытуемому одновременно предъявляли аудиальный целевой стимул и четыре картинки, встречавшиеся ранее в обучающей серии; только одна из этих картинок семантически соответствовала словоформе. Положение изображений на экране соответствовало координатам  $-200 \times 200$ ;  $200 \times 200$ ;  $-200 \times -200$ ;  $200 \times -200$ . Испытуемому нужно было нажать кнопку 1, 2, 3 или 4, соответствующую номеру изображения, которое, по его мнению, семантически совпадало со звучащей словоформой. Через 100 мс после нажатия на клавишу началась следующая проба.

### **Выборка**

Выборку составили 228 испытуемых в возрасте от 18 до 35 лет (184 — женщины; средний возраст — 23,17,  $SD = 3,95$ ). Участники исследования были в случайном порядке распределены на девять групп стимуляции: анодная ТЭС зоны Брока, катодная ТЭС зоны Брока, анодная ТЭС зоны Вернике, катодная ТЭС зоны Вернике, анодная ТЭС правополушарного гомолога зоны Брока, катодная ТЭС правополушарного гомолога зоны Брока, анодная ТЭС правополушарного гомолога зоны Вернике, катодная ТЭС правополушарного гомолога зоны Вернике и плацебо-стимуляция. Все участники исследования были русскоговорящими праворукими монолингвами, не страдающими неврологическими и психиатрическими заболеваниями и не имеющими в анамнезе травм головы (в т. ч. сотрясений мозга), алкоголизма и наркомании. Испытуемые имели нормальное или скорректированное до нормального зрение, а также не имели металлических имплантов в области головы. Праворукость оценивалась с помощью Эдинбургского опросника (Oldfield, 1971). Группы испытуемых статистически не различались по возрасту ( $H = 10,3$ ,  $p = 0,24$ ), право- и леворукости ( $H$  (левая рука) = 10,03,  $p = 0,26$ ;  $H$  (правая рука) = 15,38,  $p = 0,05$ ), возрасту начала изучения первого иностранного языка ( $H = 6,19$ ,  $p = 0,63$ ), также не было выявлено различий по полу ( $\chi^2(8) = 3,81$ ,  $p = 0,92$ ) и уровню образования ( $\chi^2(24) = 21,2$ ,  $p = 0,64$ ).

## ***Параметры транскраниальной электрической стимуляции***

Для стимуляции использовался прибор BrainStim (E.M.S. Srl, Болонья, Италия). Постоянный ток подавался через два проводящих силиконовых электрода  $5 \times 5$  см. Электропроводность обеспечивалась за счет применения токопроводящего геля «УниМакс» (Гельтек-Медика, Россия). В случае использования анодного протокола стимулирующий электрод помещался на кожу головы — над зонами Брока, Вернике или их правополушарными гомологами, согласно положениям электродов F5, CP5 и F6, CP6 в международной системе ЭЭГ 10% — 20%, соответственно. Референтный электрод помещался на левую трапециевидную мышцу, чтобы избежать возможного тормозящего действия тока на работу мозга. Для катодной стимуляции процедура была идентичной — за исключением того, что полярность двух электродов была обратной.

Постоянный ток 1,5 мА подавался в течение 15 минут, при этом сила тока постепенно увеличивалась от 0 до 1,5 мА в течение первых 30 секунд и уменьшалась в течение последних 30 секунд. Для группы плацебо-стимуляции электроды располагались аналогично условию реальной ТЭС на 15 минут, но подача тока осуществлялась только в течение первых и последних 30 секунд стимуляционной сессии, чтобы вызвать у испытуемых кожное ощущение активной стимуляции. Сразу после стимуляции участники исследования переходили к выполнению заданий обучающей сессии.

## ***Статистический анализ<sup>5</sup>***

Статистический анализ выполнялся с использованием программного обеспечения IBM SPSS v.26.0 (IBM Inc., Армонк, Нью-Йорк, США). Данные были проанализированы

---

<sup>5</sup> Авторы выражают благодарность К.Г. Мирошнику за ряд квалифицированных консультаций по поводу стратегии статистического анализа данных, а также ценные замечания, связанные с реализацией конкретных статистических процедур.

по двум параметрам: времени реакции и количеству ошибок в двух проверочных заданиях, с помощью которых оценивалось качество усвоения новых слов. Целью статистического анализа была оценка основного влияния ТЭС областей Брока и Вернике и их правополушарных гомологов на усвоение новых слов, а также оценка взаимодействия факторов Артикуляция, Стратегии научения, Группы стимуляции — как по времени, так и по правильности ответов. Время реакции анализировалось с использованием обобщенных линейных смешанных моделей (generalized linear mixed models, GLMM) — в частности функции GENLINMIXED — и *H*-критерия Краскала — Уоллиса.

Прежде всего, мы провели первичную обработку данных и включили в анализ только пробы с правильными ответами, данными не ранее 400 мс после предъявления задания, время реакции для которых не выходило за пределы двух стандартных отклонений от среднего. Расчеты проводились отдельно для двух проверочных заданий в каждой из девяти групп. Нормальность распределения всех анализируемых данных проверялась с использованием критериев Шапиро — Уилка и Колмогорова — Смирнова с поправкой Лиллиефорса.

После первичной обработки данных был проведен анализ методом обобщенных линейных смешанных моделей. Выбор данного вида анализа был связан, во-первых, с высоким уровнем статистической мощности этого метода, его устойчивостью к отклонениям распределения от нормального и возможностью использования случайных эффектов (Thiele, Markussen, 2012; Vatsikadze et al., 2013), а во-вторых, с вариативностью эффектов ТЭС в зависимости от индивидуальных особенностей участников исследования (т. к. известно, что индивидуальные характеристики испытуемых и специфика проверочных заданий могут играть немаловажную роль во влиянии стимуляционного воздействия на когнитивные способности и, в частности, на изучение слов (Malyutina et al., 2018; Adenzato et al., 2019)).

Анализ времени реакции был выполнен методом GLMM для нормального распределения с функцией максимальной

ного правдоподобия. Для контроля независимости данных и индивидуальной изменчивости в качестве случайных факторов были использованы индивидуальный номер (ID) испытуемого и тип проверочного задания (две градации фактора: узнавание и семантическое соответствие). Для проверки качества построенных моделей и выбора наиболее подходящей для описания полученных результатов мы сравнили показатели двух информационных критериев: Акаике (Akaike information criterion, AIC) и байесовского (Bayesian information criterion, BIC). В соответствии с рекомендациями (Barr et al., 2013) интерпретации были подвергнуты модели с меньшими индексами. Поправка Бонферрони была использована для всех сравнительных корректировок апостериорных анализов и попарных сравнений. Статистическая значимость была установлена на уровне  $p < 0,05$ .

Чтобы количественно оценить роль взаимодействия факторов Артикуляция, Стратегии научения и Группы стимуляции в усвоении новых слов, мы провели три анализа данных по отдельности: 1) в группе плацебо, 2) в группах ТЭС левого и 3) в группах ТЭС правого полушария. Таким образом, в случае анализа времени реакции в группе плацебо фиксированными эффектами были Артикуляция и Стратегии научения, а случайными эффектами — ID испытуемого и Тип проверочного задания. Для GLMM, построенных на основе данных групп, получивших стимуляцию правого и левого полушария, были одинаковые фиксированные и случайные эффекты в соответствии с Таблицей 1.

*Таблица 1.* Фиксированные и случайные эффекты GLMM для анализа времени реакции

Данные для анализа	Фиксированные эффекты	Случайные эффекты
Группа плацебо-стимуляции	Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное)	ID испытуемого × Тип проверочного задания

Данные для анализа	Фиксированные эффекты	Случайные эффекты
Группы ТЭС левого полушария	Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное) × Группы стимуляции (анодная ТЭС зоны Брока/ катодная ТЭС зоны Брока/ анодная ТЭС зоны Вернике/ катодная ТЭС зоны Вернике)	ID испытуемого × Тип проверочного задания
Группы ТЭС правого полушария	Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное) × Группы стимуляции (анодная ТЭС гомолога зоны Брока/катодная ТЭС гомолога зоны Брока/анодная ТЭС гомолога зоны Вернике/катодная ТЭС гомолога зоны Вернике)	ID испытуемого × Тип проверочного задания

Дополнительно для оценки основного эффекта стимуляции было проведено сравнение времени реакции для новых слов в задачах узнавания и установления семантического соответствия по отдельности между группами с реальной и плацебо-стимуляцией с использованием *H*-критерия Краскала — Уоллиса. Непараметрический метод использовался в связи с ненормальностью распределения данных в ряде групп стимуляции. Апостериорный критерий Данна применялся для каждой пары сравнений (группа реальной и плацебо-стимуляции) с поправкой Данна — Бонферрони. Статистическая значимость была установлена на уровне  $p < 0,05$ .

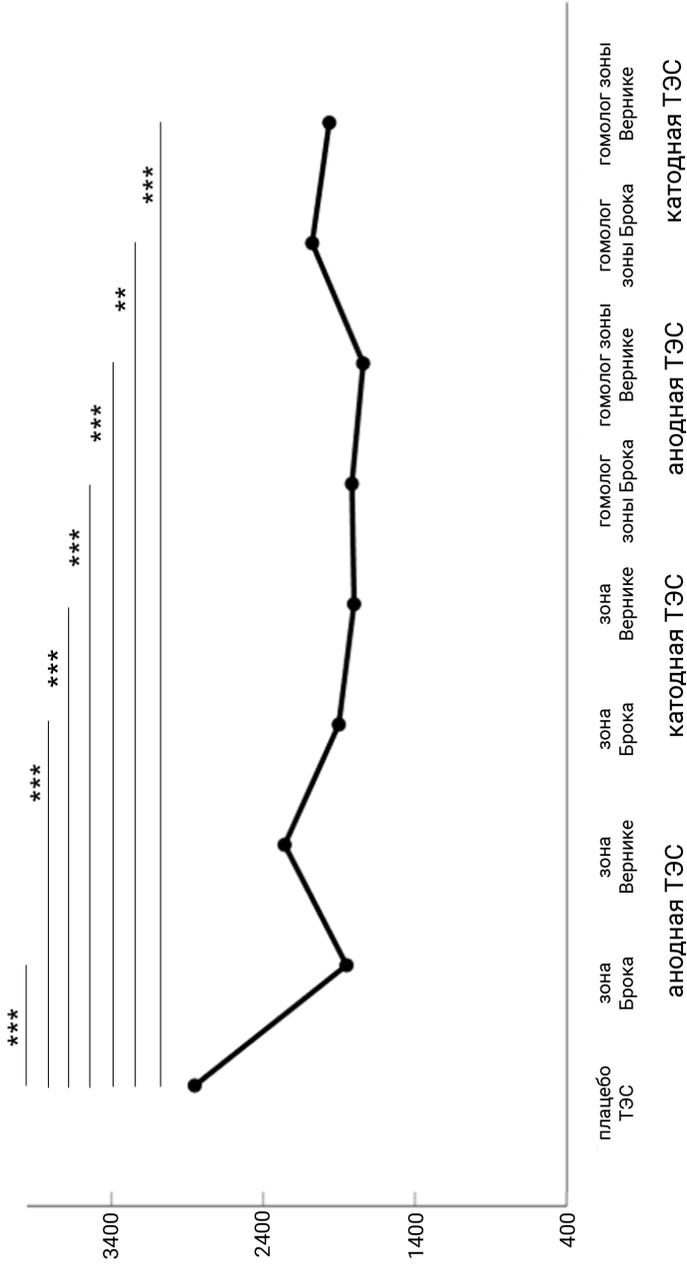
GLMM для количества ошибок применялись для распределения Пуассона с параметрами моделей, которые оценивались с использованием метода максимального правдоподобия и функции  $\log \text{link}$ . Аналогично для времени реакции мы провели три анализа по отдельности для: 1) группы плацебо-стимуляции, 2) групп ТЭС левого

и 3) групп ТЭС правого полушария для двух заданий. Для уточнения распределения данных мы оценили отношение дисперсии к среднему для числа ошибок, которое в случае распределения Пуассона должно быть  $\sim 1$  (плацебо-группа = 0,78, левое полушарие = 0,98, правое полушарие = 0,97). Тип проверочного задания использовался в качестве случайного эффекта для групп, получивших стимуляцию левого и правого полушария, но не для группы плацебо, в соответствии с показателями *AIC* и *BIC*. В Таблице 2 отражены фиксированные и случайные эффекты для смешанных моделей в трех анализах по отдельности. Поправка Бонферрони применялась для коррекции уровней значимости различий (*p*) при проведении всех множественных сравнений.

Таблица 2. Фиксированные и случайные эффекты смешанных моделей для анализа количества ошибок

Данные для анализа	Фиксированные эффекты	Случайные эффекты
Группа плацебо-стимуляции	Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное)	
Группы ТЭС левого полушария	Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное) × Полярность стимуляции (анодная/катодная)	Тип проверочного задания
Группы ТЭС правого полушария	Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное) × Полярность стимуляции (анодная/катодная)	Тип проверочного задания

Кроме того, мы провели дисперсионный анализ (ANOVA) для задания узнавания, чтобы определить роль взаимодействия факторов Артикуляция, Стратегии научения и Полярность стимуляции. Был реализован односторонний ANOVA



**Рисунок 11.** Влияние плацебо и реальной ТЭС на время реакции (мс) для новых слов в двух проверочных заданиях. Условные обозначения: уровень значимости различий  $**p < 0,01$ ,  $***p < 0,001$

с последующей апостериорной коррекцией Бонферрони для оценки основного стимулирующего эффекта и трехсторонний смешанный ANOVA для анализа взаимодействий между факторами Стратегия научения, Артикуляция (внутригрупповой фактор) и Полярность стимуляции (межгрупповой фактор).

## Результаты

### *Результаты анализа времени реакции*

Участники исследования отвечали быстрее после реальной стимуляции, чем после плацебо-стимуляции (GLMM (без случайного эффекта) —  $F(8, 3624) = 1,45, p < 0,01$ ;  $AIC = 62282,86, BIC = 62289,06$ ; GLMM (со случайным эффектом) —  $F(8, 3624) = 6,35, p < 0,01$ ; случайный эффект (ID испытуемого) —  $Z = 15,44, SD = 1100, p < 0,01$ ;  $AIC = 59811, BIC = 59811$ ). Парные сравнения показали значимые различия между группами плацебо и реальной стимуляции, за исключением анодной ТЭС зоны Вернике ( $p > 0,05$ ; Рис. 11).

Результаты анализа с помощью GLMM для времени реакции в группах плацебо-стимуляции, а также группах реальной ТЭС левого и правого полушария представлены в Таблице 3. Анализ по методу GLMM для времени реакции не обнаружил значительного влияния Артикуляции и Стратегии научения в группе плацебо, однако артикулированные слова, выученные эксплицитным способом, распознавались<sup>6</sup> быстрее, чем неартикулированные ( $p = 0,02$ ).

---

<sup>6</sup> Здесь и далее термин «распознавание» (и его производные) используется в качестве обобщающего для описания результатов выполнения испытуемыми двух проверочных заданий (задач на узнавание и установление семантического соответствия). Термин «узнавание» (и его производные) используется для описания результатов участников при выполнении одноименного проверочного задания (см. раздел *Проверочные задания*).

Таблица 3. Влияние взаимодействия факторов Артикуляция, Стратегии научения и Группы стимуляции на скорость лексического и семантического распознавания новых слов

Фиксированные эффекты	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	Случайные эффекты	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>	Попарные сравнения	Значимость попарных сравнений с поправкой Бонферрони
Группа плацебо-стимуляции										
Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное)	3,389	1,45	0,23				7064	7067		
Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное)	3,389	2,46	0,06	ID испытуемого × Тип порочного задания	5,23	0,01	6770	6777	Эксплицитное научение: с артикуляцией > без артикуляции	0,02

Фиксированные эффекты	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	Случайные эффекты	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>	Попарные сравнения	Значимость попарных сравнений с поправкой Бонферрони
Группы стимуляции левого полушария										
Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное) × Группа стимуляции (анодная ТЭС гомолога зоны Брока/катодная ТЭС гомолога зоны Брока/анодная ТЭС гомолога зоны Вернике/катодная ТЭС гомолога зоны Вернике)	15,1628	15,16	0,01				27832	27837	Эксплицитное научение при катодной ТЭС зоны Брока: с артикуляцией > без артикуляции	0,02

Продолжение таблицы 3

Фиксированные эффекты	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	Случайные эффекты	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>	Попарные сравнения	Значимость попарных сравнений с поправкой Бонферрони
Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эмплицитное) × Группы стимуляции (анодная ТЭС гомолога зоны Брока/катодная ТЭС гомолога зоны Вернике/катодная ТЭС гомолога зоны Вернике)	15,1628	5,09	0,01	ID испытуемого и Тип верочного задания	10,33	0,01	26692	26703	Эксплицитное научение при катодной ТЭС зоны Брока: с артикуляцией > без артикуляции	0,01
									Эксплицитное научение при анодной ТЭС зоны Вернике: с артикуляцией > без артикуляции	0,01

Продолжение таблицы 3

Фиксированные эффекты	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	Случайные эффекты	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>	Попарные сравнения	Значимость попарных сравнений с поправкой Бонферрони
Группы стимуляции правого полушария										
Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное) × Группа стимуляции (анодная ТЭС гомолога зоны Брока/катодная ТЭС гомолога зоны Верхние/катодная ТЭС гомолога зоны Вернике)	15,1588	15,16	0,05				26708	25696	Эксплицитное научение при катодной ТЭС гомолога зоны Брока: с артикуляцией > без артикуляции	0,01

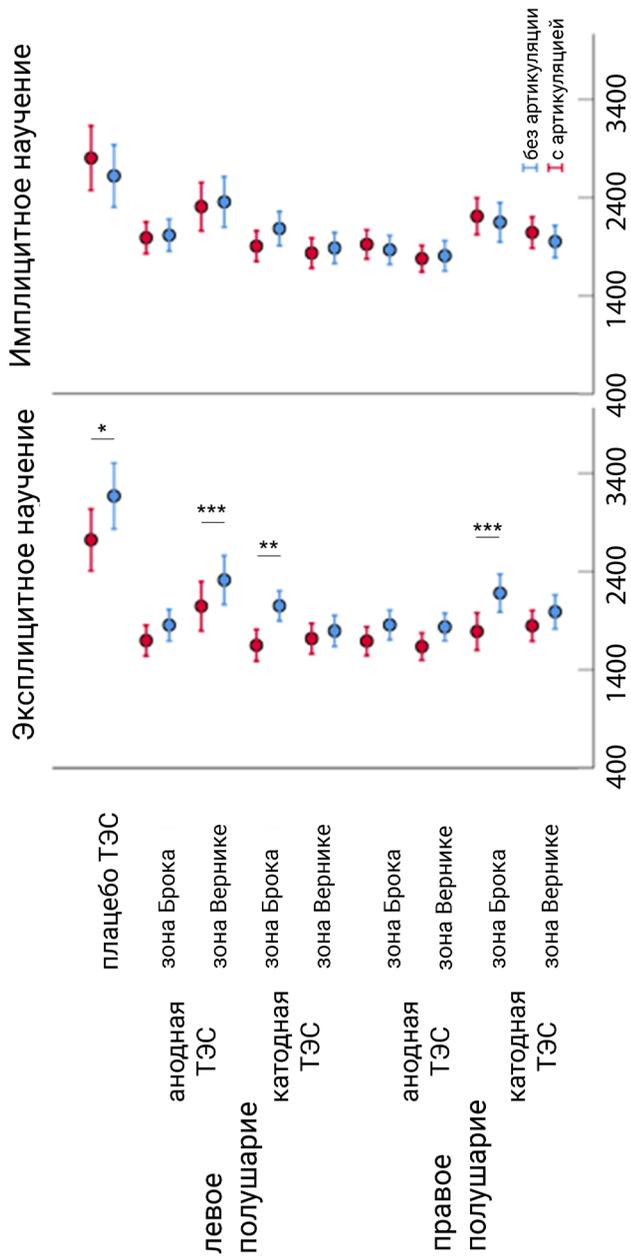
Продолжение таблицы 3

Фиксированные эффекты	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	Случайные эффекты	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>	Попарные сравнения	Значимость попарных сравнений с поправкой Бонферрони
Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное) × Группа стимуляции (анодная ТЭС гомолога зоны Брока/катодная ТЭС гомолога зоны Брока/анодная ТЭС гомолога зоны Вернике/катодная ТЭС гомолога зоны Вернике)	15,1588	3,63	0,01	ID испытуемого и Тип провочного задания	10,2	0,01	25685	25696	Эксплицитное научение при катодной ТЭС гомолога зоны Брока: с артикуляцией > без артикуляции	0,01

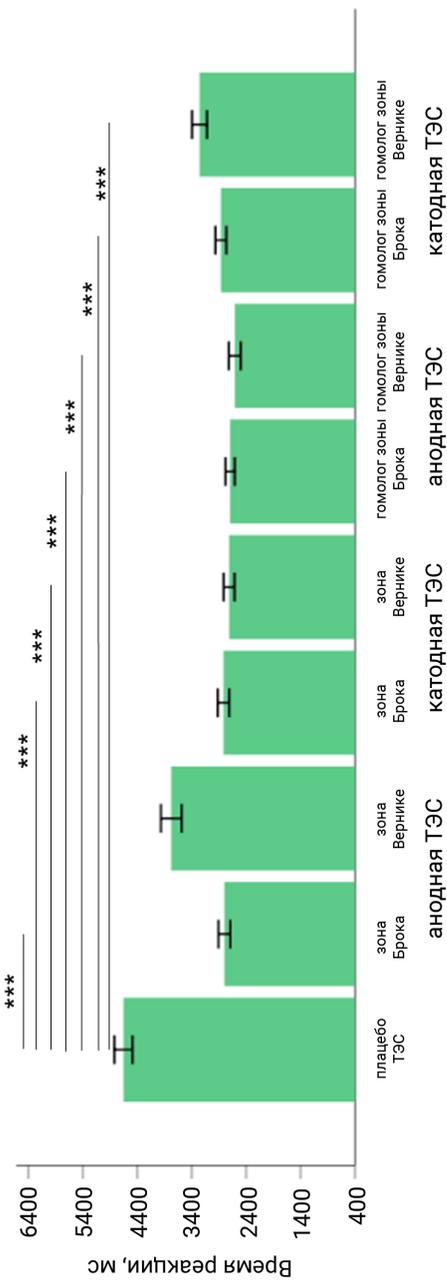
Значимым оказалось взаимодействие факторов Артикуляция, Стратегии научения и Группы стимуляции как для левого, так и для правого полушария. Время узнавания и установления семантического соответствия для эксплицитно выученных артикулируемых словоформ оказалось меньше, чем для неартикулируемых в группах анодной ТЭС зоны Вернике ( $p < 0,01$ ), катодной ТЭС зоны Брока ( $p < 0,01$ ) и катодной ТЭС правополушарного гомолога зоны Брока ( $p < 0,01$ ). На Рис. 12 показаны данные средних значений и 95% доверительный интервал для выходных данных GLMM для всех групп стимуляции в различных условиях.

В результате применения  $H$ -критерия Краскала — Уоллиса было обнаружено значимое влияние стимуляции на скорость реакции при выполнении задания на установление семантического соответствия:  $H = 95,67$ ,  $p < 0,01$ ,  $\eta^2 = 0,32$  (Рис. 13). Попарные сравнения апостериорным критерием Данна показали значимые отличия времени реакции в плацебо-группе от времени реакции в группах анодной стимуляции зоны Брока ( $p < 0,01$ ), катодной стимуляции зоны Брока ( $p < 0,01$ ), катодной стимуляции зоны Вернике ( $p < 0,01$ ), анодной стимуляции правополушарного гомолога зоны Брока ( $p < 0,01$ ), анодной стимуляции правополушарного гомолога зоны Вернике ( $p < 0,01$ ), катодной стимуляции правополушарного гомолога зоны Брока ( $p < 0,01$ ) и катодной стимуляции правополушарного гомолога зоны Вернике ( $p < 0,01$ ).

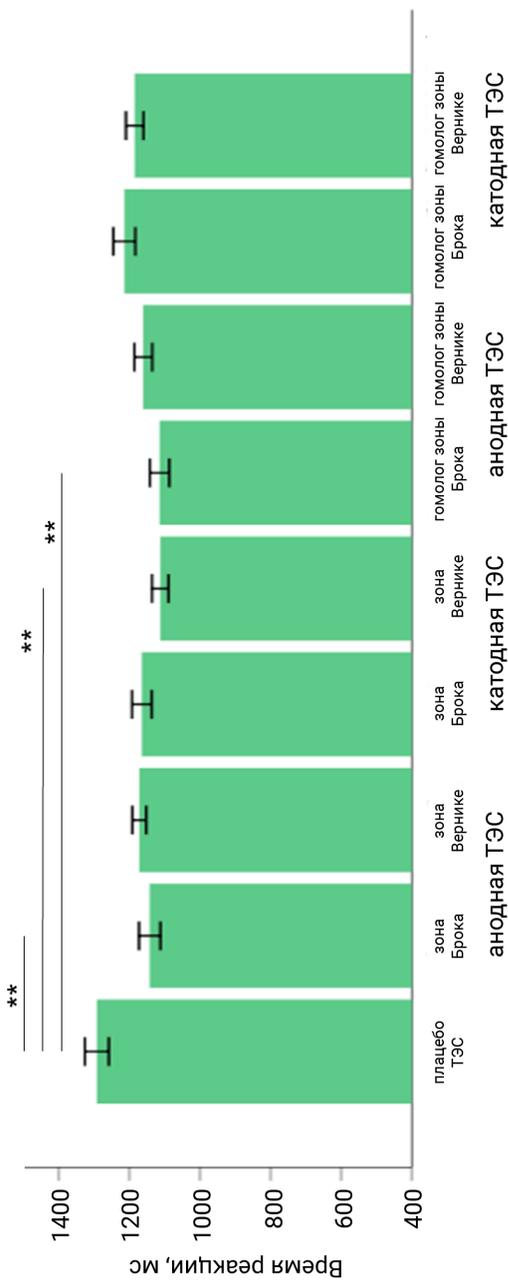
Сравнение времени реакции в задании узнавания также выявило основное влияние ТЭС на скорость узнавания новых слов ( $H = 29,08$ ,  $p < 0,01$ ,  $\eta^2 = 0,08$ ). С помощью апостериорного критерия Данна было показано, что время реакции значимо меньше после анодной ТЭС зоны Брока ( $p < 0,01$ ), анодной ТЭС правополушарного гомолога зоны Брока ( $p = 0,01$ ) и катодной ТЭС зоны Вернике ( $p = 0,01$ ) по сравнению с плацебо-группой (Рис. 14).



**Рисунок 12.** Среднее время реакции (мс) для групп реальной и плацебо-стимуляции в условиях эксплицитного и имплицитного усвоения новых слов с артикуляцией и без нее. Условные обозначения: горизонтальные линии обозначают 95% доверительные интервалы; уровень значимости различий \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ , \*\*\* $p < 0,001$



**Рисунок 13.** Влияние ТЭС на время реакции (мс) при проверке усвоения новых слов с помощью задания на установление семантического соответствия. На графике отражены время реакции и ошибка среднего. Условные обозначения: уровень значимости различий  $***p < 0,001$



**Рисунок 14.** Влияние ТЭС на время реакции (мс) при проверке усвоения новых слов с помощью задания на узнавание. На графике отражены время реакции и ошибка среднего. Условные обозначения: уровень значимости различий  $**p < 0,01$

## Результаты анализа количества ошибок

Нам не удалось обнаружить основного влияния ТЭС на количество ошибок при распознавании новых слов без учета условий усвоения, т. е. использования той или иной стратегии научения, а также наличия/отсутствия артикуляции (GLMM (без случайного эффекта) —  $F(8, 2295) = 1,71$ ,  $p = 0,09$ ;  $AIC = 3178,2$ ,  $BIC = 3229,73$ ; GLMM (со случайным эффектом) —  $F(8, 2295) = 1,73$ ,  $p = 0,09$ ; случайный эффект (тип проверочного задания) —  $Z = 0,70$ ,  $SD = 0,1$ ,  $p = 0,48$ ;  $AIC = 334,8$ ,  $BIC = 3040,5$ ). Наибольшее количество ошибок испытуемые совершали после плацебо-стимуляции ( $0,39 \pm 0,18$ ) и меньше всего — после анодной ТЭС зоны Брока ( $0,25 \pm 0,18$ ).

В Таблице 4 показаны данные анализа с помощью GLMM для количества ошибок при лексическом и семантическом распознавании новых слов в качестве зависимой переменной, оценивающего значимость взаимодействия факторов Артикуляция и Стратегии научения.

Смешанные модели обнаружили значимое взаимодействие факторов Артикуляция, Тип научения и Полярность стимуляции как для левого, так и для правого полушария: артикулируемые словоформы, выученные имплицитным способом, узнавались лучше неартикулируемых после катодной ТЭС как правого, так и левого полушария, а также артикулируемые эксплицитно выученные словоформы узнавались лучше неартикулируемых после катодной ТЭС правого полушария. В группе плацебо-стимуляции не было обнаружено значимого взаимодействия факторов Артикуляция и Стратегии научения. На Рис. 15 показано среднее количество ошибок распознавания новых слов в эксплицитном и имплицитном условиях с артикуляцией и без нее.

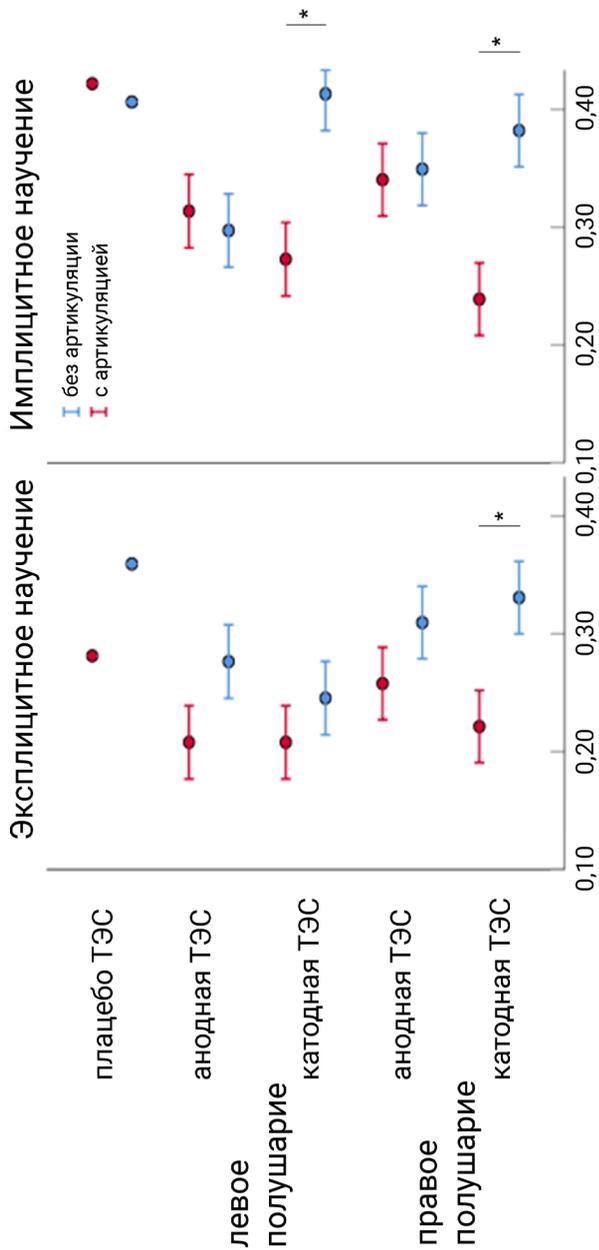
Результаты ANOVA для числа ошибок в задании на узнавание обнаружили значимое влияние стимуляции ( $F(8, 279) = 2,04$ ,  $p = 0,04$ ; Рис. 16). *Post hoc* сравнения между группами показали значимое уменьшение числа ошибок после анодной ТЭС зоны Брока в сравнении с плацебо-группой ( $p = 0,03$ ).

Таблица 4. Влияние взаимодействия факторов Артикуляция, Стратегии научения и Полярность стимуляции на количество ошибок ауддиального и визуального распознавания новых слов

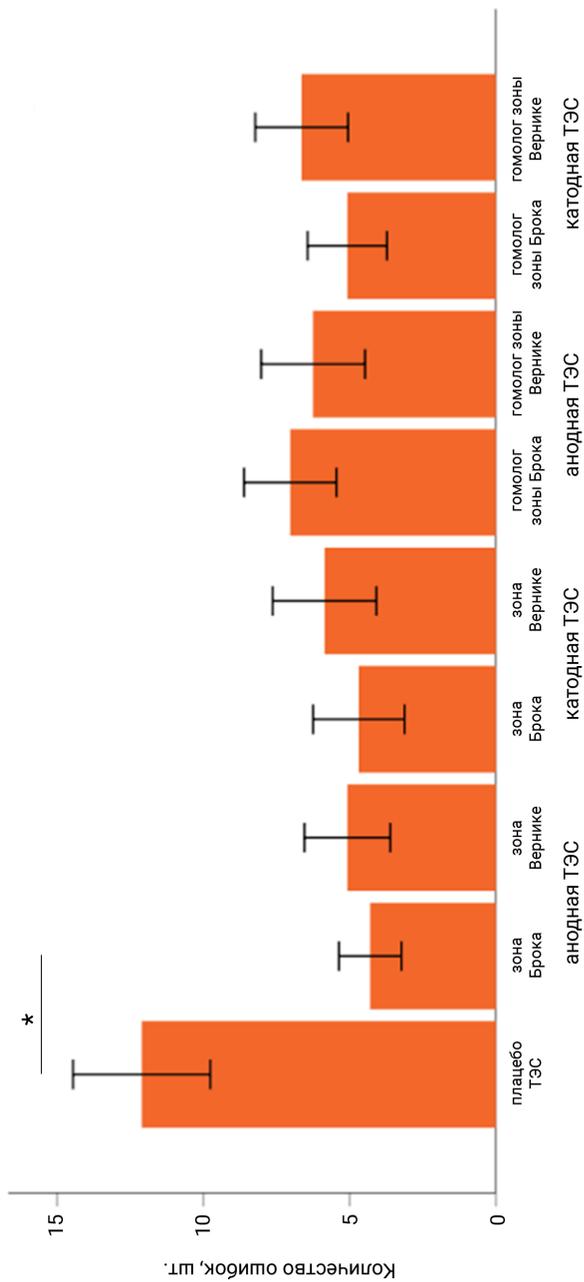
Фигурованные эффекты	df	F	p	Случайные эффекты	Z	p	AIC	BIC	Попарные сравнения	Значимость попарных сравнений с поправкой Бонферрони
Группа плацебо-стимуляции										
Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное)	3,252	0,99	0,4				392	406		
Группы стимуляции левого полушария										
Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное) × Полярность стимуляции (анодная/катодная)	7,1016	2,39	0,02				1353	1392		
Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное) × Полярность стимуляции (анодная/катодная)	7,1016	3,175	0,01	Тип про-верочного задания	0,7	0,48	1146	1151	Имплицитное научение при катодной ТЭС: с артикуляцией > без артикуляции	0,02

Продолжение таблицы 4

Фиксированные эффекты	df	F	p	Случайные эффекты	Z	p	AIC	BIC	Попарные сравнения	Значимость попарных сравнений с поправкой Бонферрони
Артикуляция (с/без) × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное) × Полярность стимуляции (анодная/катодная)	7,1016	2,17	0,04				1429	1468	Имплицитное научение при катодной ТЭС: с артикуляцией > без артикуляции	0,03
Артикуляция × Стратегии научения (имплицитное/эксплицитное) × Полярность стимуляции (анодная/катодная)	7,1016	2,55	0,01	Тип верочного задания	0,7	0,48	1341	1346	Имплицитное научение при катодной ТЭС: с артикуляцией > без артикуляции	0,05
									Эксплицитное научение при катодной ТЭС: с артикуляцией > без артикуляции	0,03



**Рисунок 15.** Среднее количество ошибок распознавания новых слов для групп реальной и плацебо-стимуляции в условиях эксплицитного и имплицитного научения с артикуляцией и без нее. Условные обозначения: горизонтальные линии обозначают 95% доверительные интервалы; уровень значимости различий  $*p < 0,05$  (при введении поправки Бонферрони)



**Рисунок 16.** Влияние ТЭС на количество ошибок в задании узнавания. На графике отражено среднее количество ошибок и ошибка среднего. Условные обозначения: уровень значимости различий \* $p < 0,05$

Мы не обнаружили значимого взаимодействия факторов Артикуляция и Стратегии научения в плацебо-группе.

В группе испытуемых, получивших ТЭС левого полушария, обнаружено статистически значимое влияние Стратегии научения ( $F(1, 126) = 7,76, p < 0,01$ ), Артикуляции ( $F(1, 126) = 6,17, p = 0,01$ ), а также значимое взаимодействие факторов Артикуляция, Стратегии научения и Полярность стимуляции ( $F(1, 126) = 3,81, p = 0,05$ ). Результаты ANOVA для числа ошибок обнаружили значимое влияние Стратегии научения ( $F(1, 63) = 8,17, p < 0,01$ ) и Артикуляции ( $F(1, 63) = 6,83, p = 0,01$ ) среди испытуемых, получивших катодную ТЭС: эксплицитно выученные слова узнавались лучше, чем выученные имплицитно, а артикулируемые слова узнавались лучше неартикулируемых.

При анализе данных, полученных в группе испытуемых, подвергавшихся стимуляции правого полушария, был выявлен только значимый эффект артикуляции ( $F(1, 126) = 8,02, p < 0,01$ ): артикулируемые слова распознавались лучше неартикулируемых.

## Обсуждение

Это исследование было направлено на системную оценку влияния ТЭС основных речевых зон левого полушария и их правополушарных гомологов на эффективность усвоения новых слов в контролируемых, но приближенных к естественным условиям ассоциативного научения, в которых псевдослова предъявлялись в сопровождении своих визуальных референтов. Усвоение слов осуществлялось на основе использования одной из двух основных стратегий научения — эксплицитной или имплицитной, — которые были максимально сбалансированы между собой с точки зрения своих визуальных и аудиальных характеристик, а также общего экспериментального дизайна. Кроме того, в нашей работе учитывался фактор артикуляции: в 50% случаев для каждой стратегии научения испытуемые проговаривали изучаемые слова. Два основных речевых центра, зоны Брока и Вернике, а также их правополушарные гомологи подвергались ано-

дной и катодной ТЭС, для сравнения использовалась группа плацебо-стимуляции.

Результаты исследования показали положительное влияние анодной и катодной ТЭС на усвоение новых слов. В отношении времени реакции стимуляция как левого, так и правого полушария уменьшала время лексического и семантического распознавания новых слов в сравнении с плацебо-воздействием. В отношении количества ошибок только в задании на узнавание было обнаружено общее влияние ТЭС, при этом значимые различия были обнаружены между группой плацебо и группой анодной стимуляции зоны Брока. В данном случае не было обнаружено какого-либо ингибирующего влияния катодной ТЭС. В целом результаты согласуются с результатами ряда предыдущих исследований, показавших положительное влияние ТЭС основных речевых зон мозга на процессы научения, а именно влияние анодной ТЭС зоны Вернике на имплицитное (Flöel et al., 2008) и эксплицитное (Meinzer et al., 2014) усвоение новых слов, а также улучшение семантической обработки как после анодной, так и после катодной ТЭС (Brückner, Kammer, 2017).

Мы обнаружили значимое взаимодействие факторов Артикуляция, Стратегии научения и Группа стимуляции в результате ТЭС как левого, так и правого полушария. Парные сравнения выявили значимые различия между артикулируемыми и неартикулируемыми эксплицитно выученными словами в большинстве сравниваемых групп (анодной ТЭС зоны Вернике, катодной ТЭС зоны Брока и катодной ТЭС правополушарного гомолога зоны Брока). Аналогичный паттерн более быстрого узнавания артикулируемых эксплицитно выученных слов в сравнении с неартикулируемыми наблюдался в группе плацебо. При этом для имплицитного условия мы не обнаружили значимых различий в скорости распознавания артикулируемых и неартикулируемых слов ни в одной из групп реальной или плацебо-стимуляции.

В отношении количества ошибок нами было показано значимое взаимодействие факторов Артикуляция, Стратегии научения и Полярность стимуляции при распознавании

слов на лексическом и семантическом уровнях. Отдельно отметим, что полученный эффект наблюдался при стимуляции как левого, так и правого полушария. Значимо меньшее количество ошибок наблюдалось в артикулируемых словах, выученных имплицитно, в сравнении с неартикулируемыми в группах катодной ТЭС как левого, так и правого полушария. Аналогичные результаты получены и для эксплицитно выученных слов после катодной ТЭС правого полушария.

Наши данные еще раз подтверждают различную природу эксплицитного и имплицитного научения. В частности, обращает на себя внимание тот факт, что на количественном уровне в группе плацебо-стимуляции артикулируемые новые слова, выученные эксплицитным способом, узнаются более правильно и быстро в сравнении с неартикулируемыми. В отношении слов, выученных имплицитно, напротив, неартикулируемые слова узнаются более правильно и быстро. Нам не удалось обнаружить значимого взаимодействия факторов Артикуляция и Стратегии научения в плацебо-группе, и это обстоятельство может стать отправной точкой для дальнейших исследований.

Наиболее неожиданными выглядят результаты анализа количества ошибок, согласно которым катодная ТЭС способствует имплицитному усвоению артикулируемых слов в сравнении с неартикулируемыми. Вероятно, полученный результат может объясняться характером когнитивного процесса, лежащего в основе установления связи между словом и соответствующим ему визуальным образом и составляющего основу имплицитного научения. В ситуации дедуктивного вывода из контекста ассоциация между словом и соответствующим ему визуальным образом находится в статусе «гипотезы», которая затем может получить подтверждение и закрепиться в памяти или же быть опровергнута и забыта (Medina et al., 2011; Trueswell et al., 2013; Merhav et al., 2014). Впервые такое предположение об особом статусе ассоциаций, возникающих в ходе имплицитного научения, появилось при исследованиях, проведенных на детских выборках. В работах Дж. Медины (Medina et al., 2011) и Дж. Трусвелла (Trueswell et al., 2013) с коллегами

обсуждается, что статус «гипотезы» обеспечивает легкое стирание информации, что позволяет ребенку избегать фундаментальных ошибок в процессе научения. При этом в случае подтверждения «гипотезы», приобретенной с помощью имплицитного научения, ассоциации сохраняются в течение длительного времени, причем даже после однократного предъявления целевого стимула (Carey, Bartlett, 1978). Данная идея нашла косвенное подтверждение в экспериментальных исследованиях, проведенных на выборках взрослых людей. Так, М. Мерхав и ее коллеги предъявляли для эксплицитного и имплицитного усвоения пару, состоящую из слова и соответствующего ему визуального образа. Спустя несколько минут или 22 часа после этого они предлагали испытуемым усвоить новую (конкурирующую) пару, состоящую из того же самого визуального образа и нового слова, используя ту же стратегию научения, что и в первый раз. Оказалось, что здоровые испытуемые после имплицитного усвоения слов могли справляться с интерференцией, порождаемой конкурирующей ассоциацией, если она возникала непосредственно после научения, но испытывали сильные сложности в том случае, если интерференция происходила с 22-часовой задержкой (Merhav et al., 2014). Л. Химмер с коллегами обнаружила, что после научения с помощью имплицитной стратегии забывается сравнительно меньше информации, чем после научения, произошедшего эксплицитным способом (Himmer et al., 2017). В этой же работе было показано, что имплицитное научение приводит к лучшему усвоению информации в вечернее время, тогда как эксплицитное научение способствует лучшему усвоению по утрам (Там же). Эти данные говорят о том, что имплицитное научение оказывается мало восприимчиво к помехам, если они сопутствуют научению (как, например, пониженный уровень внимания в вечернее время суток) или возникают непосредственно после него (например, интерференция значений слов) за счет формирования небольшого числа ассоциативных гипотез между словом и значением. Вероятно, катодная стимуляция, оказывающая ингибирующее воздействие на ряд когнитивных функций, может снижать количество ассоциативных гипотез и влиять на способность к их стира-

нию, что оказывает положительное влияние на имплицитное научение в задании лексико-семантического распознавания новых слов при выполнении дополнительной моторной задачи — артикулирования.

Появление различий между артикулируемыми и неартикулируемыми словами, выученными эксплицитно, после катодной ТЭС правого полушария, по всей видимости, имеет другую природу, чем аналогичный эффект, проявляющийся при использовании имплицитной стратегии. Поскольку тенденция к лучшему усвоению артикулируемых эксплицитно выученных слов в сравнении с неартикулируемыми проявляется уже в группе плацебо, можно заметить, что катодная ТЭС правого полушария лишь усиливает ее.

### **Заключение**

По результатам проведенного исследования могут быть сделаны следующие выводы:

- 1) в результате ТЭС речевых зон, Брока и Вернике, а также их гомологов в правом полушарии ускоряется как лексическое, так и семантическое распознавание новых слов в сравнении с плацебо-стимуляцией;
- 2) при использовании эксплицитной стратегии научения наблюдаются преимущества артикулируемых слов над неартикулируемыми в скорости и правильности их распознавания. Это общий паттерн «превосходства артикуляции», который проявляется также в группе плацебо и который, по всей видимости, неспецифически усиливается в результате ТЭС;
- 3) при имплицитном научении обнаружено как неспецифическое ускорение распознавания после стимуляции (и катодной, и анодной) по сравнению с плацебо-воздействием, так и специфическое снижение количества ошибок в отношении слов, выученных с использованием артикуляции, после катодной ТЭС. Поскольку последний результат не является повторением паттерна, характерного для плацебо-стимуляции, можно прийти к выводу, что он специфичен для катодной ТЭС.

## Список литературы

1. Adenzato M., Manenti R., Gobbi E., Enrici I., Rusich D., Cotelli M. Aging, sex and cognitive Theory of Mind: A transcranial direct current stimulation study // *Scientific Reports*. — 2019. — V. 9(1). — 18064.
2. Baker J.M., Rorden C., Fridriksson J. Using transcranial direct-current stimulation to treat stroke patients with aphasia // *Stroke*. — 2010. — V. 41(6). — P. 1229–1236.
3. Barr D.J., Levy R., Scheepers C., Tily H.J. Random effects structure for confirmatory hypothesis testing: Keep it maximal // *Journal of Memory and Language*. — 2013. — V. 68(3). — P. 255–278.
4. Batsikadze G., Moliadze V., Paulus W., Kuo M.F., Nitsche M.A. Partially non-linear stimulation intensity-dependent effects of direct current stimulation on motor cortex excitability in humans // *The Journal of Physiology*. — 2013. — V. 591(7). — P. 1987–2000.
5. Brückner S., Kammer T. Both anodal and cathodal transcranial direct current stimulation improves semantic processing // *Neuroscience*. — 2017. — V. 343. — P. 269–275.
6. Carey S., Bartlett E. Acquiring a single new word // *Papers and Reports on Child Language Development*. — 1978. — V. 15. — P. 17–29.
7. Cattaneo Z., Pisoni A., Papagno C. Transcranial direct current stimulation over Broca's region improves phonemic and semantic fluency in healthy individuals // *Neuroscience*. — 2011. — V. 183. — P. 64–70.
8. Cocquyt E.M., De Ley L., Santens P., Van Borsel J., De Letter M. The role of the right hemisphere in the recovery of stroke-related aphasia: A systematic review // *Journal of Neurolinguistics*. — 2017. — V. 44. — P. 68–90.
9. de Aguiar V., Paolazzi C.L., Miceli G. tDCS in post-stroke aphasia: The role of stimulation parameters, behavioral treatment and patient characteristics // *Cortex*. — 2015. — V. 63. — P. 296–316.
10. Dedoncker J., Brunoni A.R., Baeken C., Vanderhasselt M.A. A systematic review and meta-analysis of the effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) over the dorsolateral prefrontal cortex in healthy and neuropsychiatric samples: Influence of stimulation parameters // *Brain Stimulation*. — 2016. — V. 9(4). — P. 501–517.
11. Dollaghan C. Child meets word “fast mapping” in preschool children // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. — 1985. — V. 28(3). — P. 449–454.

12. Elmer S., Burkard M., Renz B., Meyer M., Jancke L. Direct current induced short-term modulation of the left dorsolateral prefrontal cortex while learning auditory presented nouns // Behavioral and Brain Functions. — 2009. — V. 5. — 29.
13. Fertoni A., Rosini S., Cotelli M., Rossini P.M., Miniussi C. Naming facilitation induced by transcranial direct current stimulation // Behavioural Brain Research. — 2010. — V. 208(2). — P. 311–318.
14. Fiori V., Coccia M., Marinelli C.V., Vecchi V., Bonifazi S., Ceravolo M.G., Provinciali L., Tomaiuolo F., Marangolo P. Transcranial direct current stimulation improves word retrieval in healthy and nonfluent aphasic subjects // Journal of Cognitive Neuroscience. — 2011. — V. 23(9). — P. 2309–2323.
15. Fiori V., Cipollari S., Caltagirone C., Marangolo P. “If two witches would watch two watches, which witch would watch which watch?” tDCS over the left frontal region modulates tongue twister repetition in healthy subjects // Neuroscience. — 2014. — V. 256. — P. 195–200.
16. Fiori V., Nitsche M., Iasevoli L., Cucuzza G., Caltagirone C., Marangolo P. Differential effects of bihemispheric and unihemispheric transcranial direct current stimulation in young and elderly adults in verbal learning // Behavioural Brain Research. — 2017. — V. 321. — P. 170–175.
17. Fiori V., Kunz L., Kuhnke P., Marangolo P., Hartwigsen G. Transcranial direct current stimulation (tDCS) facilitates verb learning by altering effective connectivity in the healthy brain // NeuroImage. — 2018. — V. 181. — P. 550–559.
18. Flöel A. tDCS-enhanced motor and cognitive function in neurological diseases // NeuroImage. — 2014. — V. 85(Pt. 3). — P. 934–947.
19. Flöel A., Meinzer M., Kirstein R., Nijhof S., Deppe M., Knecht S., Breitenstein C. Short-term anomia training and electrical brain stimulation // Stroke. — 2011. — V. 42(7). — P. 2065–2067.
20. Flöel A., Rösler N., Michka O., Knecht S., Breitenstein C. Noninvasive brain stimulation improves language learning // Journal of Cognitive Neuroscience. — 2008. — V. 20(8). — P. 1415–1422.
21. Fridriksson J., Richardson J.D., Baker J.M., Rorden C. Transcranial direct current stimulation improves naming reaction time in fluent aphasia: A double-blind, sham-controlled study // Stroke. — 2011. — V. 42(3). — P. 819–821.
22. Garnett E.O., Malyutina S., Datta A., den Ouden D.B. On the use of the terms anodal and cathodal in high-definition transcranial direct current stimulation: A technical note // Neuromodulation:

- Technology at the Neural Interface. — 2015. — V. 18(8). — P. 705–713.
23. Henseler I., Mädebach A., Kotz S. A., Jescheniak J. D. Modulating brain mechanisms resolving lexico-semantic interference during word production: A transcranial direct current stimulation study // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2014. — V. 26(7). — P. 1403–1417.
  24. Himmer L., Müller E., Gais S., Schönauer M. Sleep-mediated memory consolidation depends on the level of integration at encoding // *Neurobiology of Learning and Memory*. — 2017. — V. 137. — P. 101–106.
  25. Holland R., Leff A. P., Josephs O., Galea J. M., Desikan M., Price C. J., Rothwell J. C., Crinion J. Speech facilitation by left inferior frontal cortex stimulation // *Current Biology*. — 2011. — V. 21(16). — P. 1403–1407.
  26. Horvath J. C., Forte J. D., Carter O. Evidence that transcranial direct current stimulation (tDCS) generates little-to-no reliable neurophysiologic effect beyond MEP amplitude modulation in healthy human subjects: A systematic review // *Neuropsychologia*. — 2015. — V. 66. — P. 213–236.
  27. Imburgio M. J., Orr J. M. Effects of prefrontal tDCS on executive function: Methodological considerations revealed by meta-analysis // *Neuropsychologia*. — 2018. — V. 117. — P. 156–166.
  28. Jacobson L., Koslowsky M., Lavidor M. tDCS polarity effects in motor and cognitive domains: A meta-analytical review // *Experimental Brain Research*. — 2012. — V. 216(1). — P. 1–10.
  29. Kang H. J., Kawasawa Y. I., Cheng F., Zhu Y., Xu X., Li M., Sousa A. M. M., Pletikos M., Meyer K. A., Sedmak G., Guennel T., Shin Y., Johnson M. B., Krsnik Z., Mayer S., Fertuzinhos S., Umlauf S., Lisgo S. N., Vortmeyer A., Weinberger D. R., Mane S., Hyde T. M., Huttner A., Reimers M., Kleinman J. E., Šestan N. Spatio-temporal transcriptome of the human brain // *Nature*. — 2011. — V. 478(7370). — P. 483–489.
  30. Lee S. Y., Cheon H. J., Yoon K. J., Chang W. H., Kim Y. H. Effects of dual transcranial direct current stimulation for aphasia in chronic stroke patients // *Annals of Rehabilitation Medicine*. — 2013. — V. 37(5). — P. 603–610.
  31. Lum J. A. G., Mills A., Plumridge J. M. A., Sloan N. P., Clark G. M., Hedenius M., Enticott P. G. Transcranial direct current stimulation enhances retention of a second (but not first) order conditional visuo-motor sequence // *Brain and Cognition*. — 2018. — V. 127. — P. 34–41.
  32. Malyutina S., den Ouden D. B. High-definition tDCS of noun and verb retrieval in naming and lexical decision // *NeuroRegulation*. — 2015. — V. 2(3). — P. 111–125.

33. Malyutina S., Zelenkova V., Buiivolova O., Oosterhuis E.J., Zmanovsky N., Feurra M. Modulating the interhemispheric balance in healthy participants with transcranial direct current stimulation: No significant effects on word or sentence processing // *Brain and Language*. — 2018. — V. 186. — P. 60–66.
34. Marangolo P., Fiori V., Calpagnano M. A., Campana S., Razzano C., Caltagirone C., Marini A. tDCS over the left inferior frontal cortex improves speech production in aphasia // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2013. — V. 7. — 539.
35. Marangolo P., Fiori V., Campana S., Calpagnano M. A., Razzano C., Caltagirone C., Marini A. Something to talk about: Enhancement of linguistic cohesion through tDCS in chronic non fluent aphasia // *Neuropsychologia*. — 2014. — V. 53. — P. 246–256.
36. Marangolo P., Fiori V., Sabatini U., De Pasquale G., Razzano C., Caltagirone C., Gili T. Bilateral transcranial direct current stimulation language treatment enhances functional connectivity in the left hemisphere: Preliminary data from aphasia // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2016. — V. 28(5). — P. 724–738.
37. Medina T.N., Snedeker J., Trueswell J.C., Gleitman L.R. How words can and cannot be learned by observation // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2011. — V. 108(22). — P. 9014–9019.
38. Meinzer M., Lindenberg R., Antonenko D., Flaisch T., Flöel A. Anodal transcranial direct current stimulation temporarily reverses age-associated cognitive decline and functional brain activity changes // *Journal of Neuroscience*. — 2013. — V. 33(30). — P. 12470–12478.
39. Meinzer M., Jähnigen S., Copland D.A., Darkow R., Grittner U., Avirame K., Rodriguez A.D., Lindenberg R., Flöel A. Transcranial direct current stimulation over multiple days improves learning and maintenance of a novel vocabulary // *Cortex*. — 2014. — V. 50. — P. 137–147.
40. Meinzer M., Yetim Ö., McMahon K., de Zubicaray G. Brain mechanisms of semantic interference in spoken word production: An anodal transcranial Direct Current Stimulation (atDCS) study // *Brain and Language*. — 2016. — V. 157–158. — P. 72–80.
41. Merhav M., Karni A., Gilboa A. Neocortical catastrophic interference in healthy and amnesic adults: A paradoxical matter of time // *Hippocampus*. — 2014. — V. 24(12). — P. 1653–1662.
42. Oldfield R.C. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory // *Neuropsychologia*. — 1971. — V. 9(1). — P. 97–113.
43. Owusu B.A. K., Burianová H. Transcranial direct current stimulation improves novel word recall in healthy adults // *Journal of Neurolinguistics*. — 2020. — V. 53. — 100862.

44. Pisoni A., Vernice M., Iasevoli L., Cattaneo Z., Papagno C. Guess who? Investigating the proper name processing network by means of tDCS // *Neuropsychologia*. — 2015. — V. 66. — P. 267–278.
45. Pisoni A., Cerciello M., Cattaneo Z., Papagno C. Phonological facilitation in picture naming: When and where? A tDCS study // *Neuroscience*. — 2017. — V. 352. — P. 106–121.
46. Pisoni A., Mattavelli G., Papagno C., Rosanova M., Casali A.G., Romero Lauro L.J. Cognitive enhancement induced by anodal tDCS drives circuit-specific cortical plasticity // *Cerebral Cortex*. — 2018. — V. 28(4). — P. 1132–1140.
47. Rawji V., Ciocca M., Zacharia A., Soares D., Truong D., Bikson M., Rothwell J., Bestmann S. tDCS changes in motor excitability are specific to orientation of current flow // *Brain Stimulation*. — 2018. — V. 11(2). — P. 289–298.
48. Rosso C., Perlbarg V., Valabregue R., Arbizu C., Ferrieux S., Alshawan B., Vargas P., Leger A., Zavanone C., Corvol J.C., Meunier S., Lehericy S., Samson Y. Broca's area damage is necessary but not sufficient to induce after-effects of cathodal tDCS on the unaffected hemisphere in post-stroke aphasia // *Brain Stimulation*. — 2014. — V. 7(5). — P. 627–635.
49. Saidmanesh M., Pouretamad H. R., Amini A., Nilipor R., Ekhtiari H. Effects of transcranial direct current stimulation (2mA-20min) in patients with non-fluent aphasia disorder // *Canadian Journal on Computing in Mathematics, Natural Sciences, Engineering and Medicine*. — 2012. — V. 3(5). — P. 133–144.
50. Shtyrov Y., Filippova M., Blagovechtchenski E., Kirsanov A., Nikiforova E., Shcherbakova O. Electrophysiological evidence of dissociation between explicit encoding and fast mapping of novel spoken words // *Frontiers in Psychology*. — 2021. — V. 12. — P. 571–673.
51. Shtyrov Y., Kirsanov A., Shcherbakova O. Explicitly slow, implicitly fast, or the other way around? Brain mechanisms for word acquisition // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2019. — V. 13. — P. 116.
52. Smith E.E., Jonides J. Working memory: A view from neuroimaging // *Cognitive Psychology*. — 1997. — V. 33(1). — P. 5–42.
53. Sparing R., Dafotakis M., Meister I.G., Thirugnanasambandam N., Fink G.R. Enhancing language performance with non-invasive brain stimulation — A transcranial direct current stimulation study in healthy humans // *Neuropsychologia*. — 2008. — V. 46(1). — P. 261–268.
54. Thiele J., Markussen B. Potential of GLMM in modelling invasive spread // *CAB Reviews*. — 2012. — V. 7(016). — P. 1–10.

55. Trueswell J.C., Medina T.N., Hafri A., Gleitman L.R. Propose but verify: Fast mapping meets cross-situational word learning // *Cognitive Psychology*. — 2013. — V. 66(1). — P. 126–156.
56. Westwood S.J., Romani C. Transcranial direct current stimulation (tDCS) modulation of picture naming and word reading: A meta-analysis of single session tDCS applied to healthy participants // *Neuropsychologia*. — 2017. — V. 104. — P. 234–249.
57. You D.S., Kim D.Y., Chun M.H., Jung S.E., Park S.J. Cathodal transcranial direct current stimulation of the right Wernicke's area improves comprehension in subacute stroke patients // *Brain and Language*. — 2011. — V. 119(1). — P. 1–5.
58. Zhao H., Qiao L., Fan D., Zhang S., Turel O., Li Y., Li J., Xue G., Chen A., He Q. Modulation of brain activity with noninvasive transcranial direct current stimulation (tDCS): Clinical applications and safety concerns // *Frontiers in Psychology*. — 2017. — V. 8. — 685.

## Глава 3

### Сверхбыстрое усвоение новой лексики: нейрофизиологические корреляты механизма “fast mapping” у детей и взрослых

---

#### Введение

Настоящая глава посвящена одному из давних вопросов в области нейробиологии языка и речи: как развивающийся человеческий мозг конструирует значение нового слова? Этот вопрос по-прежнему представляет собой серьезную проблему для современной нейронауки. Его решение является нетривиальной исследовательской задачей, поскольку в данном случае необходимо вести поиск взаимосвязей между многоуровневыми процессами восприятия и действия, мышления, памяти, которые составляют основу овладения языком на ранних этапах онтогенеза и отражаются как в сверхбыстрых электрических реакциях корковых сетей (на уровне отдельных нейронных ансамблей), так и в более медленных и градуальных поведенческих ответах (на уровне целого организма).

Недавние нейровизуализационные исследования показывают, что мозговая организация речевой функции на ранних

---

Ссылка для цитирования: *Васильева М. Ю., Князева В. М., Александров А. А., Штыров Ю. Ю.* Сверхбыстрое усвоение новой лексики: нейрофизиологические корреляты механизма “fast mapping” у детей и взрослых // От слова — к репрезентации. Нейрокогнитивные основы вербального научения / Под ред. О. В. Щербаковой. — СПб: Скифия-принт, 2022. — С. 144–211.

этапах онтогенетического развития во многом схожа с мозговой организацией речи у взрослых. В частности, целый ряд работ (Friederici, 2006; Mestres-Missé et al., 2007; Borovsky et al., 2010a; Partanen et al., 2017; Abel et al., 2020) указывает на наиболее поразительное и важное свойство, которое «предустановлено» в мозге ребенка и взрослого: способность к сверхбыстрому усвоению новых слов. Более того, результаты этих работ свидетельствуют о том, что мозговые механизмы, управляющие человеческой способностью быстро усваивать новые слова, имеют долгую эволюционную историю, а именно — единые корни с общими нейробиологическими механизмами научения и памяти у животных. В частности, работы, проведенные на таких систематически удаленных группах как птицы, грызуны, хищные и приматы, доказывают, что быстрое формирование ассоциаций в задаче научения и последующее сохранение их в памяти, по всей видимости, является наиболее филогенетически древней и широко распространенной способностью. Предполагается также, что этот древний механизм быстрого ассоциативного научения и запоминания может быть эволюционным предшественником и основой человеческой способности к сверхбыстрому усвоению новых слов и увеличению лексикона в процессе онтогенеза и эволюции (Kaminski et al., 2004; Armstrong et al., 2006; Fagot, Cook, 2006; Cook, Fagot, 2009).

Таким образом, данная глава посвящена критическому анализу уже существующих и изложению наших собственных попыток изучения и осмысления этой древнейшей фундаментальной способности человеческого мозга — сверхбыстрого усвоения новых слов посредством особого механизма ассоциативного научения, известного в научной литературе как “fast mapping”.

***Механизм “fast mapping”:  
основные характеристики, история открытия,  
поведенческие исследования на детских выборках***

В настоящее время большое количество исследований свидетельствует о том, что быстрое усвоение больших объемов новой лексики может быть опосредовано особым

нейрокогнитивным механизмом, обозначаемым как “fast mapping” (далее — FM), т. е. быстрое отображение. Этот механизм рассматривается в качестве критически важного звена в процессах усвоения родного языка в раннем возрасте, также играющего большую роль в овладении профессиональной лексикой и вторым языком у взрослых. Показано, что данный механизм активируется в ежедневных условиях естественной коммуникативной среды, требующих сверхбыстрого конструирования и запоминания значения новых слов. Это предполагает, что в случае задействования механизма FM значение незнакомого слова выводится из знакомого семантического контекста при помощи метода исключения и операции логического вывода, что приводит к быстрому формированию новой ассоциативной пары «новое слово — новый объект» с последующим сохранением ее в памяти и предполагаемым дальнейшим использованием.

Таким образом, процесс научения, опосредованный механизмом FM, имеет следующие отличительные характеристики: а) образование ассоциаций (в данном случае — «слово — объект») происходит в результате активного поиска и с использованием метода исключения (by exclusion); б) новые ассоциации создаются в рамках прагматической коммуникативной ситуации и существующего семантического контекста (semantic context); в) значение нового слова выводится из знакомого семантического контекста через операцию логического вывода, посредством т. н. дизъюнктивного силлогизма (disjunctive syllogism) (Halberda, 2006), т. е. в данном случае происходит активное исключение знакомых объектов как возможных референтов, а не простое связывание нового слова с каким-либо новым стимулом (mapping novelty-to-novelty).

В этой связи важно уточнить, что силлогизм представляет собой форму дедуктивного рассуждения, при которой определенный вывод делается на основе сопоставления двух других утверждений. Суть дизъюнктивного силлогизма можно сформулировать следующим образом: «А или В; если не А, следовательно В». В научной литературе термин «дизъюнктивный силлогизм» часто используется как синоним термина «умозаключение посредством исключения» или «логическое рассуждение путем исключения» (inferential reasoning by exclusion).

В качестве примера использования дизъюнктивного силлогизма в процессе логического рассуждения можно привести популярный «тест с чашками» (Call, 2004), различные модификации которого широко используются для изучения формирования логического мышления у детей, начиная с возраста двух-трех лет. В данном тесте экспериментатор прячет вознаграждение в одной из двух чашек. Затем участники получают подтверждение того, что одна из чашек пуста: видят ее или слышат, что в ней ничего нет. Предполагается, что если дети рассуждают логически, путем исключения, то в этом случае для поиска вознаграждения они обязательно должны использовать информацию о том, где оно не должно находиться, т. е. исключить пустую чашку и выбрать вместо нее другую — с вознаграждением. Результаты подобных экспериментов показывают, что дети успешны в решении таких задач и активно используют данную форму дедуктивного рассуждения (Hill et al., 2012; Mody, Carey, 2016).

Продолжая описание отличительных особенностей ассоциативного научения посредством механизма FM, важно подчеркнуть, что в ряде исследований было показано, что в случае активации этого механизма быстрое формирование репрезентации нового слова может происходить даже в случае однократного предъявления новой языковой единицы (Carey, Bartlett, 1978; Markson, Bloom, 1997; Halberda, 2006; Spiegel, Halberda, 2011; Vasilyeva et al., 2019a, 2019b). При этом результаты свидетельствуют о том, что при усвоении новых словоформ семантические признаки референта способствуют быстрому формированию устойчивых нейрональных репрезентаций. Кроме того, данные ряда нейровизуализационных исследований указывают на то, что при задействовании механизма FM формирование репрезентаций новых словоформ идет не по классическому двухэтапному пути (гиппокампажное кодирование и последующая кортикальная консолидация), а осуществляется одноэтапно, с минимальным участием гиппокампа, что приводит к сверхбыстрому формированию следов памяти непосредственно в неокортексе (более подробно об этом см. в *Главе 1*, а также в работах: Sharon et al., 2011; Atir-Sharon et al., 2015).

Механизм FM был впервые описан в 1978-м году в исследовании С. Кэри и Э. Бартлетт (Carey, Bartlett, 1978), известном

в литературе как “chromium study”. Созданная авторами экспериментальная парадигма позволяла изучать процесс усвоения детьми новой лексики в естественной среде, т. е. в ситуациях, которые наиболее приближены к ежедневной жизни и происходят в привычных для детей условиях. По условиям эксперимента, ребенок не должен был даже догадываться о том, что от него требуется запомнить что-то новое. Авторы описали FM как когнитивный механизм, посредством которого в условиях экспериментально созданной неопределенности дети по принципу исключения (principle of mutual exclusivity) делают вывод о значении новых слов, который способствует поддержанию мнемического следа только что образованных ассоциаций даже после однократного предъявления новых словоформ. При этом авторы отмечали, что для успешного «отображения» (fast mapping) ребенок должен обладать способностью осуществлять т. н. выбор референта (referent selection) и удержание референта (referent retention), соответствующего новому слову, — иными словами, ему необходимо удерживать репрезентацию того или иного объекта в памяти и извлекать ее оттуда спустя некоторое время, опираясь на его семантические признаки (Там же).

В своем первом пилотажном эксперименте С. Кэри и Э. Барллетт предъявляли трех-четырёхлетним детям два подноса, один из которых был красного цвета, а другой — оливково-зеленого, который в английском языке обозначается словом “chromium”. Далее детей просили: «Принеси хромий поднос — не красный, а хромий». Таким образом, путем противопоставления двух слов — «хромий» и «красный» — обозначалось, что и знакомое, и новое слово относятся к лексической категории «цвет». Получив такую инструкцию, дети приносили оливково-зеленый поднос, правильно заключив, что слово «хромий» обозначает ранее не известный для них цвет. Все участники (14 детей) справились с задачей научения. Через некоторое время (от одной недели до четырех месяцев) оценивали успешность усвоения нового слова: детям показывали карточки с различными цветами и просили дать им название; также детей просили дать объяснение словам, которые называл экспериментатор, в т. ч. слову «хромий». В результате часть детей не смогли узнать цвет «хромий»: они показывали на карточку зеленого или коричневого цвета; при этом неболь-

шая часть детей все же смогла узнать оливково-зеленый цвет, но не могла вспомнить его название («хромиум»).

Процедура второй серии экспериментов была расширена и несколько видоизменена: для лучшего контроля усвоения нового слова были добавлены подносы фиолетового (близкого к красному) и бордового цвета (не входящего в семерку основных цветов спектра); дополнительно перед исследованием проводили оценку «цветового словаря» ребенка. В выборку вошли 19 детей в возрасте около трех лет, посещавших подготовительные классы школы. Дети были разделены на группы по полу, возрасту и количеству цветов, которые они могли назвать (например, девять и более цветов; четыре и менее и т. п.). Первый этап состоял из нескольких действий: оценки базового знания названий цветов; первичного предъявления слова «хромиум» (процедура была идентична первому, пилотажному, исследованию); обучающей сессии. Временные промежутки между сессиями составляли семь-десять дней. Второй этап проводился спустя 10 недель и включал в себя двукратное повторное предъявление нового слова, производившееся с промежутком в два дня, и оценку результата. Результаты обучающей сессии первого этапа показали, что половина детей усвоили новое слово, сделав правильный выбор в ситуации, отличающейся от условий научения, что, по мнению авторов, подтверждало существование «быстрого отображения». При дальнейшем тестировании ответы детей были разделены на три типа. Так, наиболее редко встречающимся ответом было объединение понятий «зеленый» и «хромиум» — в этом случае при демонстрации как основного зеленого цвета, так и его оливкового оттенка дети давали ответ «хромиум». Большая часть участников восприняли новое слово «хромиум» как синоним слова «ахроматичный». Наконец, третий тип ответов заключался в том, что ребенок верно определял оливково-зеленый цвет, но не мог вспомнить его название, забывая само слово «хромиум». Однако по окончании второго этапа экспериментов дети показали более обнадеживающие результаты. Так, спустя одну неделю более половины детей правильно выбирали поднос цвета «хромиум» среди шести подносов других цветов, показывая успешное удержание в памяти репрезентации только что выученного слова.

Полученные результаты позволили авторам заключить, что процесс усвоения новой лексической единицы включает в себя две стадии. Первая, которая имеет место в момент самого распознавания нового слова и содержит лишь общую информацию о нем, но при этом позволяет запомнить его даже в случае однократного предъявления, и была названа “fast mapping” («быстрым отображением»). Вторая стадия, более длительная и включающая в себя весь временной промежуток между первым и последующими предъявлениями нового слова (через неделю, месяц и т. д.), получила название “drawn out mapping” или “extended mapping” («длительное отображение» или «пролонгированное отображение»). Авторы охарактеризовали это пролонгированное отображение как процесс усвоения нового слова в результате его последующего многократного предъявления (Там же).

Дальнейшие исследования механизма FM выявили, что дети трех-четырёх лет способны воспроизводить новые слова даже спустя месяц после их однократного предъявления (Markson, Bloom, 1997). В настоящее время показано, что способность к научению новым словам (в условиях малого или ограниченного числа их предъявлений) начинает развиваться достаточно рано, уже в возрасте 6-ти месяцев ребенок быстро связывает новое слово с соответствующим ему референтом, хотя в этот период способности к сохранению и воспроизведению такого рода информации весьма ограничены (Friedrich, Friederici, 2011). По мере развития механизм «быстрого отображения» становится все более эффективным (Bion et al., 2013), так что с возраста 13 месяцев дети в естественных условиях могут активно усваивать новую лексику, выучивая от двух до пяти новых слов в день. При этом повторное предъявление ранее неизвестных объектов стимулирует одновременное усвоение нескольких новых словоформ (Gershkoff-Stowe, Hahn, 2007).

Механизм FM изучался достаточно широко и был описан не только у типично развивающихся детей, но и у детей со специфическим расстройством речи (Weismer, Hesketh, 1996; Gray, 2003), потерей слуха (Lederberg et al., 2000), синдромом Вильямса (Steven, Karmiloff-Smith, 1997), синдромом Дауна (Bird et al., 2004).

Важно отметить, что, несмотря на значительное количество проведенных исследований, в целом ряде поведенческих работ, описывающих этот механизм, содержатся противоречивые данные. В частности, при попытках репликации ранних исследований отдельным авторам не удавалось воспроизвести первоначальные результаты (Horst, Samuelson, 2008; Horst et al., 2010; Friedrich, Friederici, 2011; Kucker et al., 2018). В ряде исследований было показано, что дети могут быстро забывать слова, выученные с помощью FM-задачи. Так, в серии работ М. Хорст с коллегами (Horst, Samuelson, 2008; Horst et al., 2010) двухлетние дети при однократном прослушивании нового для них слова успешно выбирали в качестве референта новый объект, предъявленный им среди нескольких хорошо знакомых предметов. Однако уже пять минут спустя при тестировании дети не показали никаких признаков запоминания названий новых референтов, которые они ранее правильно идентифицировали. Таким образом, дети были точны в выборе референта в экспериментальных пробах, но не смогли вспомнить его в ситуации сопоставления нового слова и нового объекта, что не согласуется с выводами значительного количества предыдущих исследований о том, что успех в выборе референта автоматически приводит к усвоению нового слова и его удержанию в памяти. Возможно, стадия перехода от выбора референта к удержанию может быть затруднена тем, что в задаче научения дети слышат сразу несколько новых слов, предъявляемых в быстром темпе. Отчасти эта проблема может быть решена путем многократного использования нового слова в ходе научения или его повторения в ходе естественного разговора с ребенком (Mather, Plunkett, 2009). Некоторые авторы также подчеркивают зависимость получаемых результатов от типа выбираемых стимулов (Swingley, 2010).

Ряд исследований был посвящен поиску взаимосвязи между способностью к быстрому отображению и размером словарного запаса у ребенка в возрасте «лексического взрыва» (конец второго - начало третьего года жизни). В таких работах, как правило, использовали онлайн-регистрацию времени зрительных фиксации на знакомых и незнакомых объектах при научении новым словам. В ряде работ успех в выборе референта не был связан с объемом словаря у детей в возрасте двух лет (Byers-Heinlein, Werker, 2009; Mather, Plunkett,

2009), но последующие исследования выявили положительную взаимосвязь механизма FM и объема лексикона в раннем возрасте (Houston-Price et al., 2010; Weisleder, Fernald, 2013).

В целом можно отметить, что еще в своей пионерской работе С. Кэри и Э. Бартлетт (Carey, Bartlett, 1978) подчеркнули постепенный, градуальный характер процесса усвоения значения нового слова, предположив, что быстрый и точный выбор потенциального референта — это только начальный этап и, следовательно, процесс научения далеко не завершен после однократного предъявления нового языкового элемента. В настоящее время представление о том, что FM представляет собой критическое, но лишь начальное звено процесса усвоения значения нового слова, является центральным для понимания этого фундаментального механизма раннего овладения языком (Carey, 2010).

Важно подчеркнуть, что, несмотря на значительное количество поведенческих исследований, проведенных в данной области на различных детских (в т. ч. клинических) выборках и в широком возрастном диапазоне, на сегодняшний день практически отсутствуют работы, выполненные в русле классического исследования С. Кэри и Э. Бартлетт (Carey, Bartlett, 1978), т. е. направленные на изучение механизма FM как такового: сверхбыстрого формирования репрезентаций новых слов посредством контекстно-зависимой дедукции в условиях однократного предъявления новых языковых единиц. Кроме того, в данной области фактически не проведено каких-либо систематических нейрофизиологических исследований (за исключением небольшого количества работ на взрослых клинических выборках; см., например, Sharon et al., 2011), из-за чего нейрональные основы механизма FM, особенно в раннем возрасте, остаются малоизученными. В связи с этим ниже будет представлен обзор нейрофизиологических работ по изучению сверхбыстрого усвоения новой лексики с использованием ассоциативного научения в кросс-модальных парадигмах, а также исследований контекстного научения в условиях однократного предъявления новых единиц языка. Количество работ последнего типа очень невелико, т. к. немногие авторы отваживаются на реализацию такой нетривиальной задачи, как изучение феномена научения с одного предъявления.

### **Нейрофизиологические корреляты однократного контекстного научения у детей и взрослых: компонент N400**

В настоящее время при изучении механизмов усвоения языка наиболее широко используется такой «лингвистический» компонент вызванных потенциалов (ВП), как N400. Компонент N400 представляет собой негативное отклонение потенциала на интервале 200–600 мс с латентностью пика порядка 400 мс и максимумом амплитуды в центральных областях (в случае аудиально предъявляемых речевых стимулов). Традиционно компонент N400 рассматривается как нейрофизиологический индекс лексической и лексико-семантической обработки (Kutas, Federmeier, 2011). Впервые он был зарегистрирован в исследовании М. Кутас и С. Хилльярда (Kutas, Hillyard, 1980) на материале речевых стимулов: авторы продемонстрировали наличие сильного отрицательного отклонения амплитуды ВП с латентностью около 400 мс при восприятии семантически аномальных окончаний предложений (например, «Я добавляю в кофе сливки и *собаку*») в сравнении с высоко предсказуемыми (например, «Я добавляю в кофе сливки и *сахар*»). В данной ситуации максимум амплитуды компонента N400 был зарегистрирован в ответ на предъявление семантически аномальной концовки предложения.

Традиционно регистрация данного компонента (т. н. эффект N400) связывается с семантическим рассогласованием и отражением степени интеграции слова в заданный контекст: например, он возникает в ответ на предъявление слов, семантически не связанных между собой или с окружающим их контекстом. Однако компонент N400 также появляется и при использовании стимулов, лишенных лексического статуса, в частности псевдослов (Kutas, Federmeier, 2011).

Один из классических вариантов дизайна эксперимента с регистрацией эффекта N400 у детей и взрослых при усвоении новой семантики по сути представляет собой контекстное научение и заключается в следующем: участника просят вывести значение нового слова из лингвистического (т. н. обучающего) контекста, представленного несколькими предложениями. При этом новые слова появляются либо в семан-

тически высоко информативных (т. е. тех, из которых возможно выведение значения нового слова), либо семантически ограниченных контекстах (то есть мало- или неинформативных, из которых сложно или невозможно вывести значение нового слова). В традиционном подходе используют от 3 до 10 контекстных предъявлений нового слова. Далее в ЭЭГ-сессии оценивают динамику компонента N400. Результаты, как правило, показывают, что уже после нескольких предъявлений только что выученных словоформ амплитуда компонента N400 значительно не отличается от амплитуды этого компонента, возникающего в ответ на предъявление знакомых слов (см., например, Mestres-Missé et al., 2007; Borovsky et al., 2010a, 2010b; Frishkoff et al., 2010; Batterink, Neville, 2011). В связи с тем что в данной главе акцент делается на обзоре работ, в которых изучается усвоение значений новых словоформ в ситуации их однократного предъявления, ниже будет представлен критический анализ именно таких исследований.

В работе А. Боровски с коллегами (Borovsky et al., 2010a) значение новых однократно предъявлявшихся слов выводилось из контекста с высокой или низкой предсказуемостью значения слова. В начале эксперимента испытуемому предъявляли обучающее (т. н. контекстуальное) предложение, которое представляло собой одно из следующих сочетаний: 1) высокая предсказуемость контекста + знакомая словоформа (например: «Для того чтобы собрать вместе кусочки разбитой тарелки, он использовал *клей*»), 2) высокая предсказуемость контекста + незнакомая словоформа (например: «Для того чтобы собрать вместе кусочки разбитой тарелки, он использовал *марф*»), 3) низкая предсказуемость контекста + знакомая словоформа (например: «Она прошла через комнату к грязному столу Майка, чтобы вернуть его *клей*»), 4) низкая предсказуемость + незнакомая словоформа (например: «Она прошла через комнату к грязному столу Майка, чтобы вернуть его *марф*»). Сразу за обучающим предложением следовали два тестовых предложения, каждое из которых служило правдоподобным (П) или неправдоподобным (Н) контекстом для использования целевого слова. Например, в качестве правдоподобного контекста выступали такие предложения, как: «Они использовали *клей/марф*»; «Ему необходим *клей/*

*марф*». В качестве неправдоподобного контекста использовались следующие предложения: «Она водила *клеЙ/марф*»; «Он приветствовал *клеЙ/марф*». Все возможные комбинации правдоподобных (П) и неправдоподобных (Н) тестовых пар (ПП, ПН, НП, НН) встречались псевдослучайным образом и были контрбалансированы среди участников. Задачей участников было выбрать, какое из тестовых предложений содержит (или не содержит) целевое слово в подходящем по контексту значении. Влияние обучающего контекста изучалось авторами на основании встраивания целевого слова в связку с глаголом в правдоподобных и неправдоподобных тестовых предложениях, следовавших после обучающего. Результаты показали, что уже после первого предъявления псевдослова в предложении с высоко предсказуемым (информативным) контекстом, амплитуда N400 была значимо ниже в правдоподобных предложениях («Я использовал *марф*») в сравнении с амплитудой, возникающей при демонстрации неправдоподобных (неинформативных) предложений («Я поприветствовал *марф*»). Авторы предположили, что снижение амплитуды N400 отражает приобретение псевдословом лексического значения, что обусловлено контекстуальным научением после единичного предъявления псевдослова в предложении с информативным контекстом. Таким образом, впервые была показана возможность однократного контекстного научения новым словам у взрослых.

Аналогичный результат был получен теми же авторами (Borovsky et al., 2010b) в другом исследовании. Участникам также необходимо было прочесть ряд предложений, содержащих слова и псевдослова в высоко и низко предсказуемом контексте (информативный и неинформативный тип предложений, соответственно). Процесс научения исследовали с помощью процедуры семантического прайминга: участникам была предложена последовательность из визуально предъявленных отдельных слов, содержащая все целевые слова, ранее использованные в предложении, и праймы к ним. Задача участников заключалась в том, чтобы определить, встречалось им предлагаемое слово ранее или нет (оценивалось время реакции и правильность ответа). Авторы обнаружили, что в случае семантического прайминга наблюдалось снижение амплитуды компонента N400 для псевдослов, что означало появление у псевдослова лек-

сического значения в результате научения в ходе однократного предъявления в информативном контексте. Таким образом, авторы снова продемонстрировали, что взрослые участники могут сделать вывод о значении слова уже после его однократного предъявления в контексте предложения в том случае, если это слово предъявляется в контекстах с высокой предсказуемостью его значения, т. е. в семантически высокоинформативных.

Схожий дизайн контекстного научения был успешно использован и на выборке детей младшего (8–11 лет) и среднего (11–14 лет) школьного возраста в серии работ А. Абел с коллегами (Abel et al., 2018, 2020). Однако важно подчеркнуть, что эти работы не вполне удовлетворяли критерию однократного предъявления новой языковой единицы. В данных исследованиях детям предлагали усваивать значение новых словоформ из семантического контекста, который подразделяли на два типа: контекст, который мог быть или достаточным (meaning, M+), или недостаточным (no meaning, M–) для выведения значения нового слова. Каждый тип контекста был представлен набором из трех предложений, при этом предсказуемость контекста увеличивалась от первого к последнему предложению. Таким образом, новый элемент появлялся однократно, но последовательно в каждом из трех предложений, что, строго говоря, не соответствовало критерию однократного предъявления. Например, в качестве семантического контекста «M+» могли быть использованы следующие предложения: 1) «Ее родители купили ей *нав*»; 2) «Заболевший ребенок провел весь день в *нав*»; 3) «Мама взбила подушки, лежащие на *нав*». Можно видеть, что контекст этих трех предложений позволяет присвоить новой словоформе *нав* определенное значение: например, «кровать/диван». В качестве семантического контекста «M–» могли быть использованы следующие предложения: 1) «Ее любимая игрушка на все времена — это *зат*»; 2) «У него полно еды в *зат*»; 3) «Перед сном нужно захватить *зат*». Непоследовательность контекста и его низкая предсказуемость в данном случае делают невозможным выведение какого-либо конкретного значения для словоформы *зат*. Авторы продемонстрировали, что в случае успешного выведения значения слова из контекста происходит снижение амплитуды ответа компонента N400, в результате чего она становится

неотличима от таковой, возникающей в ответ на предъявление знакомых слов. В случае псевдослов, для которых выведение значения из контекста оказалось невозможным, подобного эффекта снижения амплитуды N400 не наблюдалось.

Таким образом, было продемонстрировано, что снижение амплитуды N400 в ответ на новое слово после его предъявления в семантически высокоинформативном контексте может свидетельствовать о сверхбыстром усвоении значения новой словоформы. При этом во взрослом мозге сверхбыстрое усвоение семантики наблюдается уже после однократного предъявления нового элемента, в то время как для развивающегося мозга необходимо более одного предъявления, что может объясняться как сложностью самой задачи научения, так и возможной зависимостью от объема активного словаря и показателей вербального интеллекта в школьном возрасте.

***Нейрофизиологические корреляты механизма “fast mapping” у детей раннего возраста: компонент N400 в задачах ассоциативного научения***

Компонент N400 также является удобным инструментом для изучения процессов научения новым словам у детей, при этом его эффективное использование возможно уже с младенческого возраста, т. е. практически с доречевого этапа развития ребенка. Для этого применяют кросс-модальные парадигмы с использованием акустических стимулов и изображений и достаточно большое количество обучающих проб. Так, было показано, что дети в возрасте шести месяцев способны быстро связать новую словоформу с соответствующим референтом, изображенным на картинке. При этом, как отмечали авторы, уже спустя одни сутки «эффект N400» оказывался менее стабильным, чем сразу после обучающей сессии. Компонент имел традиционное для N400 париетальное распределение, но более позднюю латентность — в диапазоне от 600 до 900 мс. Тест на запоминание продемонстрировал, что младенцы не полностью забывают недавно полученные знания о значении новых слов. Авторы заключили, что уже в возрасте шести месяцев ребенок способен быстро образовать ассоциативную пару «новое слово — новый объект», однако в этот

период возможности мозга к сохранению и воспроизведению такого рода информации весьма ограничены. Предполагается, что уже в этом раннем возрасте процесс усвоения значения нового слова основан на быстром формировании следов декларативной памяти, но ограничения в консолидации новой информации уменьшают эффект научения и возможности воспроизведения нового знания (Friedrich, Friederici, 2011). Попытки авторов воспроизвести результаты с участием 3-месячных младенцев не увенчались успехом (Friedrich, Friederici, 2017). Использование аналогичной процедуры с большим количеством обучающих проб, но в более медленном темпе, позволило показать, что 14-месячные дети способны к более успешному «быстрому отображению» новых словоформ, их интеграции в лексикон и сохранению в памяти в течение как минимум 24 часов после эксперимента. Такая способность младенцев консолидировать недавно приобретенные лексико-семантические знания в долговременной памяти отражалась в прайминг-эффекте N400 через 1–2 дня после тренировки (Friedrich, Friederici, 2008).

В серии работ этих же авторов (Friedrich, Friederici, 2004, 2005) представлены результаты лонгитюдного изучения процессов усвоения значения нового слова и лексико-семантической обработки у детей в течение второго года жизни (замеры производились в 12, 14 и 19 месяцев). Использовалась классическая кросс-модальная парадигма, в которой изображение объекта сопровождалось акустическим стимулом, представленным в четырех вариантах: а) слово, совпадающее с названием изображаемого объекта, б) слово, не совпадающее с названием изображаемого объекта, в) псевдослово, выстроенное по фонологическим правилам родного языка, г) псевдослово, не соответствующее фонологическим правилам родного языка. Было выявлено, что у детей 12 месяцев на временном интервале 100–400 мс наблюдается усиление фронто-центральной негативности в ответ на слова, семантически совпадающие с изображениями, по сравнению с семантически неконгруэнтными словами. Авторы объяснили данный результат эффектом знакомого стимула, что отражает процесс лексического ожидания после просмотра знакомого изображения. При этом у детей в возрасте 14 месяцев наряду с аналогичной

ранней негативностью наблюдали классический эффект N400 для слов, не соответствовавших изображению. В то же время у детей в возрасте 19 месяцев эффект N400 регистрировали в ответ как на слова с семантическим несоответствием, так и на псевдослова, выстроенные по фонологическим правилам родного языка. При этом в ответ на предъявление псевдослов с неродной фонологией компонент N400 зарегистрирован не был, что, возможно, свидетельствовало в пользу того, что любое псевдослово, выстроенное по правилам звучания родного языка, ребенок воспринимает как потенциальную лексему — в отличие от псевдослов с неродной фонологией. Авторы отметили, что у 14- и 19-месячных детей наблюдаемый эффект N400 имел более позднюю латентность и более фронтальное распределение. Поскольку известно, что N400 у взрослых традиционно демонстрирует фронтальное распределение в случае визуальных стимулов, то авторы предположили, что более фронтальное распределение компонента N400 у детей может либо означать, что в данном возрасте в процессе семантической обработки в значительной степени задействован анализ визуальных признаков объекта-референта, либо указывать на дополнительное вовлечение в семантическую обработку фронтальных областей, связанных с активацией процессов внимания (Friederici, 2006).

Аналогичное исследование с участием детей в возрасте «лексического взрыва» (около 20 месяцев) представлено в работе Я. фон Косс Торкильдсен и коллег (von Koss Torquildsen et al., 2008). Авторы использовали традиционный дизайн, при котором на этапе научения детям предъявлялись конгруэнтные пары: изображения незнакомых предметов в сочетании с прослушиванием незнакомых псевдослов. Это позволяло проверить способность ребенка связывать новое для него слово с незнакомым объектом после определенного количества предъявлений. Далее в тестовой сессии детям предъявляли неконгруэнтные пары, включавшие в себя прослушивание выученных псевдослов в сопровождении изображения нового (неконгруэнтного) объекта. Это позволило авторам зарегистрировать классический эффект N400: увеличение амплитуды компонента в случае неконгруэнтной пары «слово — объект». Наличие компонента N400, по мнению авторов, свидетельствовало

об успешном «быстром отображении» новой словоформы. Важно отметить, что значительное увеличение амплитуды N400 при прослушивании псевдослов в неконгруэнтных парах было зарегистрировано только у детей с большим объемом словарного запаса. У детей с малым размером словаря эффект N400 не проявлялся, а увеличение амплитуды N400 наблюдалось только в контрольной ситуации — при предъявлении неконгруэнтных пар «знакомый объект — знакомое слово» (Там же).

В целом результаты вышеприведенных исследований указывают на то, что дети раннего возраста способны эффективно усваивать значение нового слова. Однако при этом остается невыясненным, насколько процесс семантической обработки в развивающемся мозге аналогичен такому процессу у взрослых, учитывая существенные отличия временных и амплитудных характеристик компонента N400 в раннем возрасте. В этой связи важно иметь в виду и то, что в качестве нейрофизиологического индекса процессов лексико-семантической обработки в развивающемся мозге ряд авторов успешно используют не только «истинный» компонент N400, но и его аналоги, обозначаемые как ранняя негативная волна (в случае детей первого года жизни) (Friederici, 2006), медленная негативная волна с латентностью пиков порядка 400 мс, 600 мс и 800 мс (у детей раннего и дошкольного возраста) (Silva-Pereyra et al., 2005), а также поздняя негативность с латентностью, близкой к N400 (в случае детей школьного возраста) (Holcomb et al., 1992). Кроме того, в ряде исследований отмечается более фронтальное распределение компонента N400 при использовании аудиовизуальной парадигмы, что предположительно обусловлено дополнительным вовлечением в семантическую обработку фронтальных корковых областей, связанных с активацией процессов внимания (Friederici, 2006).

Тем не менее, результаты исследований, посвященных анализу источников нейрональной активации с помощью методов нейровизуализации, позволяют предположить, что в основе процессов семантической обработки в развивающемся мозге лежат те же области, что и во взрослом, что подтверждается результатами фМРТ-исследований семантических процессов у детей на уровне отдельных слов. Так, у детей в возрасте 9–15 лет были выявлены двусторонние зоны активации в ви-

сочных извилинах (поле Бродмана 22), а также активации в левой средней височной извилине (поле Бродмана 21) и в нижних лобных извилинах в обоих полушариях (поля Бродмана 47/45). Усиление лобно-височной активации в развивающемся мозге интерпретировалось авторами как результат вовлечения в процессы семантической обработки более широких нейронных сетей. В то же время в фМРТ-исследовании с участием детей в возрасте от 5 до 10 лет также была обнаружена левополушарная активация в аналогичных лобных и височных областях, но с дополнительной зоной в левой веретенообразной извилине (поля Бродмана 37, 20), что, по мнению авторов, предполагает левостороннюю локализацию речевой функции уже к возрасту пяти лет (Balsamo et al., 2006; Chou et al., 2006). Таким образом, результаты свидетельствуют о том, что в развивающемся мозге процесс лексико-семантической интеграции новых элементов происходит более медленными темпами, требует определенного количества повторений стимула, и только по мере увеличения возраста испытуемых механизм быстрого усвоения лексики становится более эффективным и менее трудоемким (Holcomb et al., 1992; Friedrich, Friederici, 2005, 2008, 2011; Friederici, 2006).

Вопрос о существовании механизма ФМ во взрослом мозге на сегодняшний день остается дискуссионным. Так, отдельные авторы высказывают мнение, согласно которому ФМ — это результат искусственно моделируемой лабораторной ситуации, а в реальности мозг взрослого человека лишен данного механизма научения (Cooper et al., 2019a, 2019b; O'Connor, Riggs, 2019). Однако важно подчеркнуть, что данные предположения в настоящее время основываются исключительно на результатах поведенческих измерений. В свою очередь, целая серия работ, выполненных с использованием фМРТ, ряд поведенческих исследований на клинических выборках, а также отдельные ЭЭГ-исследования указывают на то, что механизм «быстрого отображения» может опосредовать процессы быстрого усвоения новой лексики у взрослых (подробнее об этом см. *Главу 1*).

Несмотря на проведенные исследования, механизмы быстрого усвоения новой лексики по-прежнему остаются малоизученными, хотя именно они представляются наиболее важны-

ми для понимания нейрофизиологических основ организации языковой функции как в развивающемся, так и во взрослом мозге. В ряде исследований, выполненных исключительно в условиях пассивного слухового восприятия (многократное повторение в течение 20–30 минут десятков/тысяч стимулов), было продемонстрировано, что увеличение амплитуды ранних компонентов ВП (с латентностью ~50–150 мс) может рассматриваться в качестве нейронального коррелята формирования мнемических репрезентаций только что выученных словоформ (Shtyrov, 2011; Kimppa et al., 2015; Partanen et al., 2017). В то же время в качестве более естественного и эффективного подхода к изучению быстрого усвоения новых языковых единиц может рассматриваться использование парадигмы ассоциативного научения, позволяющей задействовать широкий набор словоформ в комбинации с разнообразными визуальными референтами, что дает возможность моделировать процесс усвоения значений новых слов у детей и у взрослых участников в естественной коммуникативной среде. При этом, как отмечалось ранее, на сегодняшний день нейрофизиологические исследования в этой области крайне немногочисленны, и полностью отсутствуют работы, направленные на изучение нейрональных основ FM как особого нейрокогнитивного механизма, который опосредует быструю форму ассоциативного научения и формирования репрезентаций новых словоформ и фактически является критическим звеном на начальных этапах усвоения языка и в последующем быстром увеличении лексикона во взрослом возрасте.

В связи с этим при реализации настоящего исследования мы поставили перед собой несколько основных целей:

- 1) разработать парадигму, моделирующую процесс быстрого усвоения значения нового слова в условиях естественной коммуникативной среды, и обеспечить возможность ее применения в различных выборках детей и взрослых;
- 2) провести апробацию этой парадигмы в пилотажном исследовании с привлечением взрослых участников;
- 3) провести адаптацию этой парадигмы и применить ее для изучения нейрофизиологических коррелятов механизма FM при усвоении новых словоформ в развивающемся мозге.

Для реализации поставленных целей нами была разработана аудиовизуальная парадигма ассоциативного научения (т. н. парадигма FM (Vasilyeva et al., 2019a)), позволяющая изучать быстрое усвоение значения нового слова в ситуации однократного предъявления новой языковой единицы. Мы разработали парадигму FM таким образом, чтобы, с одной стороны, как можно точнее воспроизвести условия ранних классических поведенческих исследований, а с другой — максимально адаптировать задачу научения к условиям ЭЭГ-эксперимента.

С этой целью был создан сбалансированный набор акустических и визуальных стимулов: использовались комбинации знакомых и новых словоформ, предъявляемых аудиально, в сочетании со знакомыми и новыми (незнакомыми) объектами, предъявляемыми визуально. Кроме того, были тщательно подобраны контрольные стимулы, имевшие выравненные акустические характеристики и четкие точки распознавания стимула, необходимые для регистрации связанных со временем вызванных потенциалов мозга. В качестве контрольных стимулов мы использовали, с одной стороны, акустически похожее знакомое слово, предъявляемое в ходе задачи научения, а с другой стороны, знакомые и новые словоформы, не имевшие какого-либо семантического референта.

Подобно тому как это бывает в классических поведенческих исследованиях, задачей каждого участника было выведение значения нового слова из семантического контекста методом исключения и с помощью операции логического вывода. Для этого в ходе задачи научения осуществлялось формирование ассоциативных пар «слово — объект» таким образом, что каждой словоформе присваивался определенный семантический референт. В отличие от подавляющего большинства предыдущих исследований, в нашей работе выбор референта осуществлялся в однократно предъявляемой обучающей пробе «слово — объект», в связи с чем данную парадигму можно обозначить как парадигму научения с одного предъявления (*single-shot learning*). Задача научения была объединена с короткими сессиями пассивного прослушивания акустических стимулов, в течение которых проводили регистрацию ЭЭГ. Пассивные сессии проводились до и после процедуры FM, поскольку известно, что пас-

сивные слуховые ВП могут использоваться как нейрональные индексы активации и формирования следов памяти для только что выученных словоформ (Shtyrov, 2012).

Мы предположили, что быстрое формирование новых ассоциаций «слово — объект» посредством парадигмы FM будет отражаться в изменении динамики нейронального ответа, что, в свою очередь, будет свидетельствовать о быстром формировании репрезентации новой словоформы во взрослом мозге в условиях однократного ассоциативного научения.

## **Методы и организация Эксперимента 1**

Проведенный нами Эксперимент 1 был посвящен исследованию нейрофизиологических механизмов процесса быстрого усвоения новых словоформ родного языка у взрослых. Его цель заключалась в разработке и апробации парадигмы ассоциативного семантического научения.

### ***Методы и процедура исследования***

Исследование проводилось на базе кафедры высшей нервной деятельности и психофизиологии Санкт-Петербургского государственного университета. Перед началом исследования все участники знакомились с его процедурой, а также подписывали информированное согласие на участие. Все процедуры и протоколы исследования были одобрены Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета. Участие в исследовании не оплачивалось.

### ***Выборка***

В исследовании приняли участие 12 взрослых (7 — женщины; 18–30 лет; средний возраст — 23,  $SD = 3,9$ ). Все участники были праворукими (согласно результатам Эдинбургского опросника (Oldfield, 1971)) монолингвами, носителями русского языка, имели нормальное или скорректированное до нормального зрение, а также заявили об отсутствии неврологических заболеваний и травм головного мозга. Для отбора участников исследования использовались специально разработанные ан-

кеты. Анкетирование проводилось с помощью онлайн-сервиса Google Forms (Google Inc., Маунтин-Вью, Калифорния, США).

### ***Стимульный материал***

В качестве акустических стимулов использовались четыре акустически и фонетически сходных трифона (согласный — гласный — согласный, СГС) русского языка: два из них были знакомыми респондентам словами русского языка (*кит* и *кот*), а два других были фонологически правильными новыми словоформами (*кет* и *кат*). Стимулы были записаны диктором женского пола — монолингвом, носителем русского языка. Для редактирования стимулов использовались программы Adobe Audition 3.0 (Adobe Inc., Сан-Хосе, Калифорния, США) и Praat v.6.0.40 (Boersma, van Heuven, 2009). Акустические стимулы были максимально сбалансированы по своим характеристикам (длительности, интенсивности, частоте основного тона); длительность каждого стимула составила 413 мс.

Визуальные стимулы состояли из двумерных цветных изображений 11 знакомых животных и одного неизвестного (нереального) существа, отобранных из коллекции Microsoft Word 2010 Clipart Collection (Microsoft Office, Microsoft Corp., Редмонд, Вашингтон, США). Средний угловой размер изображения составлял 3,5°. Акустические и визуальные стимулы предъявлялись с помощью программы Psytask v.1.41.2 (Mitsar Ltd., Санкт-Петербург, Россия).

### ***Экспериментальная парадигма для исследования процесса научения***

Дизайн исследования включал короткий тренировочный блок, обучающую сессию (процедуру FM) и две пассивные сессии, которые проводились непосредственно до и сразу после процедуры FM.

Для проведения обучающей сессии была разработана аудиовизуальная парадигма ассоциативного научения с однократным предъявлением новых языковых элементов. В ходе задачи научения в условиях экспериментально созданной

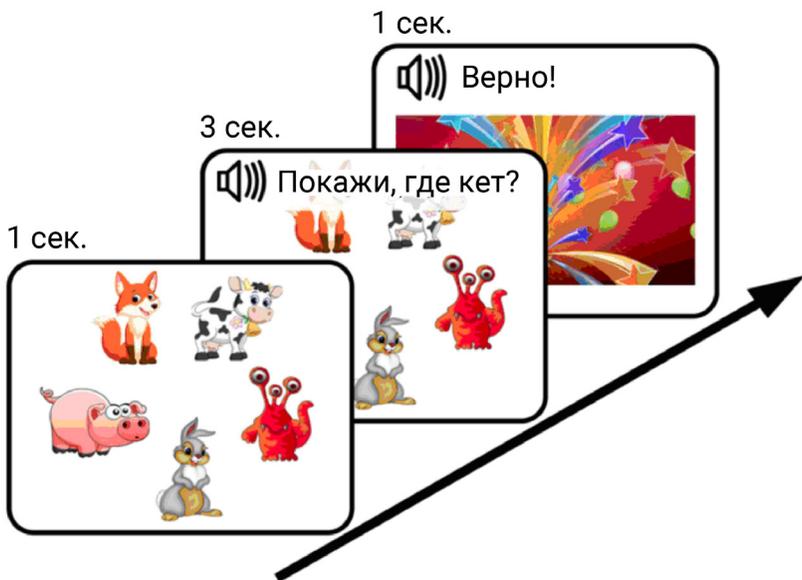
неоднозначности исследовалась способность взрослого участника определять референт (т. е. визуальный объект) для новой словоформы родного языка, предъявленной однократно в аудиальной форме, и сохранять репрезентацию только что выученного слова в памяти для дальнейшего использования. Иными словами, участнику было необходимо вывести значение нового слова из знакомого контекста, используя метод исключения и операцию логического вывода.

Процедура FM начиналась с короткого тренировочного блока, направленного на ознакомление испытуемых с заданием, в ходе которого участникам предъявлялись две ознакомительные пробы со знакомыми парами «слово — объект» (например, *гусь*, *конь*), не используемые в последующей задаче научения. После этого предъявлялась одна обучающая проба со знакомым словом (*кот*) в паре со знакомым визуальным объектом и одна обучающая проба с новой словоформой (*кет*) в паре с изображением незнакомого визуального элемента.

Обучающая проба начиналась с предъявления фиксационного креста на экране монитора, далее на белом фоне появлялись пять объектов, расположенных по кругу и уравновешенных по местоположению. После короткой паузы (~1 с.) участник слышал вопрос, относящийся к одному из объектов (например: «Покажи, где кет?»). Задачей участника было определить, какой объект его просят идентифицировать (в случае новой словоформы это было возможно только путем исключения других — знакомых — объектов) и указать на него (Рис. 17). Все целевые визуальные элементы предъявлялись в окружении четырех знакомых объектов. В том случае если участники успешно определяли референт для знакомой или новой словоформы, им давали вербальное (похвала от экспериментатора) и иконическое (красочное изображение фейерверка на экране монитора) подкрепление.

### ***Регистрация ЭЭГ во время пассивного прослушивания словоформ***

Регистрация ЭЭГ в условиях пассивного прослушивания знакомых и новых словоформ проводилась дважды: непо-



**Рисунок 17.** Последовательность предъявления стимулов в обучающей пробе

средственно до и сразу после процедуры ФМ. Участники располагались в комфортном кресле на расстоянии 1 м от монитора компьютера. Всем участникам была дана инструкция не обращать внимания на акустические стимулы и смотреть видеofilm (без звука)<sup>7</sup>. Акустические стимулы подавались бинаурально через наушники Philips SHP 2500 (Koninklijke Philips N. V., Амстердам, Нидерланды). Интенсивность стимулов составляла 60 дБ над порогом слышимости.

В качестве стимулов предъявлялись слова и псевдослова, использовавшиеся ранее в ходе процедуры ФМ, и контрольные стимулы, т. е. слова и псевдослова, не использовавшиеся в процедуре ФМ. В данном случае в качестве контрольных

<sup>7</sup> Использовались фрагменты видеозаписи шоу мыльных пузырей (для примера см. видеоролик “International bubble show”; URL: <https://youtu.be/RBN7t4M98Vc>, автор: SK Events).

стимулов предъявлялись знакомое слово *kit* и псевдослово *kat*. Такое небольшое количество стимулов использовалось, с одной стороны, для приближения дизайна эксперимента к более ранним поведенческим исследованиям, в которых обычно предъявлялся только один новый элемент в парадигме ассоциативного научения, а с другой стороны — для предотвращения любых потенциальных помех, которые могут возникнуть при использовании нескольких новых элементов. Каждый тип стимула предъявлялся 25 раз в псевдослучайном порядке — так, что один и тот же стимул не встречался два раза подряд. Асинхронность начала стимула составляла порядка 1000 мс и случайным образом изменялась в диапазоне 1000–1100 мс с шагом в 10 мс.

Регистрация ЭЭГ осуществлялась с помощью 32-канального электроэнцефалографа Mitsar (частота дискретизации 500 Гц, полоса пропускания 0,01–150 Гц) и пакета программного обеспечения WinEEG (Mitsar Ltd., Санкт-Петербург, Россия). Хлорсеребряные электроды устанавливались в 32 отведениях с помощью шлема для ЭЭГ согласно международной системе 10% — 20%; в качестве референтного отведения использовался объединенный ушной электрод. Для контроля движений глаз производилась регистрация горизонтальной и вертикальной электроокулограммы (ЭОГ). Сопротивление электродов не превышало 10 кОм.

### ***Анализ и статистическая обработка ЭЭГ-данных***

Сигнал ЭЭГ подвергался фильтрации оффлайн в полосе 0,5–45 Гц. Продолжительность анализируемой эпохи составила 800 мс, для коррекции изолинии использовался предстимульный интервал 100 мс. Эпохи, в которых амплитуды сигналов ЭЭГ или ЭОГ превышали 100 мкВ на любом из каналов, исключались из дальнейшего анализа. Среднее количество усредненных эпох составило 21,4 ( $SD = 2,5$ ) из 25 предъявлений стимулов каждого типа. В окончательный статистический анализ были включены данные 10 участников, данные двух участников были исключены из анализа из-за чрезмерного количества артефактов в ЭЭГ-записях.

Анализ амплитуд ВП проводился во фронто-центральной кластере электродов (F3, Fz, F4, FC3, FCz, FC4, C3, Cz, C4), в котором речевые ВП имеют наибольшую выраженность. Визуальный анализ данных выявил наличие нескольких максимально выраженных пиков в широком временном окне 100–500 мс. Поскольку к настоящему времени в научной литературе полностью отсутствуют какие-либо данные об амплитудной и временной динамике компонентов ВП, связанных с механизмом FM, то для анализа нейрональной активности нами был выбран следующий подход: мы разделили эпохи анализа на равные 100-миллисекундные интервалы и выполнили статистический анализ на каждом из четырех интервалов (100–200 мс; 200–300 мс; 300–400 мс; 400–500 мс) отдельно для каждого типа стимула. Средние амплитуды ВП рассчитывались на временном интервале длительностью 100 мс, начиная со 100 мс, когда стимулы можно было различить акустически (поскольку они начинались с одной и той же фонемы). Вычислялись усредненные индивидуальные и групповые ВП по каждому типу стимула.

Для статистического анализа ВП использовался дисперсионный анализ с повторными измерениями (rmANOVA), выполненный с помощью IBM SPSS v.21.0 (IBM Inc., Армонк, Нью-Йорк, США) с факторами Сессия (два уровня: до/после процедуры FM), Отведение (три уровня: фронтальное/центрально-фронтальное/центральное) и Латерализация (три уровня: слева/центр/справа). В случаях значимого нарушения требования сферичности применялась поправка Гринхауса — Гейссера. При проведении парных сравнений использовалась поправка Бонферрони. Величина эффекта рассчитывалась с использованием значения  $\eta_p^2$  в программной среде IBM SPSS v.21.0 (IBM Inc., Армонк, Нью-Йорк, США).

### *Анализ источников электрической активности методом LORETA*

Для анализа источников электрической активности методом электромагнитной томографии низкого разрешения (LORETA; Pascual-Marqui et al., 1994) были получены изображения путем оценки распределения плотности токов электрической

активности мозга для 2394 вокселей при пространственном разрешении 7 мм. Полученные значения накладывались на трехмерную поверхность пространства атласа Талайраха (Talairach, Tournoux, 1988). Анализу LORETA подвергалась среднегрупповая разница между ВП, зарегистрированными до и после процедуры ФМ. Использовались среднегрупповые данные, т. к. они имеют преимущество за счет увеличенного соотношения сигнал/шум, к которому очень чувствительны алгоритмы анализа источников, что, в свою очередь, может несколько компенсировать низкое разрешение применяемой техники регистрации ЭЭГ.

## Результаты Эксперимента 1

Все участники исследования успешно справились с задачей научения: верно определили референт для новой словоформы родного языка, предъявленной однократно в аудиальном формате. Ниже представлены результаты, полученные при анализе ВП, зарегистрированных в двух пассивных сессиях (до и после процедуры ФМ). ВП были зарегистрированы в ответ на пассивное предъявление знакомых и новых словоформ, прошедших процедуру ассоциативного научения в задаче ФМ, а также контрольных стимулов, которые не предъявлялись в процедуре ФМ. Результаты дисперсионного анализа с повторными измерениями представлены в Таблице 5.

Таблица 5. Результаты дисперсионного анализа. Условные обозначения: \*уровень значимости  $p < 0,05$

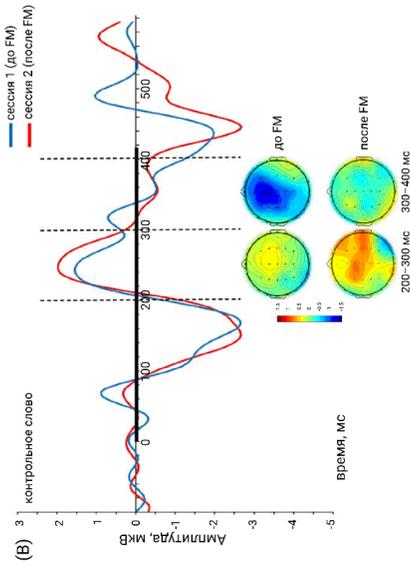
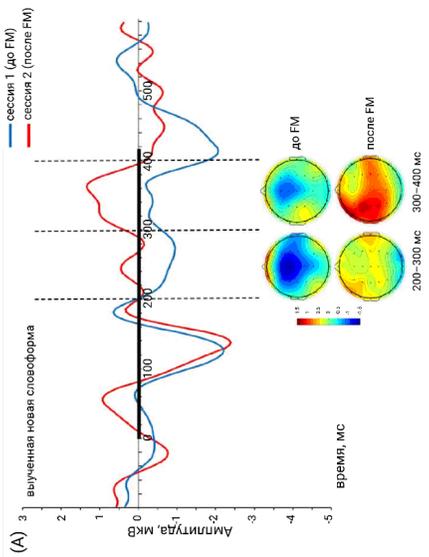
Фактор	100–200 мс	200–300 мс	300–400 мс	400–500 мс
Сессия	$F(1, 9) = 0,55$ $p = 0,48$ $\eta_p^2 = 0,06$	$F(1, 9) = 5,40$ $p = 0,05^*$ $\eta_p^2 = 0,38$	$F(1, 9) = 8,43$ $p = 0,02^*$ $\eta_p^2 = 0,48$	$F(1, 9) = 0,10$ $p = 0,35$ $\eta_p^2 = 0,10$
Отведение	$F(1,319, 11,875) = 1,54$ $p = 0,25$ $\eta_p^2 = 0,15$	$F(1,302, 11,716) = 0,19$ $p = 0,74$ $\eta_p^2 = 0,02$	$F(1,122, 10,099) = 3,17$ $p = 0,10$ $\eta_p^2 = 0,26$	$F(1,129, 10,162) = 2,35$ $p = 0,16$ $\eta_p^2 = 0,21$

Фактор	100–200 мс	200–300 мс	300–400 мс	400–500 мс
Латеральность	$F(1,781, 16,025) = 0,32$ $p = 0,71$ $\eta_p^2 = 0,03$	$F(1,736, 15,627) = 0,34$ $p = 0,63$ $\eta_p^2 = 0,05$	$F(1,691, 15,222) = 3,41$ $p = 0,07$ $\eta_p^2 = 0,28$	$F(1,756, 15,800) = 7,83$ $p = 0,01^*$ $\eta_p^2 = 0,47$

Анализ данных на временном интервале 100–200 мс не выявил значимого влияния факторов Сессия, Отведение и Латеральность, а также взаимодействия этих факторов. Как видно из Рис. 18, на данном интервале на разностной кривой был обнаружен пик негативной полярности со средней пиковой латентностью 155 мс. Анализ более поздних временных интервалов выявил значимое влияние фактора Сессия: для интервала 200–300 мс ( $F(1, 9) = 5,40, p = 0,05, \eta_p^2 = 0,38$ ) и для интервала 300–400 мс ( $F(1, 9) = 8,43, p = 0,02, \eta_p^2 = 0,48$ ), что отражает значимое увеличение амплитуды ВП для только что выученного слова, использованного в задаче научения. Важно подчеркнуть, что в данном случае для обоих временных интервалов на разностной кривой обнаруживаются пики позитивной полярности с латентностями 250 мс и 360 мс, соответственно. Также для данных временных интервалов не было обнаружено значимого влияния факторов Отведение и Латеральность, равно как и взаимодействия факторов. На Рис. 18 представлены усредненные ВП в отведении Cz и амплитудные топограммы до и после процедуры FM для только что выученного слова, контрольного псевдослова и контрольного знакомого слова.

Результаты анализа на временном интервале 400–500 мс выявили значимое влияние фактора Латеральность ( $F(1,756, 15,800) = 7,83, p < 0,01, \eta_p^2 = 0,47$ ). Множественные попарные сравнения выявили значимое левополушарное увеличение амплитуд ВП для новых и знакомых словоформ по сравнению с амплитудами ВП в правом полушарии ( $p < 0,01$ ). При этом на данном интервале не было обнаружено значимого влияния факторов Сессия и Отведение, а также взаимодействия факторов.

На Рис. 19 (А) представлен разностный ВП (в отведении Cz), полученный в результате вычитания ВП, возникшего



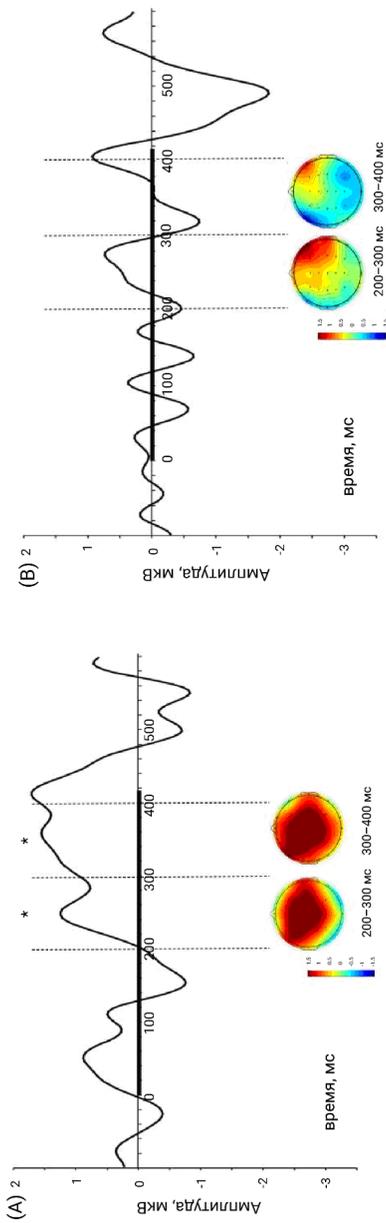
**Рисунок 18.** Усредненные вызванные потенциалы в отведении Cz и амплитудные топограммы до и после процедуры FM для выученного нового слова (A), контрольного псевдослова (B) и контрольного знакомого слова (B). Условные обозначения: по оси абсцисс — время, мс; по оси ординат — амплитуда, мкВ; толстая горизонтальная линия — время предъявления стимула; пунктирными линиями обозначены временные интервалы, в которых были обнаружены значимые эффекты; \*уровень значимости:  $p < 0,05$ . На данном рисунке фильтр 1–20 Гц использован исключительно в иллюстративных целях

в ответ на новую словоформу, предъявленную до процедуры FM (первая пассивная сессия), из ВП, возникшего в ответ на новую словоформу, предъявленную после процедуры FM (во второй пассивной сессии), и соответствующие амплитудные топограммы распределения ВП для выученного нового слова.

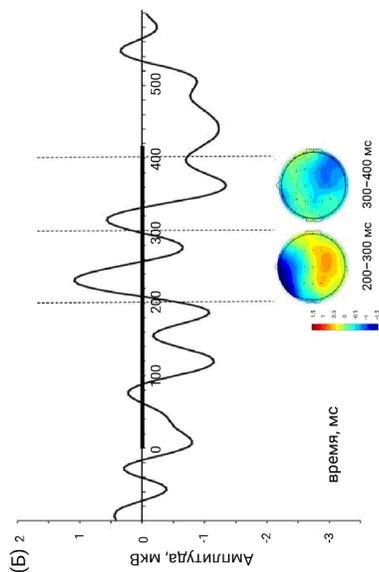
Результаты анализа амплитуд ВП не выявили различий для знакомого слова, использовавшегося в процедуре FM, и для контрольных стимулов, предъявленных в пассивных сессиях (см. Рис. 18 Б, В). Рисунки разностных ВП для знакомого слова, использовавшегося в задаче научения, и контрольных стимулов представлены на Рис. 19 (Б, В).

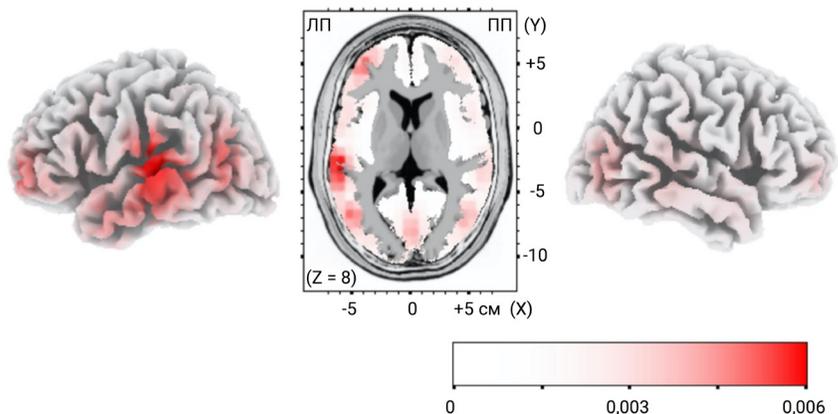
Кроме того, был проведен дополнительный анализ компонента N400. Было выявлено, что для ВП, полученных до процедуры FM, пиковая латентность этого компонента составляет  $416 \pm 36$  мс. Далее был проведен *ad hoc* анализ компонента N400 на временном интервале 366–466 мс (амплитуду усредняли на интервале  $\pm 50$  мс от максимума пика волны N400). Результаты анализа подтвердили значимое влияние фактора Латеральность ( $F(1,878, 16,898) = 10,12$ ,  $p < 0,01$ ,  $\eta_p^2 = 0,53$ ), что было получено ранее на временном интервале 400–500 мс. При этом значимого влияния фактора Сессия обнаружено не было ( $F(1, 9) = 3,94$ ,  $p = 0,08$ ,  $\eta_p^2 = 0,30$ ).

Для анализа корковых источников динамики ВП, связанной с научением, был использован метод электромагнитной томографии низкого разрешения (LORETA). Для этого оценивали распределение плотности токов электрической активности мозга для среднегрупповой разницы между ВП, записанными до и после процедуры FM, в тех временных интервалах, для которых было обнаружено значимое влияние факторов на амплитуды ВП. На Рис. 20 представлены LORETA-изображения распределения плотности источников для интервала 200–300 мс при предъявлении только что выученной словоформы. Максимальная активность наблюдалась в левой височной коре (с пиком в поле Бродмана 21) с менее выраженным источником в левой передней префронтальной коре.



**Рисунок 19.** Разностный потенциал (в отведении Cz), полученный в результате вычитания ВП, возникшего в ответ на новую словоформу, предьявленную до процедуры FM (первая пассивная сессия), из ВП, возникшего в ответ новую словоформу, предьявленную после процедуры FM (во второй пассивной сессии), и соответствующие амплитудные топограммы распределения потенциалов для выученного нового слова (А), контрольного псевдослова (Б), контрольного знака слова (В). Условные обозначения: по оси абсцисс — время, мс; по оси ординат — амплитуда, мкВ; толстая горизонтальная линия — время предьявления стимула; пунктирными линиями обозначены временные интервалы, в которых были обнаружены значимые эффекты; \*уровень значимости:  $p < 0,05$ . На данном рисунке фильтр 1–20 Гц использован исключительно в иллюстративных целях





**Рисунок 20.** Результаты анализа источников электрической активности (электромагнитной томографии низкого разрешения (LORETA)), возникающей в ответ на предъявление новой выученной словоформы (контраст «после — до процедуры FM») на интервале 200–300 мс

## Обсуждение результатов Эксперимента 1

Наше исследование было направлено на изучение нейрональных коррелятов механизма FM при усвоении фонологически и семантически новых словоформ в ситуации однократного предъявления новой языковой единицы в задаче ассоциативного научения с использованием контекстно-зависимой дедукции и метода исключения. Результаты свидетельствуют о значимом увеличении амплитуды ВП, возникающих в ответ на предъявление только что выученной словоформы. Данное увеличение амплитуды было обнаружено при регистрации пассивных слуховых ВП, которые, как известно, являются показателем автоматической активации следов памяти (Shtyrov et al., 2005, 2010; Shtyrov, Pulvermüller, 2007), при этом максимум различий был выявлен через 200–400 мс после начала предъявления словоформы, т. е. практически сразу после того, как словоформу можно было распознать. Важно отметить, что аналогичные различия в амплитудах ВП не были обнаружены ни для знакомого слова родного язы-

ка, предъявляемого в тех же экспериментальных условиях, ни для контрольного фонологически корректного псевдослова, использовавшегося только в пассивной сессии. Таким образом, отсутствие различий между разными типами контрольных словоформ исключает возможность объяснения текущей динамики ВП простым физическим повторением стимулов и позволяет интерпретировать зарегистрированные значимые изменения нейрональной активации как следствие процедуры научения в парадигме FM.

Преыдущие исследования показали, что для формирования следов памяти, соответствующих новым разговорным словоформам родного языка, требуется их многократное повторение (десятки/сотни раз) (Shtyrov, 2011; Kimppa et al., 2015; Partanen et al., 2017), в то время как в нашем исследовании значимое изменение динамики ВП было выявлено после однократного предъявления новой единицы языка в парадигме FM. Учитывая отсутствие каких-либо различий при предъявлении контрольных стимулов (включая слово, использованное в парадигме FM, а также слово и псевдослово, использованные только в пассивной сессии), полученный результат указывает на положительную роль семантического референта в быстром формировании мнемических репрезентаций только что выученных слов.

Настоящие результаты подтверждают данные, полученные в ряде предыдущих исследований, выявивших быстрые изменения нейрональной динамики при усвоении семантики новых словоформ в ходе образования ассоциаций «слово — объект», а также в ситуации контекстного научения (например, Breitenstein et al., 2005; Mestres-Missé et al., 2007). Тем не менее, насколько нам известно, данные, полученные в настоящем исследовании, являются первым электрофизиологическим доказательством существования FM как механизма сверхбыстрого усвоения новых языковых единиц (посредством контекстно-зависимой дедукции и на основе метода исключения), активирующегося в ситуациях однократного предъявления стимула. Важно отметить, что большинство предыдущих исследований основывались исключительно на результатах поведенческих или медленных гемодинамических измерений, в то время как настоящее ис-

следование было реализовано с помощью нейрофизиологических индексов, что позволило осуществить онлайн-регистрацию быстрых изменений нейронального ответа, наблюдающихся при усвоении новых словоформ. При этом зарегистрированное увеличение амплитуды ВП, вероятнее всего, может быть обусловлено автоматической активацией новых следов памяти — нейрональных контуров, быстро формирующихся в процессе однократного ассоциативного научения (Pulvermüller et al., 2001; Alexandrov et al., 2011).

Зарегистрированная нейрональная динамика несколько отличается от результатов, полученных в более ранних исследованиях. Так, необходимо отметить, что в традиционном временном окне N400 не было выявлено значимого влияния фактора Сессия. Возможное объяснение этому состоит в том, что в классических парадигмах эффект N400 отражает интеграцию отдельных слов в более широкий контекст (например, контекст предложений), в то время как в настоящей работе были использованы отдельные словоформы, предъявляемые вне каких-либо фраз, в связи с чем лексико-семантическая активация наблюдалась в более раннем временном интервале, но не в типичном диапазоне N400. Относительно полярности можно отметить, что, по крайней мере, в одном из предыдущих исследований сообщалось об усилении фронтальной позитивности во время пассивных сеансов быстрого научения новой лексике родного языка (Shtyrov, 2011), что было обнаружено и в нашей работе, несмотря на то, что мы использовали принципиально иную парадигму научения с другим набором стимулов.

Топографический анализ распределения амплитуд ВП показал левостороннее усиление активности в ответ на предъявление новых словоформ, использовавшихся в задаче научения. Кроме того, анализ с использованием метода LORETA подтвердил наличие источников электрической активности в левой височной и нижне-фронтальной кортикальных областях, что может свидетельствовать о вовлечении в этот процесс перисильвиевой нейронной сети, специализирующейся на обработке родного языка. Таким образом, можно предположить, что во взрослом мозге механизм FM может опосредовать быструю неокортикальную пластичность за счет вовлечения уже

существующих языковых нейронных сетей в процесс усвоения новых словоформ с родной фонологией (Shtyrov, 2011; Kimppa et al., 2015; Partanen et al., 2017). Важно отметить, что к результатам анализа источников электрической активности следует относиться с определенной осторожностью, поскольку для увеличения соотношения сигнал/шум (к которому алгоритмы анализа источников очень чувствительны) в LORETA-оценках были использованы усредненные данные, в связи с чем было невозможно провести статистическую проверку результатов. Детальный анализ источников активности может быть предметом последующих исследований с использованием регистрации ЭЭГ в комбинации с построением кортикальных моделей на основе МРТ-данных. Также в одном из фМРТ-исследований было высказано предположение, что передняя височная доля является основным нейроанатомическим «узлом», отвечающим за работу механизма FM (см. Merhav et al., 2015), тогда как полученные нами с помощью метода LORETA результаты предполагают наличие активации в задней и верхней областях височной доли. Такое расхождение, однако, не может быть разрешено на основании текущих результатов, поскольку, с одной стороны, известно, что однозначная локализация активности в височном полюсе затруднена в случае использования как фМРТ, так и ЭЭГ; с другой стороны, к существующим результатам реконструкции источника следует относиться как к предварительным, поскольку они основаны на данных с низким разрешением и представляют собой усредненную картину, которую невозможно проверить статистически. Однако, несмотря на имеющиеся ограничения, можно заключить, что левополушарное височно-фронтальное распределение источников активности, обнаруженное в нашей работе, достаточно хорошо согласуется с существующими в настоящее время знаниями о кортикальных представительствах языка и системах научения в мозге человека и дополняет имеющиеся на данный момент представления о нейрональных основах механизма FM.

В целом результаты данного исследования позволяют сделать вывод о том, что зарегистрированная быстрая нейронная динамика, отражающая формирование репрезентаций новых словоформ родного языка во взрослом мозге,

опосредована механизмом FM, который способствует быстрой интеграции только что выученных элементов в неокортикальные лексико-семантические сети. При этом быстрые пластические изменения наблюдаются в предсуществующих нейронных сетях, вовлеченных в обработку родного языка. Необходимо проведение дальнейших исследований для установления взаимосвязи нейрофизиологических индексов с поведенческими показателями усвоения новых словоформ во взрослом возрасте.

## **Методы и организация Эксперимента 2**

Второе выполненное нами экспериментальное исследование было направлено на изучение нейрофизиологических коррелятов процесса быстрого усвоения новых словоформ родного языка у детей дошкольного возраста. В рамках его реализации парадигма ассоциативного семантического научения, использовавшаяся ранее на взрослых испытуемых, была адаптирована для применения на детской выборке.

Процедура научения в парадигме FM должна была эффективно моделировать процесс усвоения ребенком-дошкольником новых слов в естественной коммуникативной среде. С этой целью в процедуру обучающей сессии были добавлены следующие условия: а) процедура научения начиналась с обязательной ознакомительной сессии, в течение которой ребенку подробно разъясняли условия задания; б) весь процесс научения проходил в интерактивном режиме, в ситуации игрового взаимодействия ребенка и взрослого; в) задача научения представляла собой познавательную игру, которая за счет использования элементов наглядности и вербального и невербального подкрепления со стороны взрослого (экспериментатора) позволяла поддерживать интерес ребенка к выполнению задания; г) формирование ассоциаций «новое слово — новый объект» происходило в контексте предъявления хорошо распознаваемых, привлекательных и знакомых для маленького ребенка объектов; д) в ходе задачи научения использовали короткий сбалансированный набор слов и псевдослов, предъявляемых однократно; е) все экспериментальные процедуры проводились в присутствии родителя ребенка.

Таким образом, настоящее исследование преследовало две основные цели:

- 1) модификация парадигмы ассоциативного семантического научения, использовавшейся на выборке взрослых участников, для исследования процесса сверхбыстрого овладения новыми словоформами родного языка у детей дошкольного возраста;
- 2) изучение нейрофизиологических коррелятов механизма FM в развивающемся мозге посредством анализа динамики нейронального ответа на новые словоформы родного языка в ситуации ассоциативного семантического научения у детей дошкольного возраста и оценки корковых источников, обуславливающих зарегистрированные особенности динамики нейронального ответа.

Мы предположили, что быстрое формирование репрезентаций новых словоформ в развивающемся мозге посредством механизма FM будет отражаться в изменении динамики нейронального ответа после однократного взаимодействия с новым элементом языка в ходе научения.

### ***Методы и процедура исследования***

Исследование проводилось на базе лаборатории поведенческой нейродинамики Санкт-Петербургского государственного университета. Все процедуры и протоколы исследования были одобрены Этическим комитетом СПбГУ. Перед началом исследования подписывали информированное согласие на участие. Все экспериментальные процедуры проводились в обязательном присутствии родителя ребенка. Участие в исследовании не оплачивалось, однако по его окончании дети получали в качестве вознаграждения развивающую книгу и набор для творчества, а родителям предоставлялась экспертная обратная связь от экспериментаторов.

Перед началом исследования ребенку и родителю предоставлялось некоторое время, чтобы адаптироваться к лабораторному пространству, познакомиться с оборудованием и всеми этапами эксперимента. Для этого в пространстве лаборатории был организован детский уголок, создающий знакомую игровую

среду и позволяющий ребенку более успешно адаптироваться к условиям проведения эксперимента (Рис. 21).

Все этапы эксперимента проводились в специальной экранированной камере (Нейроиконика, Санкт-Петербург, Россия). Во время эксперимента ребенок располагался в комфортном кресле на расстоянии 1 м от экрана монитора, а сопровождающий взрослый — на стуле рядом с ребенком. В ходе проведения эксперимента один из экспериментаторов находился внутри камеры рядом с ребенком и родителем, чтобы осуществлять все экспериментальные процедуры, а также следить за уровнем физического и психоэмоционального комфорта ребенка. Второй экспериментатор располагался



**Рисунок 21.** Детский уголок в пространстве лаборатории

ся за пределами камеры и осуществлял контроль за ходом проведения эксперимента и оборудованием (Рис. 22). По необходимости между сессиями эксперимента были предусмотрены небольшие перерывы. Родители были предварительно проинструктированы о том, что во время выполнения заданий они не должны подсказывать ребенку или оказывать ему какую-либо помощь в их решении. В ходе эксперимента проводилась видеорегистрация всех процедур при помощи веб-камеры Logitech HDC525 (Logitech International S.A., Лозанна, Швейцария).

### ***Выборка***

Детскую группу составили 20 детей (12 — девочки; 5–7 лет; средний возраст — 5,8,  $SD = 0,8$ ). Все участники были праворукими (среди ближайших родственников участников не было левшей, а также переученных левшей и/или амбидекстров) монолингвами, носителями русского языка. Все дети обладали нормальным или скорректированным до нормального зрением и слухом, у них отсутствовали речевые расстройства, неврологические заболевания и/или травмы головного мозга. Все участники данной группы посещали дошкольные образовательные учреждения (ДОУ) г. Санкт-Петербурга. Данные о психосоматическом и неврологическом статусе детей были получены из медицинских карт, предоставленных медицинским персоналом ДОУ. В ходе исследования родитель каждого ребенка заполнял специальный опросник, содержащий вопросы о социально-экономическом статусе семьи и языковом статусе ребенка (составе семьи, образовании родителей, уровне владения иностранными языками, языковом окружении ребенка в семье и т. п.).

### ***Стимульный материал***

В качестве акустических стимулов использовались двусложные четырехбуквенные слова и псевдослова (согласный — гласный — согласный — гласный, СГСГ), составленные в соответствии с фонетическими правилами русского языка. Стимулы были записаны профессиональным дикто-



**Рисунок 22.** Расположение оборудования и участников во время проведения исследования в детской группе

ром женского пола — монолингвом, носителем русского языка. Запись проводилась в специальной звукоизолированной камере с использованием профессионального оборудования: микрофона Brüel & Kjær (Brüel & Kjær Sound and Vibration Measurement A/S, Нурум, Дания) и программного обеспечения Adobe Audition 3.0 (Adobe Inc., Сан-Хосе, Калифорния, США). Были записаны начальные слоги, например, такие, как [pe] и [va], и конечные слоги, например, [па] и [та]. Все слоги были нормализованы по среднеквадратичной мощности, частоте основного тона и длительности. Длительность первого слога составляла 280 мс, длительность второго — 176 мс, общая длительность каждого стимула составила 535 мс. Стимулы были составлены путем рекомбинации первых и вторых слогов. Так, например, были получены слова *pena*, *vata* и псевдослова *meta*, *vapa* и т. д. Для редактирования стимулов использовались программы Adobe Audition 2.0 (Adobe Inc., Сан-Хосе, Калифорния, США) и Praat v.6.0.43 (Boersma, van Heuven, 2009).

Распознавание знакомых и новых словоформ происходило в момент предъявления второго слога, поэтому точкой распознавания (дивергенции) стимула служило начало второго слога — 359 мс от начала предъявления. Согласно литературным данным, под точкой распознавания речевого стимула понимают тот момент на временной шкале, когда стимул начинает отличаться от своих лексических конкурентов (Marslen-Wilson, 1987). С учетом задач настоящего исследования точка дивергенции стимула была важна для регистрации связанных со временем вызванных потенциалов мозга. Анализ компонентов ВП мы проводили от точки распознавания стимула (см. раздел *Результаты Эксперимента 2*). Всего было использовано 8 словоформ: 4 слова и 4 псевдослова. Акустические стимулы подавались бинаурально через наушники AKG K240 MKII (AKG Acoustics GmbH, Вена, Австрия) с полосой пропускания 15–25000 Гц. Интенсивность стимулов составляла 65 дБ над порогом слышимости. Оценка естественности звучания итоговых стимулов проводилась при участии шести взрослых носителей русского языка.

Визуальные стимулы представляли собой черно-белые изображения знакомых и незнакомых объектов. Изобра-

жения незнакомых объектов были созданы на основе фотографий редких технических и музыкальных инструментов. Стимулы выравнивались по положению на экране, яркости и контрасту с помощью программы Photoshop v.9.0 (Adobe Inc., Сан-Хосе, Калифорния, США) и набора инструментов SHINE (Willenbockel et al., 2010), реализованного в программной среде Matlab v.9.2.0 (MathWorks Inc., Нейтик, Массачусетс, США). Все изображения знакомых и незнакомых объектов перед началом исследования прошли процедуру экспертной оценки во взрослой и детской аудитории (было привлечено 10 семейных пар с детьми дошкольного возраста, не принимавших участия в основном исследовании). Все участники тестирования верно опознали изображения знакомых объектов, а изображения незнакомых объектов были в 100% случаев классифицированы как неизвестные. Оценка проводилась с использованием онлайн-сервиса Google Forms (Google Inc., Маунтин-Вью, Калифорния, США). Примеры знакомого и незнакомого объектов из обучающей сессии представлены в Таблице 6.

*Таблица 6.* Примеры изображений знакомых и незнакомых объектов из обучающей сессии

Тип стимула	Пример изображения объекта
<p data-bbox="183 1019 373 1101">Знакомые слова репа вата</p>	
<p data-bbox="170 1247 386 1328">Незнакомые слова рета вапа</p>	

## **Экспериментальная парадигма для исследования процесса научения**

Протокол экспериментального исследования включал в себя тренировочную, обучающую и пассивную сессии. Тренировочная сессия преследовала цель познакомить ребенка с процедурой исследования, а также адаптировать его к условиям проведения эксперимента. Эта сессия состояла из шести проб, в которых использовались только пары «знакомое слово — знакомый объект»; акустические и визуальные стимулы из тренировочной сессии не использовались в дальнейшем эксперименте.

Обучающая FM-сессия проводилась в модифицированной парадигме ассоциативного научения (Vasilyeva et al., 2019a). Данная парадигма моделирует процесс быстрого усвоения значения нового слова ребенком в естественной среде и предполагает, что в условиях экспериментально созданной неопределенности установление значения незнакомого слова осуществляется с помощью метода исключения и операции логического вывода, в результате чего происходит формирование новой аудиовизуальной ассоциативной пары «новое слово — новый объект». Таким образом, для выполнения данной задачи ребенку было необходимо идентифицировать один незнакомый объект, соответствующий незнакомому слову (которое предъявлялось аудиально через наушники), среди нескольких изображений знакомых объектов (которые предъявлялись одновременно на экране монитора). Выведение значения нового слова было возможным только путем исключения других, знакомых, объектов. Пример пробы из обучающей сессии представлен на Рис. 23.

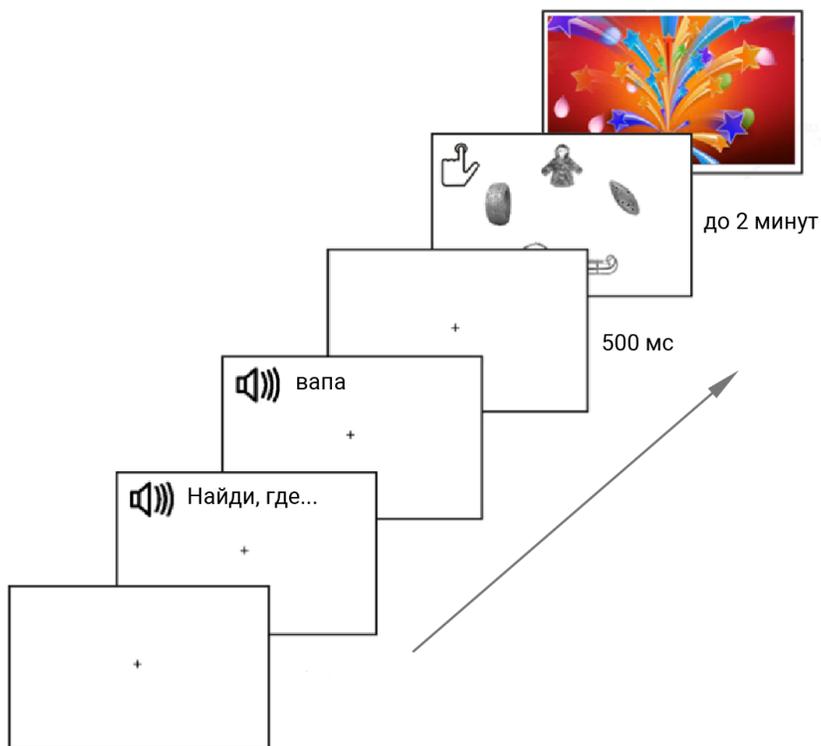
Каждая проба начиналась с появления на экране монитора фиксационного креста. Далее ребенок слышал вопрос диктора, подававшийся бинаурально через наушники. Вопрос содержал просьбу найти изображение знакомого или незнакомого объекта, соответствующего знакомому или незнакомому слову, например: «Найди, где *рета*?». Далее после небольшой задержки (~500 мс) на экране монитора появлялись изображения пяти объектов, расположенных по кругу. В случае тестовой пробы с псевдословом это были



**Рисунок 23.** Пример тестовой пробы из обучающей сессии. Зеленым цветом выделен незнакомый объект

четыре знакомых и один незнакомый объект. После этого, если ребенок нашел объект, о котором его спрашивал диктор, ему необходимо было нажать на клавишу на специальной панели для ответов. Далее экспериментатор просил ребенка указать рукой на объект на экране монитора, что было необходимо для контроля правильности выполнения задания. В случае правильного выполнения пробы ребенку давалось иконическое (изображение яркого салюта на экране монитора) и вербальное (похвала от экспериментатора) подкрепление. При неверном выполнении задания подкрепление не давалось, и обучающая сессия продолжалась в соответствии с протоколом. Последовательность предъявления стимулов в обучающей пробе представлена на Рис. 24.

Обучающая сессия включала в себя шесть проб: две дополнительные ознакомительные пробы (аудиовизуальные пары «знакомое слово — знакомый объект»), которые не учитывались в дальнейшем анализе, и четыре тестовые пробы. Тесто-



**Рисунок 24.** Последовательность предъявления стимулов в обучающей пробе

вые пробы включали две аудиовизуальные пары «знакомое слово — знакомый объект» и две аудиовизуальные пары «незнакомое слово — незнакомый объект». Каждая тестовая проба в ходе научения предъявлялась однократно. Все пробы в обучающей сессии предъявлялись в псевдослучайном порядке и были контрбалансированы среди участников исследования.

Подача стимулов и фиксация поведенческих ответов участников осуществлялись при помощи программы NBS Presentation v.20.0 (Neurobehavioral Systems, Беркли, Калифорния, США) и специального пульта RB-740 (Cedrus Corp., Сан-Педро, Калифорния, США). Для подтверждения правильности выбора осуществлялась запись поведения участников

на веб-камеру Logitech HDC525 (Logitech International S. A., Лозанна, Швейцария).

### ***Регистрация ЭЭГ во время пассивного прослушивания словоформ***

В ходе пассивной сессии проводилась регистрация ЭЭГ в условиях пассивного прослушивания акустических стимулов. В качестве стимулов предъявлялись слова и псевдослова, использовавшиеся в FM-сессии, и контрольные стимулы (слова и псевдослова, не использовавшиеся в FM-сессии). Всего предъявлялось 400 стимулов: по 50 повторений стимулов каждого типа — таким образом, что половина стимулов заканчивалась слогом [па], а половина — слогом [та]. Асинхронность начала стимула составляла порядка 1000 мс, она случайным образом изменялась в диапазоне 1000–1100 мс с шагом в 10 мс. Порядок предъявления стимулов был контрбалансирован между участниками эксперимента.

В начале пассивной сессии проводили запись фоновой ЭЭГ в состояниях «глаза закрыты» и «глаза открыты». В течение пассивной сессии ребенок и сопровождающий взрослый располагались в экспериментальной камере в комфортном кресле на расстоянии около 1 м от экрана монитора. С целью отвлечения внимания от акустических стимулов в ходе пассивной сессии ребенку демонстрировались видеоролики (без звука)<sup>8</sup>. Кроме того, ребенок был предварительно проинструктирован не обращать внимания на предъявляемые акустические стимулы.

Для регистрации ЭЭГ использовался многоканальный энцефалограф actiCHamp (Brain Products GmbH, Гильхинг, Германия) с частотой пропускания 0,01–1000 Гц и частотой дискретизации 1000 Гц, совместно с программным обеспечением Brain Vision Recorder v.1.09 (Brain Products GmbH, Гильхинг, Германия). Регистрацию биопотенциалов проводили с помощью 64-х активных хлорсеребряных электродов со встроенными предусилителями и светодиодной индика-

---

<sup>8</sup> Видеозаписи были аналогичны использованным в *Эксперименте 1*.

цией сопротивления. Для крепления электродов на голове участника использовался специальный эластичный ЭЭГ-шлем (EASYCAP GmbH, Вёртзее-Эттершлаг, Германия), а для создания контакта электрода с кожей головы — токопроводящий гель SuperVisc (EASYCAP GmbH, Хершинг-ам-Аммерзе, Германия). Сопротивление электродов не превышало 25 кОм. Референтный электрод находился в точке FCz, заземляющий электрод — на лбу. Для отслеживания артефактов, связанных с движениями глаз, регистрировалась электроокулограмма (ЭОГ) с помощью электрода, прикрепленного ниже наружного края правого глаза.

### *Анализ и статистическая обработка ЭЭГ-данных*

Обработка ЭЭГ-данных проводилась с помощью программного обеспечения BrainVision Analyzer v.2.0 (Brain Products GmbH, Гильхинг, Германия). Предобработка ЭЭГ-данных осуществлялась в следующем порядке: снижение частоты дискретизации (250 Гц); использование общего среднего референта; фильтрация (полоса 0,5–50 Гц, режекторный фильтр 50 Гц). Участки записи с амплитудами, превышающими 100 мкВ, и сильно зашумленные каналы (не более 3–4 каналов у каждого участника) удаляли из анализа. На последующих этапах обработки удаленные каналы интерполировались методом сферической интерполяции. Коррекция артефактов, связанных с движениями глаз, проводилась при помощи метода независимых компонент. Далее ЭЭГ-запись сегментировалась на эпохи по 1100 мс в соответствии с типом стимула. Участок записи от предстимульного интервала (100 мс) до точки распознавания стимула (359 мс) использовался для коррекции изолинии. Далее вычислялись усредненные индивидуальные и групповые ВП по каждому типу стимула (четырем словам и четырем псевдословам). С целью преодоления низкого соотношения сигнал/шум, связанного с небольшим количеством усреднений, в каждой группе ВП, возникавшие в ответ на предъявление стимулов, заканчивающихся на слоги [та] и [па], были усреднены. В детской группе анализ амплитуды ВП проводился в трех кластерах: левом фронтально-центральной (AF3, F5, F3, FC5, FC3), медиальном фронт-

то-центральной (AFz, F1, Fz, F2, FC1, FCz, FC2) и правом фронто-центральной (AF4, F4, F6, FC4, FC6).

На основании анализа мощности глобального поля (global field power, GFP) были идентифицированы три пика с латентностями 442, 506 и 670 мс от начала предъявления стимула. Далее для статистического анализа значения амплитуд ВП усреднялись на временном окне 20 мс на интервале 301–321 мс от точки распознавания стимула (см. раздел *Стимульный материал*). Затем соответствующие значения амплитуд экспортировались в текстовые файлы — и далее программу MS Excel (Microsoft Office, Microsoft Corp., Редмонд, Вашингтон, США) для последующего статистического анализа.

Статистический анализ данных проводился в пакетах программ Statistica v.8 (StatSoft Inc., Талса, Оклахома, США) и IBM SPSS v.23.0 (IBM Inc., Армонк, Нью-Йорк, США), а также в программной среде RStudio v.1.2.1335, 2009–2019 (RStudio Team, Бостон, Массачусетс, США; URL: <http://rstudio.com>) в пакетах “dplyr” и “ggplot”. Для анализа ВП использовался двухфакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями (rmANOVA) с факторами: Тип стимула (два уровня: псевдослово/слово) и Научение (два уровня: с научением/без научения). RmANOVA проводился отдельно для каждого из трех кластеров электродов (медиального, правого и левого фронто-центральных). Анализ средних значений проводился при помощи апостериорного анализа (*post hoc*) с применением метода группирования выборок с наименее значимой разницей (LSD). В соответствии с требованием сферичности применялась поправка Гринхауса — Гейссера.

Анализ источников нейрональной активации проводился с использованием алгоритма sLORETA (Pascual-Marqui, 2002) в программном обеспечении Brainstorm (Tadel et al., 2011). Для этого усредненные изображения МРТ, соответствующие возрасту участников (5–7 лет; Neurodevelopmental MRI Database (Richards et al., 2016)), были сегментированы с использованием пакета Brainsuite и атласа мозга VCI-DNI (Joshi et al., 2020).

Основываясь на результатах исследований, посвященных изучению нейроанатомических основ речевых функций (Никок, Роеппел, 2007), для дальнейшего анализа в качестве областей интереса были определены височная доля, височ-

ный полюс, нижняя лобная и супрамаргинальная области. Для выбранных областей интереса средние плотности тока были извлечены из временных окон, в которых статистически значимая разница была обнаружена при анализе ВП.

Для оценки различий между типами стимулов и условиями научения при статистическом анализе источников электрической активности использовался многофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями (rmANOVA) с факторами Научение (два уровня: с научением/без научения), Тип стимула (два уровня: слово/псевдослово), Полушарие (два уровня: левое/правое) и Область интереса (четыре уровня: височная доля/височный полюс/нижняя лобная область/супрамаргинальная область). При необходимости в соответствии с требованием сферичности применялась поправка Гринхауса — Гейссера. Анализ средних значений проводился при помощи апостериорного анализа (*post hoc*) с поправкой Шидака.

Нулевая гипотеза отвергалась при достижении уровня значимости в 5% (значение  $p \leq 0,05$ ). Кроме того, учитывая небольшой объем нашей выборки, при анализе данных также учитывались статистические результаты с уровнями значимости в пределах 5–10% ( $0,05 \leq p \leq 0,1$ ), которые рассматривались как тенденции к различию.

## Результаты Эксперимента 2

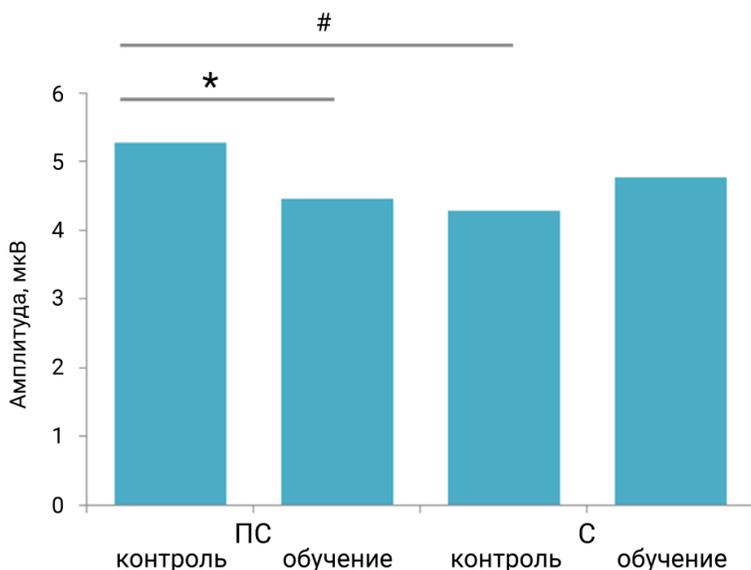
В начале подробного изложения результатов исследования необходимо отметить, что настоящая работа была направлена на изучение процессов быстрого усвоения значения нового слова с использованием специально разработанной аудиовизуальной парадигмы ассоциативного научения, основным элементом которой было образование ассоциативных пар «слово — объект». Таким образом, присваивание в ходе задачи научения каждой аудиально предъявляемой словоформе семантического референта, т. е. конкретного изображения объекта, позволяло участникам эффективно выводить значение нового слова из уже знакомого семантического контекста даже после однократного предъявления новых языковых единиц. Иными словами, можно сказать, что в ходе короткой сессии ассоциативного научения посредством семантического

референта осуществлялся процесс семантизации новых словоформ. В связи с этим мы предполагали, что результат такого кратковременного семантического научения отразится на параметрах одного из лингвистических компонентов ВП, связанных с процессами лексико-семантической обработки, а именно компонента N400. Поэтому для статистического анализа использовался временной интервал 301–321 мс от точки распознавания стимула, соответствующий латентности компонента N400, согласно имеющимся литературным данным и в соответствии с пространственно-временной топографией компонентов ВП (Steinhauer, Connolly, 2008; Карпенман, Луск, 2012). Таким образом, важно подчеркнуть, что в задаче настоящего исследования не входил анализ ранних компонентов ВП (хотя они были выявлены на основании анализа GFP-волны и составили 53–73 и 137–157 мс от точки распознавания стимула, см. раздел *Анализ и статистическая обработка ЭЭГ-данных*). Подробный анализ ранних компонентов ВП был проведен в целой серии предыдущих исследований с использованием парадигм пассивного перцептивного научения, которые показали, что изменения амплитуд ранних компонентов ВП свидетельствуют об успешной лексикализации новых словоформ (псевдослов) и о быстром формировании следов памяти только что выученных языковых единиц (Shtyrov et al., 2010; Shtyrov, 2011; MacGregor et al., 2012; Kimppa et al., 2015; Partanen et al., 2017).

### *Анализ вызванных потенциалов*

RmANOVA для медиального фронто-центрального кластера не выявил главных эффектов для факторов Научение ( $F(1, 19) = 1,05, p = 0,32$ ) и Тип стимула ( $F(1, 19) = 0,23, p = 0,54$ ), однако продемонстрировал наличие статистически значимого взаимодействия указанных факторов:  $F(1, 19) = 5,13, p = 0,04$ . Результаты *post hoc* сравнений показали, что значение амплитуды компонента N400, возникающего в ответ на предъявление только что выученного слова, значимо меньше ( $p = 0,02$ ) значения амплитуды этого компонента, возникающего в ответ на предъявление контрольного стимула, не использовавшегося при научении. При этом амплиту-

да компонента N400, возникающего в ответ на предъявление только что выученного слова, значительно не отличалась от амплитуды компонента N400, возникающего в ответ на контрольные слова — как использовавшиеся, так и не использовавшиеся в обучающей сессии. Амплитуда компонента N400 в ответ на предъявление контрольного псевдослова была на уровне статистической тенденции больше амплитуды компонента N400 в ответ на предъявление контрольных слов, не использовавшихся в обучающей сессии ( $p = 0,06$ ). Не было обнаружено статистически значимых различий между амплитудами ответов на слова, использовавшиеся в обучающей сессии, и контрольными стимулами. На Рис. 25



**Рисунок 25.** Усредненные значения амплитуды компонента N400, возникающего в ответ на предъявление словоформ, использовавшихся при научении, и контрольных словоформ, для медиального фронто-центрального кластера на временном интервале 301–321 мс в детской группе. Условные обозначения: по оси ординат — амплитуда, мкВ; ПС — псевдослово; С — слово; \*уровень значимости  $p \leq 0,05$ ; #уровень значимости  $0,05 \leq p \leq 0,1$

представлены усредненные амплитуды компонента N400, возникающего в ответ на предъявление словоформ, использовавшихся при научении, и контрольных словоформ, для медиального фронто-центрального кластера на временном интервале 301–321 мс.

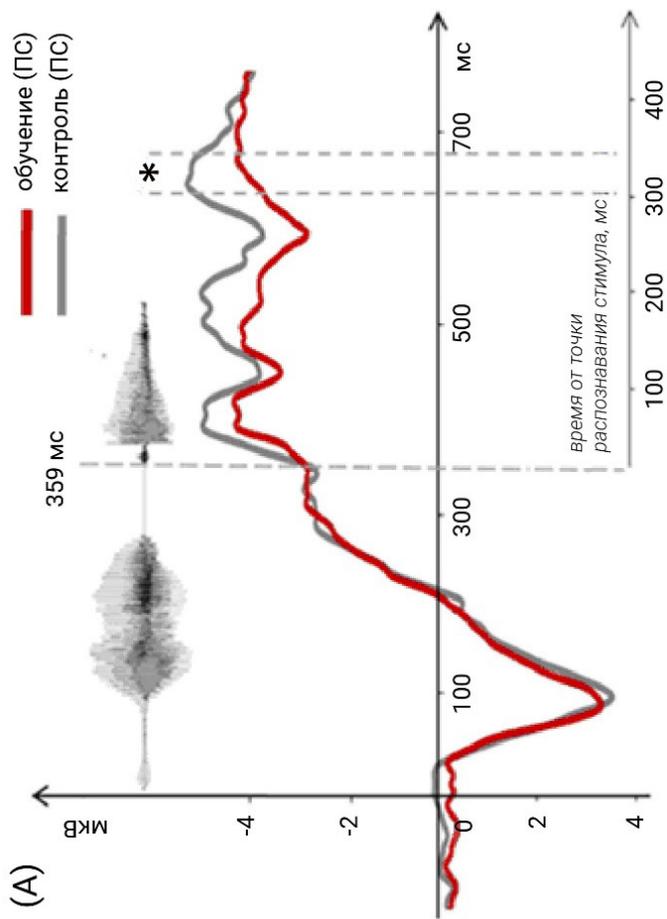
На Рис. 26 представлены среднегрупповые ВП для медиального фронто-центрального кластера, зарегистрированные в ответ на предъявление словоформ, использовавшихся при научении, и контрольных словоформ.

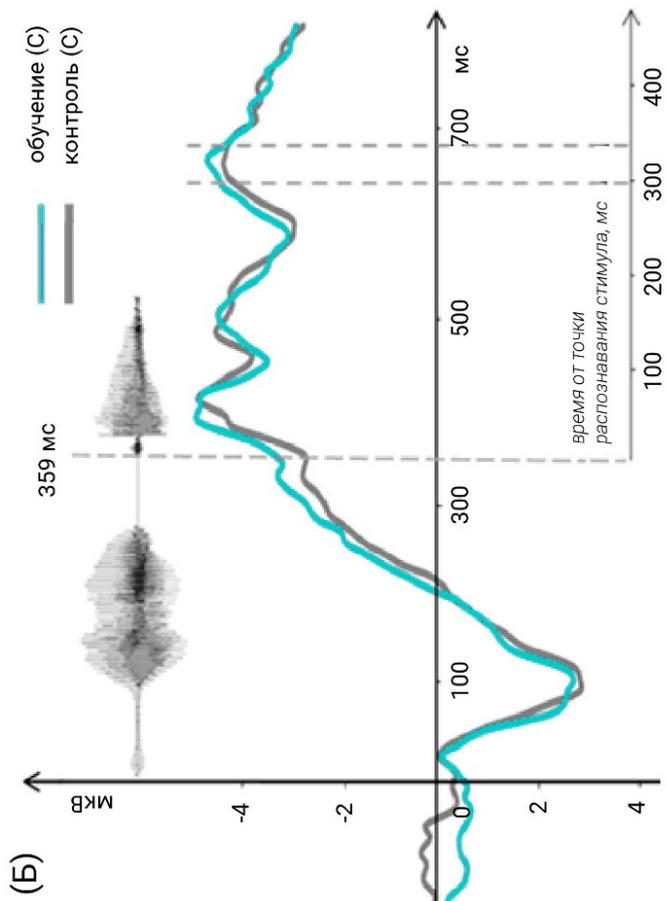
RmANOVA для правого фронто-центрального кластера не выявил главных эффектов для факторов Научение и Тип стимула, но продемонстрировал тенденцию к статистически значимому взаимодействию указанных факторов ( $F(1, 19) = 3,77, p = 0,07$ ). Дальнейшие *post hoc* сравнения (с применением поправки Бонферрони) не выявили каких-либо статистически значимых различий в амплитудах компонента N400, возникающего в ответ на предъявление словоформ, использовавшихся при научении, и контрольных словоформ.

RmANOVA для левого фронто-центрального кластера не выявил главных эффектов для факторов Научение и Тип стимула и продемонстрировал отсутствие статистически значимого взаимодействия указанных факторов.

### ***Анализ источников электрической активности (sLORETA)***

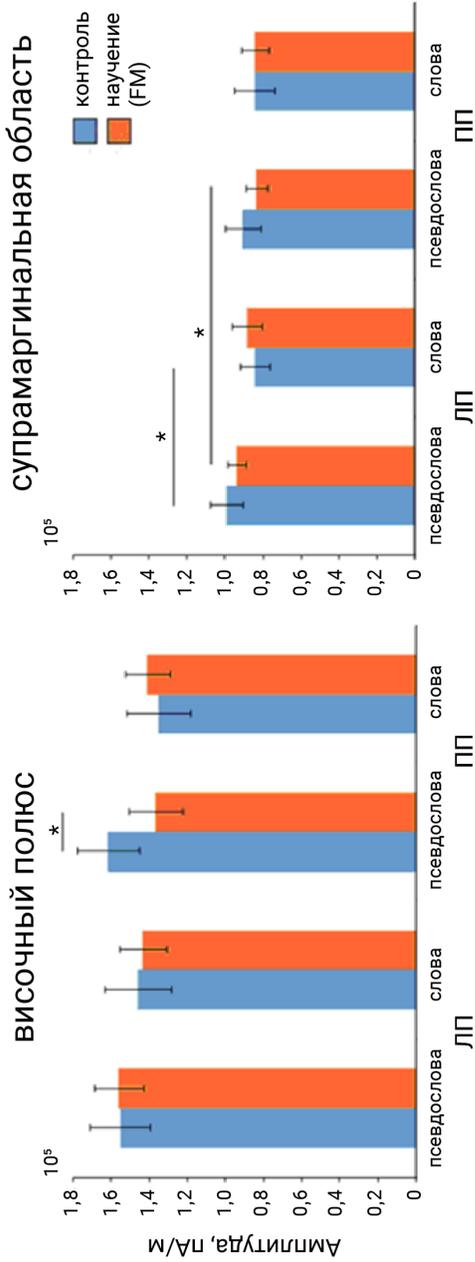
Результаты анализа источников электрической активности выявили тенденцию к статистически значимому взаимодействию факторов Научение, Тип стимула, Полушарие и Область интереса ( $F(57, 3) = 2,89, p = 0,08$ ). *Post hoc* сравнения показали значимое увеличение активации в правом височном полюсе в ответ на контрольные псевдослова по сравнению с псевдословами, использовавшимися в задаче научения ( $p = 0,01$ ). Также было обнаружено, что контрольные псевдослова вызывают более интенсивную активацию в левой супрамаргинальной извилине по сравнению с контрольными словами ( $p < 0,01$ ). Кроме того, значимое увеличение активации в левой супрамаргинальной извилине было выявлено в ответ на псевдослова, использовавшиеся в задаче научения ( $p = 0,04$ ). На Рис. 27





**Рисунок 26.** Среднегрупповые ВП, возникающие в ответ на предъявление псевдослов (А) и слов (Б), использованных в обучающей сессии, и контрольных словформ, для медиального фронто-центрального кластера в детской группе. Условные обозначения: по оси абсцисс — время, мс; по оси ординат — амплитуда, мкВ; 359 мс — точка дивергенции стимула; вертикальными серыми пунктирными линиями отмечен интервал анализа; ПС — псевдослово; С — слово; \*уровень значимости  $p \leq 0,05$ .

На данном рисунке фильтр 0,1–30 Гц использован исключительно в иллюстративных целях



**Рисунок 27.** Амплитуды плотности тока для источников электрической активности в речевых зонах левого полушария и их правополушарных гомологах. Условные обозначения: по оси ординат — амплитуда, пА/м; ЛП — левое полушарие; ПП — правое полушарие; \*уровень значимости  $p \leq 0,05$

представлены абсолютные значения амплитуд плотности тока для источников электрической активности в речевых зонах левого полушария и их правополушарных гомологах.

## Обсуждение результатов Эксперимента 2

Результаты анализа нейрональной динамики выявили значимый эффект научения: уменьшение фронто-центральной негативности (сопровождается небольшим правополушарным сдвигом) при предъявлении только что выученных слов на временном интервале ~300–320 мс после точки распознавания стимула по сравнению с контрольными псевдословами. При этом амплитуда ВП, возникающих в ответ на предъявление новых слов, использовавшихся в задаче быстрого семантического научения, на указанном интервале значимо не отличалась от амплитуды ВП, соответствующих знакомым словам. Таким образом, в развивающемся мозге однократная задача семантического научения находит отражение в значимом «эффекте N400», зарегистрированном как уменьшение активации для только что выученных языковых единиц. Это свидетельствует о быстром формировании новых следов памяти, которые аналогичны уже существующим вербальным репрезентациям. Таким образом, можно заключить, что развивающийся мозг оказывается способен построить поддающуюся измерению и фиксации нейрональную репрезентацию практически моментально — после однократного предъявления новой языковой единицы.

Анализ источников электрической активности (sLORETA) подтвердил снижение активации правого височного полюса для только что выученных слов по сравнению с контрольными псевдословами и выявил левополушарное усиление активации в области супрамаргинальной извилины для обоих типов новых словоформ — как использовавшихся, так и не использовавшихся в задаче научения. Можно предположить, что это связано со сложным характером лексико-семантической обработки новых словоформ развивающимся мозгом.

Полученные результаты в целом согласуются с рядом предыдущих исследований, согласно которым топографическое распределение компонента N400 в раннем возрасте характеризуется как значительно более широкое, чем у взрослых

(Holcomb et al., 1992; Friederici, 2006). Учитывая приведенные выше результаты ЭЭГ-исследований и работ по анализу источников нейрональной активации с помощью нейровизуализационных измерений, можно допустить, что в процессе лексико-семантической обработки в развивающемся мозге частично задействованы те же области, что и во взрослом, но при этом существенным отличием является активация более широких нейронных контуров. Так, согласно результатам предыдущих исследований, это преимущественно височные и лобные области обоих полушарий: левая и правая височные извилины (поле Бродмана 22), левая и правая нижние лобные извилины (поля Бродмана 45/47), а также левая средняя височная извилина (поле Бродмана 21). При этом в развивающемся мозге процесс лексико-семантической интеграции новых элементов происходит более медленными темпами (Holcomb et al., 1992; Friedrich, Friederici, 2005; 2008; 2011; Chou et al., 2006; Friederici, 2006).

Результаты настоящего исследования позволяют сделать следующие обобщения. Прежде всего, в настоящей работе впервые были выявлены нейрональные корреляты научения новым словам с одного предъявления у детей дошкольного возраста: значимое уменьшение амплитуды компонента N400 в ответ на предъявление только что выученных языковых единиц. Кроме того, эти результаты подтвердили существование эффективного процесса формирования в развивающемся мозге репрезентаций новых словоформ в присутствии семантического референта. Наконец, результаты исследования позволяют заключить, что в развивающемся мозге существует быстрый и высокопластичный механизм формирования следов памяти, соответствующих новой лингвистической информации, который срабатывает мгновенно и задействует обширные нейрональные корковые сети. Дальнейшее изучение механизма быстрого научения в развивающемся мозге может стать одним из ключей к пониманию нейробиологических закономерностей мозговой организации речевой функции человека.

## **Заключение**

Настоящее исследование было направлено на изучение нейрональных коррелятов механизма ГМ в развивающемся

и взрослом мозге в ситуации однократного ассоциативного семантического научения. Результаты свидетельствуют о значимом изменении нейрональной активации в ответ на предъявление только что выученной словоформы как в детской, так и во взрослой экспериментальных группах. Важно подчеркнуть, что, несмотря на определенные различия в характеристиках стимулов, максимальные изменения, выявленные в обеих группах, были зарегистрированы в классическом временном диапазоне N400 (301–321 мс после начала второго слога у детей и 200–400 мс после начала предъявления словоформы у взрослых), т. е. практически сразу после того, как словоформа распознавалась участниками. При этом в обеих группах не было обнаружено аналогичных изменений в активации ни в случае предъявления знакомого слова родного языка, использовавшегося в задаче научения, ни в случае предъявления контрольного псевдослова, использовавшегося в пассивной сессии, что позволяет интерпретировать значимое изменение нейрональной активации в ответ на предъявление новых языковых единиц как следствие процедуры научения в парадигме FM. Таким образом, результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что однократное предъявление новой языковой единицы в задаче ассоциативного семантического научения может найти мгновенное отражение в параметрах эффекта N400, что свидетельствует о быстром формировании репрезентаций новых словоформ с родной фонологией как во взрослом, так и в развивающемся мозге. Согласно существующим представлениям, именно механизм FM опосредует быстрые нейропластические изменения в неокортексе, обеспечивающие интеграцию новых словоформ с родной фонологией в неокортикальные лексико-семантические сети, вовлеченные в обработку родного языка в развивающемся и взрослом мозге (Sharon et al., 2011; Shtyrov, 2011; Atir-Sharon et al., 2015; Vasilyeva et al., 2019a, 2019b, 2021).

Важным результатом настоящей работы стало значимое изменение нейрональной динамики, выявленное после однократного предъявления новой языковой единицы в задаче научения и у взрослых, и у детей дошкольного возраста, что однозначно указывает на положительное влияние семантического референта на быстрое формирование следов памяти

новых словоформ. Иными словами, наличие семантического референта позволяет реализовать процесс научения новым языковым единицам фактически мгновенно, в результате одной-единственной пробы, что свидетельствует об уникальности данного механизма научения для человеческого мозга.

Кроме того, настоящие результаты являются самым первым электрофизиологическим свидетельством существования единого механизма сверхбыстрого научения новой лексике в развивающемся и взрослом мозге. Данный механизм (FM) активируется в ситуациях, требующих сверхбыстрого конструирования и запоминания значений новых слов. Предполагается, что в этом случае формирование репрезентаций новых словоформ идет не по классическому двухэтапному пути (гиппокампальное кодирование и последующая кортикальная консолидация), а осуществляется одноэтапно, с минимальным участием гиппокампа, что приводит к сверхбыстрому формированию следов памяти непосредственно в неокортексе. Использование эффективного нейрофизиологического инструментария позволило нам осуществить онлайн-регистрацию быстрых изменений амплитуд ВП, являющихся нейрональными коррелятами механизма FM в развивающемся и взрослом мозге.

Необходимо отметить, что разработанная нами парадигма FM была не только приближена к условиям естественной коммуникативной среды, но и максимально адаптирована к ситуации ЭЭГ-эксперимента: мы использовали однократную задачу научения и короткую пассивную сессию с регистрацией слуховых ВП, что позволило нам исследовать механизм FM в различных группах участников — маленьких детей и взрослых испытуемых. В будущих исследованиях этот подход может применяться и развиваться для углубленной оценки нейрональной динамики, связанной с быстрым научением, а также его дефицита и особенностей проявления в различных выборках и экспериментальных условиях.

В целом результаты настоящего исследования позволяют предположить существование в мозге человека быстрого и высокопластичного механизма формирования следов памяти, соответствующих новой лингвистической информации, который срабатывает мгновенно, после однократного предъявления новой языковой единицы, и задействует как предсуществующие

лексико-семантические сети, вовлеченные в обработку родного языка (в случае взрослого мозга), так и более обширные нейрональные корковые сети (в случае развивающегося мозга).

В настоящее время мало известно о конкретных мозговых основах механизма FM, но сходство в поведенческих реакциях у детей и взрослых, результаты ряда гемодинамических измерений, а также полученные в настоящей работе на детской и взрослой выборках нейрофизиологические данные могут говорить в пользу существования общего нейроанатомического субстрата данного механизма. Известно, что механизм FM является критическим для увеличения лексикона в раннем возрасте, т. е. именно в тот период, когда эпизодическая память и гиппокампальная система являются еще не полностью сформированными. Поэтому, возможно, в детском возрасте данный механизм может быть опосредован структурами, лежащими вне медиальной височной доли. В пользу этого свидетельствуют данные ряда работ, указывающих на то, что именно механизм FM может поддерживать постморбидное научение у пациентов с амнезией, у которых были выявлены нарушения гиппокампальной системы и диагностирована слабая эпизодическая память (Sharon et al., 2011; Coutanche, Thompson-Schill, 2014). Это также поднимает вопрос о том, почему взрослые с приобретенной амнезией (по всей видимости, обладающие механизмом FM) способны научиться лишь небольшому объему новой информации — в отличие от маленьких детей, стремительно усваивающих язык посредством данного механизма.

Можно предположить, что в детском возрасте существует некоторый критический период, в течение которого пластичность областей мозга, опосредующих механизм FM, является оптимальной. Во взрослом возрасте эта пластичность может либо снижаться, либо механизм FM может быть постепенно заменен стратегией научения, которая опосредуется медиальной височной долей. В частности, тот факт, что контрольная группа взрослых испытуемых в исследовании Т. Шарон с коллегами (Sharon et al., 2011) показала худшие результаты при научении в задаче FM, чем при традиционном эксплицитном научении (по инструкции), может подтверждать это предположение. Еще одним аргументом могут быть исследования, выполненные на выборках детей с очень

рано возникшими двусторонними нарушениями гиппокампа и слабой эпизодической памятью, в которых было выявлено, что, несмотря на выраженную амнезию в отношении событий повседневной жизни, все дети посещали обычные школы и достигли средних уровней речевого развития, грамотности и фактических знаний (Vargha-Khadem et al., 1997). Данные этих исследований подтверждают существующие представления о том, что эпизодические и семантические компоненты памяти частично диссоциированы, и только эпизодический компонент, возможно, полностью зависит от гиппокампа.

В заключение хочется отметить, что ряд авторов рассматривают FM как узко специализированный механизм, обеспечивающий усвоение языка. Однако в отдельных исследованиях высказывается предположение о том, что механизм FM может выступать в качестве общего механизма научения и быть задействованным в других когнитивных процессах, отличных от усвоения языка. Так, в серии экспериментов трех-четырёхлетних детей и взрослых обучали новому слову и новому факту о незнакомом объекте; спустя одну неделю, а затем через один месяц тестирование выявило успешное воспроизведение испытуемыми информации обоих видов. Авторы сделали вывод о том, что активация механизма «быстрого отображения» не ограничивается процессом научения новым словам и что быстрое запоминание и последующее воспроизведение новых словоформ является результатом более широких нейробиологических способностей к научению и памяти, которые не являются специфическими только для усвоения языка (Markson, Bloom, 1997; Kalashnikova et al., 2014).

Таким образом, имеющиеся в настоящее время научные данные позволяют предположить, что «быстрое отображение», по-видимому, опосредуется общими нейробиологическими механизмами научения и памяти, которые широко представлены у животных различных систематических групп, а не являются свойственным только человеческому мозгу «устройством» для быстрого овладения языком (Kaminski et al., 2004; Armstrong et al., 2006; Fagot, Cook, 2006; Cook, Fagot, 2009). В то же время этот древний нейробиологический механизм научения получил чрезвычайно эффективное применение как в развивающемся, так и во взрослом мозге

человека, где он используется для сверхбыстрого усвоения десятков и даже тысяч слов. Последнее, несомненно, является уникальной особенностью человеческого мозга, которая стала возможной только благодаря наличию специфических морфофункциональных преимуществ в виде обширных нейрональных корковых сетей обоих полушарий развивающегося мозга и необычайно эффективно организованных нейронных контуров левополушарной перисильвиевой сети взрослого мозга (Catani et al., 2005; Saur et al., 2008; Shtyrov et al., 2010, 2021; Shtyrov, 2011, 2012).

### Список литературы

1. Abel A.D., Schneider J., Maguire M. J. N400 response indexes word learning from linguistic context in children // *Language Learning and Development*. — 2018. — V. 14(1). — P. 61–71.
2. Abel A.D., Sharp B. J., Konja C. Investigating implicit and explicit word learning in school-age children using a combined behavioral-event related potential (ERP) approach // *Developmental Neuropsychology*. — 2020. — V. 45(1). — P. 27–38.
3. Alexandrov A.A., Boricheva D.O., Pulvermüller F., Shtyrov Y. Strength of word-specific neural memory traces assessed electrophysiologically // *PLoS One*. — 2011. — V. 6(8). — e22999.
4. Armstrong C. M., DeVito L. M., Cleland T. A. One-trial associative odor learning in neonatal mice // *Chemical Senses*. — 2006. — V. 31(4). — P. 343–349.
5. Atir-Sharon T., Gilboa A., Hazan H., Koilis E., Manevitz L.M. Decoding the formation of new semantics: MVPA investigation of rapid neocortical plasticity during associative encoding through fast mapping // *Neural Plasticity*. — 2015. — 804385.
6. Balsamo L. M., Xu B., Gaillard W. D. Language lateralization and the role of the fusiform gyrus in semantic processing in young children // *NeuroImage*. — 2006. — V. 31(3). — P. 1306–1314.
7. Batterink L., Neville H. Implicit and explicit mechanisms of word learning in a narrative context: An event-related potential study // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2011. — V. 23(11). — P. 3181–3196.
8. Bion R. A. H., Borovsky A., Fernald A. Fast mapping, slow learning: Disambiguation of novel word-object mappings in relation to vocabulary learning at 18, 24, and 30 months // *Cognition*. — 2013. — V. 126(1). — P. 39–53.
9. Bird E.K. R., Chapman R.S., Schwartz S.E. Fast mapping of words and story recall by individuals with down syndrome

- // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. — 2004. — V. 47(6). — P. 1286–1300.
10. Boersma P., van Heuven V. Speak and unSpeak with PRAAT // *Glott International*. — 2001. — V. 5(9/10). — P. 341–347.
  11. Borovsky A., Elman J., Kutas M. Semantic integration of novel word meanings after a single exposure in context // *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. — 2010a. — V. 32. — P. 1307–1312.
  12. Borovsky A., Kutas M., Elman J. Learning to use words: Event-related potentials index single-shot contextual word learning // *Cognition*. — 2010b. — V. 116(2). — P. 289–296.
  13. Breitenstein C., Jansen A., Deppe M., Foerster A. F., Sommer J., Wolbers T., Knecht S. Hippocampus activity differentiates good from poor learners of a novel lexicon // *NeuroImage*. — 2005. — V. 25(3). — P. 958–968.
  14. Byers-Heinlein K., Werker J. F. Monolingual, bilingual, trilingual: Infants' language experience influences the development of a word-learning heuristic // *Developmental Science*. — 2009. — V.12(5). — P. 815–823.
  15. Call J. Inferences about the location of food in the great apes (*Pan paniscus*, *Pan troglodytes*, *Gorilla gorilla*, and *Pongo pygmaeus*) // *Journal of Comparative Psychology*. — 2004. — V. 118(2). — P. 232–241.
  16. Carey S. Beyond fast mapping // *Language Learning and Development*. — 2010. — V. 6(3). — P. 184–205.
  17. Carey S., Bartlett E. Acquiring a single new word // *Papers and Reports on Child Language Development*. — 1978. — V. 15. — P. 17–29.
  18. Catani M., Jones D.K., ffytche D.H. Perisylvian language networks of the human brain // *Annals of Neurology*. — 2005. — V. 57(1). — P. 8–16.
  19. Chou T.L., Booth J.R., Burman D.D., Bitan T., Bigio J.D., Lu D., Cone N.E. Developmental changes in the neural correlates of semantic processing // *NeuroImage*. — 2006. — V. 29(4). — P. 1141–1149.
  20. Cook R., Fagot J. First trial rewards promote 1-trial learning and prolonged memory in pigeon and baboon // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2009. — V. 106(23). — P. 9530–9533.
  21. Cooper E., Greve A., Henson R.N. Investigating fast mapping task components: No evidence for the role of semantic referent nor semantic inference in healthy adults // *Frontiers in Psychology*. — 2019a. — V. 10. — 394.
  22. Cooper E., Greve A., Henson R.N. Little evidence for Fast Mapping (FM) in adults: A review and discussion // *Cognitive Neuroscience*. — 2019b. — V. 10(4). — P. 196–209.

23. Coutanche M.N., Thompson-Schill S.L. Fast mapping rapidly integrates information into existing memory networks // *Journal of Experimental Psychology: General*. — 2014. — V. 143(6). — P. 2296–2303.
24. Fagot J., Cook R.G. Evidence for large long-term memory capacities in baboons and pigeons and its implications for learning and the evolution of cognition // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2006. — V. 103(46). — P. 17564–17567.
25. Friederici A.D. The Neural basis of language review development and its impairment // *Neuron*. — 2006. — V. 52(6). — P. 941–952.
26. Friedrich M., Friederici A.D. N400-like semantic incongruity effect in 19-month-olds: Processing known words in picture contexts // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2004. — V. 16(8). — P. 1465–1477.
27. Friedrich M., Friederici A.D. Neurophysiological correlates of online word learning in 14-month-old infants // *NeuroReport*. — 2008. — V. 19(18). — P. 1757–1761.
28. Friedrich M., Friederici A.D. Phonotactic knowledge and lexical-semantic processing in one-year-olds: Brain responses to words and nonsense words in picture contexts // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2005. — V. 17(11). — P. 1785–1802.
29. Friedrich M., Friederici A.D. The origins of word learning: Brain responses of 3-month-olds indicate their rapid association of objects and words // *Developmental Science*. — 2017. — V. 20(2). — e12357.
30. Friedrich M., Friederici A.D. Word learning in 6-month-olds: Fast encoding-weak retention // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2011. — V. 23(11). — P. 3228–3240.
31. Frishkoff G.A., Perfetti C.A., Collins-Thompson K. Lexical quality in the brain: ERP evidence for robust word learning from context // *Developmental Neuropsychology*. — 2010. — V. 35(4). — P. 376–403.
32. Gershkoff-Stowe L., Hahn E.R. Fast mapping skills in the developing lexicon // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. — 2007. — V. 50(3). — P. 682–697.
33. Gray S. Word-learning by preschoolers with specific language impairment: What predicts success? // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. — 2003. — V. 46(1). — P. 56–67.
34. Halberda J. Is this a dax which I see before me? Use of the logical argument disjunctive syllogism supports word-learning in children and adults // *Cognitive Psychology*. — 2006. — V. 53(4). — P. 310–344.
35. Hickok G., Poeppel D. The cortical organization of speech processing // *Nature Reviews Neuroscience*. — 2007. — V. 8(5). — P. 393–402.

36. Hill A., Collier-Baker E., Suddendorf T. Inferential reasoning by exclusion in children (*Homo sapiens*) // *Journal of Comparative Psychology*. — 2012. — V. 126(3). — P. 243–254.
37. Holcomb P.J., Coffey S.A., Neville H.J. Visual and auditory sentence processing: A developmental analysis using event-related brain potentials // *Developmental Neuropsychology*. — 1992. — V. 8(2–3). — P. 203–241.
38. Horst J.S., Samuelson L.K. Fast mapping but poor retention by 24-month-old infants // *Infancy*. — 2008. — V. 13(2). — P. 128–157.
39. Horst M., White J., Bell P. First and second language knowledge in the language classroom // *International Journal of Bilingualism*. — 2010. — V. 14(3). — P. 331–349.
40. Houston-Price C., Caloghris Z., Raviglione E. Language experience shapes the development of the mutual exclusivity bias // *Infancy*. — 2010. — V. 15(2). — P. 125–150.
41. Joshi A.A., Choi S., Sonkar G., Chong M., Gonzalez-Martinez J., Nair D., Shattuck D.W., Damasio H., Leahy R.M. A hybrid high-resolution anatomical MRI atlas with sub-parcellation of cortical gyri using resting fMRI // *bioRxiv*. — 2020. — 2020.09.12.294322.
42. Kalashnikova M., Mattock K., Monaghan P. Disambiguation of novel labels and referential facts: A developmental perspective // *First Language*. — 2014. — V. 34(2). — P. 125–135.
43. Kaminski J., Call J., Fischer J. Word learning in a domestic dog: Evidence for “fast mapping” // *Science*. — 2004. — V. 304(5677). — P. 1682–1683.
44. Kappenman E.S., Luck S.J. (Eds.) *The Oxford handbook of event-related potential components*. — NY: Oxford University Press, 2012.
45. Kimppa L., Kujala T., Leminen A., Vainio M., Shtyrov Y. Rapid and automatic speech-specific learning mechanism in human neocortex // *NeuroImage*. — 2015. — V. 118. — P. 282–291.
46. Kucker S.C., McMurray B., Samuelson L.K. Too much of a good thing: How novelty biases and vocabulary influence known and novel referent selection in 18-month-old children and associative learning models // *Cognitive Science*. — 2018. — V. 42. — P. 463–493.
47. Kutas M., Federmeier K.D. Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP) // *Annual Review of Psychology*. — 2011. — V. 62. — P. 621–647.
48. Kutas M., Hillyard S.A. Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity // *Science*. — 1980. — V. 207(4427). — P. 203–205.
49. Lederberg A.R., Prezbindowski A.K., Spencer P.E. Word-learning skills of deaf preschoolers: The development of novel mapping and rapid word-learning strategies // *Child Development*. — 2000. — V. 71(6). — P. 1571–1585.

50. MacGregor L. J., Pulvermüller F., van Casteren M., Shtyrov Y. Ultra-rapid access to words in the brain // *Nature Communications*. — 2012. — V. 3. — P. 711.
51. Markson L., Bloom P. Evidence against a dedicated system for word learning in children // *Nature*. — 1997. — V. 385(6619). — P. 813–815.
52. Marslen-Wilson W.D. Functional parallelism in spoken word-recognition // *Cognition*. — 1987. — V. 25(1–2). — P. 71–102.
53. Mather E., Plunkett K. Learning words over time: The role of stimulus repetition in mutual exclusivity // *Infancy*. — 2009. — V. 14(1). — P. 60–76.
54. Merhav M., Karni A., Gilboa A. Not all declarative memories are created equal: Fast Mapping as a direct route to cortical declarative representations // *NeuroImage*. — 2015. — V. 117. — P. 80–92.
55. Mestres-Missé A., Rodriguez-Fornells A., Münte T.F. Watching the brain during meaning acquisition // *Cerebral Cortex*. — 2007. — V. 17(8). — P. 1858–1866.
56. Mody S., Carey S. The emergence of reasoning by the disjunctive syllogism in early childhood // *Cognition*. — 2016. — V. 154. — P. 40–48.
57. O'Connor R. J., Riggs K.J. Adult fast-mapping memory research is based on a misinterpretation of developmental-word-learning data // *Current Directions in Psychological Science*. — 2019. — V. 28(6). — P. 528–533.
58. Oldfield R.C. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory // *Neuropsychologia*. — 1971. — V. 9(1). — P. 97–113.
59. Partanen E., Leminen A., de Paoli S., Bundgaard A., Kingo O.S., Krøjgaard P., Shtyrov Y. Flexible, rapid and automatic neocortical word form acquisition mechanism in children as revealed by neuromagnetic brain response dynamics // *NeuroImage*. — 2017. — V. 155. — P. 450–459.
60. Pascual-Marqui R.D. Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): Technical details // *Methods & Findings in Experimental & Clinical Pharmacology*. — 2002. — V. 24(Suppl D). — P. 5–12.
61. Pascual-Marqui R. D., Michel C.M., Lehmann D. Low resolution electromagnetic tomography: A new method for localizing electrical activity in the brain // *International Journal of Psychophysiology*. — 1994. — V. 18(1). — P. 49–65.
62. Pulvermüller F., Kujala T., Shtyrov Y., Simola J., Tiitinen H., Alku P., Alho K., Martinkauppi S., Ilmoniemi R.J., Näätänen R. Memory traces for words as revealed by the mismatch negativity // *NeuroImage*. — 2001. — V. 14(3). — P. 607–616.

63. Richards J.E., Sanchez C., Phillips-Meek M., Xie W. A database of age-appropriate average MRI templates // *NeuroImage*. — 2016. — V. 124(Pt. B). — P. 1254–1259.
64. Saur D., Kreher B.W., Schnell S., Kümmerer D., Kellmeyer P., Vry M.S., Umarova R., Musso M., Glauche V., Abel S., Huber W., Rijntjes M., Hennig J., Weiller C. Ventral and dorsal pathways for language // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2008. — V. 105(46). — P. 18035–18040.
65. Sharon T., Moscovitch M., Gilboa A. Rapid neocortical acquisition of long-term arbitrary associations independent of the hippocampus // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2011. — V. 108(3). — P. 1146–1151.
66. Shtyrov Y. Fast mapping of novel word forms traced neurophysiologically // *Frontiers in Psychology*. — 2011. — V. 2. — 340.
67. Shtyrov Y. Neural bases of rapid word learning // *The Neuroscientist*. — 2012. — V. 18(4). — P. 312–319.
68. Shtyrov Y., Filippova M., Blagovechtchenski E., Kirsanov A., Nikiforova E., Shcherbakova O. Electrophysiological evidence of dissociation between explicit encoding and fast mapping of novel spoken words // *Frontiers in Psychology*. — 2021. — V. 12. — 571673.
69. Shtyrov Y., Nikulin V.V., Pulvermüller F. Rapid cortical plasticity underlying novel word learning // *Journal of Neuroscience*. — 2010. — V. 30(50). — P. 16864–16867.
70. Shtyrov Y., Pihko E., Pulvermüller F. Determinants of dominance: Is language laterality explained by physical or linguistic features of speech? // *NeuroImage*. — 2005. — V. 27(1). — P. 37–47.
71. Shtyrov Y., Pulvermüller F. Early MEG activation dynamics in the left temporal and inferior frontal cortex reflect semantic context integration // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2007. — V. 19(10). — P. 1633–1642.
72. Silva-Pereyra J., Rivera-Gaxiola M., Kuhl P.K. An event-related brain potential study of sentence comprehension in preschoolers: Semantic and morphosyntactic processing // *Cognitive Brain Research*. — 2005. — V. 23(2–3). — P. 247–258.
73. Spiegel C., Halberda J. Rapid fast-mapping abilities in 2-year-olds // *Journal of Experimental Child Psychology*. — 2011. — V. 109(1). — P. 132–140.
74. Steinhauer K., Connolly J.F. Event-related potentials in the study of language // *Handbook of the Neuroscience of Language* / Ed. by B. Stemmer, H.A. Whitaker. — USA: Academic Press Elsevier, 2008. — P. 91–104.
75. Stevens T., Karmiloff-Smith A. Word learning in a special population: Do individuals with Williams syndrome obey lexical constraints? // *Journal of Child Language*. — 1997. — V. 24(3). — P. 737–765.

76. Swingley D. Fast mapping and slow mapping in children's word learning // *Language Learning and Development*. — 2010. — V. 6(3). — P. 179–183.
77. Tadel F., Baillet S., Mosher J.C., Pantazis D., Leahy R.M. *Brainstorm: A user-friendly application for MEG/EEG analysis* // *Computational Intelligence and Neuroscience*. — 2011. — V. 2011. — 879716.
78. Talairach J., Tournoux P. *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain: Three-dimensional proportional system: An approach to cerebral imaging*. — Stuttgart: Thieme, 1988.
79. Vargha-Khadem F., Gadian D.G., Watkins K.E., Connelly A., Van Paesschen W., Mishkin M. Differential effects of early hippocampal pathology on episodic and semantic memory // *Science*. — 1997. — V. 277(5324). — P. 376–380.
80. Vasilyeva M., Knyazeva V.M., Partanen E., Aleksandrov A., Shtyrov Y. Single-shot word learning in the developing brain: ERP evidence // *International Journal of Psychophysiology*. — 2021. — V. 168. — S88.
81. Vasilyeva M.J., Knyazeva V.M., Aleksandrov A.A., Shtyrov Y. Neurophysiological correlates of fast mapping of novel words in the adult brain // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2019a. — V. 13. — 304.
82. Vasilyeva M.J., Knyazeva V.M., Aleksandrov A.A., Shtyrov Y.Y. Neural signatures of fast mapping in developing brain: ERP evidence of single-shot word learning in preschool children // *Proceedings of the 3rd International Workshop “Neurobiology of Speech and Language”*. — 2019b. — P. 40–41.
83. von Koss Torkildsen J., Svangstu J.M., Hansen H.F., Smith L., Simonsen H.G., Moen I., Lindgren M. Productive vocabulary size predicts event-related potential correlates of fast mapping in 20-month-olds // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2008. — V. 20(7). — P. 1266–1282.
84. Weisleder A., Fernald A. Talking to children matters: Early language experience strengthens processing and builds vocabulary // *Psychological Science*. — 2013. — V. 24(11). — P. 2143–2152.
85. Weismer S.E., Hesketh L.J. Lexical learning by children with specific language impairment: Effects of linguistic input presented at varying speaking rates // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. — 1996. — V. 39(1). — P. 177–190.
86. Willenbockel V., Sadr J., Fiset D., Horne G.O., Gosselin F., Tanaka J.W. Controlling low-level image properties: The SHINE toolbox // *Behavior Research Methods*. — 2010. — V. 42(3). — P. 671–684.

## Глава 4

### Нейрофизиологические механизмы усвоения абстрактной и конкретной семантики

---

#### Введение

Язык является основной человеческой способностью и основным инструментом коммуникации, мышления и саморегуляции (Выготский, 2002). Свойства, характеристики, признаки явлений окружающей действительности не просто запечатлеваются как некие репрезентации. Они определенным образом оречевляются (называются), тем самым образуя семантическую единицу — понятие, суждение или умозаключение. В этом процессе понятие — единичный концепт, отражающий в своем пространстве совокупность родовых и видовых признаков явления. Понятие несет в себе элемент нашего знания об окружающей действительности и о себе. Знание в целом представляет собой сложную многоуровневую информационно-семантическую систему (Чуприкова, 1995) — ментальное пространство, на основе которого строятся модели процессов мышления, происходит формально-логическое моделирование, определяются механизмы проведения рассуждений.

---

*Ссылка для цитирования: Штыров Ю. Ю., Костромина С. Н., Гнедых Д. С., Благовещенский Е. Д., Мкртычян Н. А., Цветова Д. М. Нейрофизиологические механизмы усвоения абстрактной и конкретной семантики // От слова — к репрезентации. Нейрокогнитивные основы вербального научения / Под ред. О. В. Щербаковой. — СПб: Скифия-принт, 2022. — С. 212–293.*

В общеупотребительном контексте слово и понятие обычно используются как синонимы. В толковом словаре С. И. Ожегова слово определяется как «единица языка, служащая для наименования понятий, предметов, лиц, действий, состояний, признаков, связей, отношений, оценок» (Толковый словарь Ожегова; URL: <https://slovarozhegova.ru>). Но каждое ли слово — понятие? Если нет, то в чем различие между словом и понятием? В рамках психолингвистических и когнитивных теорий понятие или концепт (*англ.* concept) — это знание об определенной категории (Barsalou et al., 2003), комбинация единиц информации и значимых отношений между ними (Payne et al., 2007). Они представляют собой основные связанные с языком единицы знаний, сочетание элементарных единиц информации и значимых отношений между ними (Там же). Иногда понятие определяют как ментальную репрезентацию класса или единичного явления, которая «соотносится с тем, что представляется и как эта информация обычно используется при категоризации» (Smith, 1989, p. 502). Таким образом, различие между словом и понятием (концептом) в первую очередь лежит в плоскости владения смыслом, поскольку без определения значения некоторого явления или объекта понятия не существует.

Понятие (значение слова как знака, стоящего за этим понятием) складывается из объема (множества единиц — ситуаций, способов поведения, объединяющих совокупность его признаков) и содержания (множества атрибутов, дифференцирующих данное понятие от других). Процесс образования понятия — это процесс экспликации, то есть перехода от более или менее сформировавшегося понятия в точный концепт — т. н. экспликат. Чтобы экспликат считался адекватным, он должен удовлетворять нескольким условиям (Groeben, Westmeyer, 1981). Во-первых, он должен быть схожим с исходным вариантом, т. е. соответствовать большинству случаев, которые первоначально были определены. Во-вторых, характеризоваться точностью, что означает, что для его употребления должны существовать правила применения. Третьим условием является продуктивность: на его основе могут быть сформулированы и подтверждены фактами общие высказывания и четко выявлены отношения. И, наконец, последнее условие — это простота.

Наиболее значимые понятия обозначаются в языке отдельными словами (Margolis, Laurence, 1999), являясь, таким образом, «нашим представлением значения слова» (Murphy, 2002, p. 392). В связи с этим в большинстве исследований, посвященных изучению понятий, термины «семантика слова», «понятие» и «значение слова» часто используются как взаимозаменяемые. В то же время, по мнению В. В. Давыдова (1972), объектом усвоения должно быть именно понятие, поскольку только в этом случае происходит выделение существенных признаков, составляющих основу понятия, и их обобщение через овладение его смысловыми составляющими.

Усвоение понятий является объектом интереса многих наук (нейрофизиологии, когнитивных наук, психолингвистики, науки об образовании и т. д.), каждая из которых затрагивает определенный аспект этого сложного фундаментального процесса. Значительная часть работ выдающихся отечественных психологов (Лурия, 1979; Выготский, 2002; Холодная, 2002) посвящена изучению способности человека усваивать понятия и формировать понятийное мышление. Между тем, несмотря на большое количество исследований, в этой области продолжают оставаться нерешенными как минимум две связанные между собой проблемы. Во-первых, на смену традиционному термину «понятие» все чаще приходит другой — «ментальная репрезентация», который до сих пор не имеет четкого определения. Да и сами термины «понятие» и «концепт» раскрываются достаточно вариативно, особенно в ракурсе психолингвистики, где понимаются как нечто отличное от «слова». Ментальные (внутренние, или когнитивные) репрезентации (Paivio, 1990) широко исследуются в когнитивной психологии, психолингвистике, философии сознания и смежных областях (Carruthers, 1990), однако часто — отдельно от нейрональных репрезентаций, которые преимущественно рассматриваются при изучении работы мозга в нейрофизиологии и когнитивной нейронауке. Во-вторых, не до конца понятны нейрональные механизмы овладения понятием — то, как, наряду с усвоением слухового, моторного или визуального образа слова, человек овладевает его значением во всем многообразии признаков.

## ***Конкретное и абстрактное знание: проблема определения***

А. Борги и Ф. Бинкофски (Borghi, Binkofski, 2014) предлагают рассматривать понятия в их традиционном разделении на абстрактные и конкретные. терминов «конкретные понятия» и «абстрактные понятия» часто можно встретить такие, как «конкретные слова» и «абстрактные слова» или «конкретная семантика» и «абстрактная семантика». В чем же разница между этими двумя типами языковых единиц?

Принято считать, что конкретные понятия обозначают материальные, физические объекты (собака, дом и т. п.), содержат отсылку к существующему в реальном мире явлению (дождь, свет и др.) или действию (бег, рост и т. д.), в то время как абстрактные понятия не подразумевают наличия физических референтов и определяют более сложные психические состояния (например, счастье, печаль), условия (неопределенность), отношения (дружба) или ситуации (встреча) (Borghi, Binkofski, 2014).

Как видно из этих примеров, абстрактные понятия кроме отдельных свойств могут отражать отношения между предметами (например, неравенство). Согласно Философской энциклопедии (Т. 3, 1964, с. 45–46), «конкретные понятия образуются при помощи обобщающей абстракции и фиксируются словами и выражениями, допускающими обычно множественное число; абстрактные понятия образуются при помощи изолирующей абстракции и фиксируются словами и выражениями, обычно не имеющими множественного числа»<sup>9</sup>. При этом, согласно Дж. Локку, понятия, фиксируемые прилагательными (черный, красивый), следует рассматривать не как абстрактные, а как конкретные, так как они обозна-

---

<sup>9</sup> Изолирующая абстракция заключается «в выделении в данных конкретных объектах некоторого признака (свойства или отношения), который затем становится самостоятельным (абстрактным) объектом мысли или анализа»; обобщающая абстракция состоит «в объединении (“свертывании”) объектов по общим для них признакам (отвлекаясь от различий) в класс» (Большая российская энциклопедия. URL: <https://bigenc.ru/philosophy/text/661701>).

чают классы (Там же). Соответственно, важно не только понимать нейрофизиологические механизмы усвоения новых концептов, но и в связи с различиями в объеме и содержании абстрактных и конкретных понятий выяснить, насколько эти различия проявляются в нейрональной активности мозга при их усвоении.

Абстрактные концепты лежат в основе развития абстрактного мышления. Несмотря на это, долгое время они не рассматривались в качестве предмета научных исследований сразу по нескольким причинам. С одной стороны, в отличие от конкретных, абстрактные понятия не имеют предметной отнесенности, что затрудняет восприятие их референтов при помощи органов чувств и делает сложной их операционализацию в условиях контролируемого эксперимента. С другой стороны, разнородность значений абстрактных понятий позволяет предположить существование нескольких подвидов абстрактных концептов, различающихся по когнитивным механизмам их обработки (Borghetti et al., 2019). В частности, Ф. Дрейер и Ф. Пульвермюллер (Dreyer, Pulvermüller, 2018) выделяют следующие подвиды абстрактных понятий: 1) математические; 2) связанные с эмоциями; 3) связанные с психическими состояниями. Стоит отметить, что и конкретные понятия тоже неоднородны — по мнению этих же авторов, они могут быть связаны 1) с объектами (и их визуальными образами) и 2) с действиями.

Традиционное деление понятий по степени их абстрактности, кажущееся довольно простым на первый взгляд, тем не менее, не является однозначным. Так, А. Мячиков и М. Фишер утверждают, что, помимо такого феноменологического подхода, для измерения абстрактности/конкретности слова существуют также сенсомоторный и контекстуальный, в связи с чем одно и то же понятие может быть как конкретным, так и абстрактным — в зависимости от разных измерений (Myachukov, Fischer, 2019). Суть в том, что сенсомоторный и контекстуальный критерии определяются индивидуальным жизненным опытом усвоения и использования выученной лексики, что, в свою очередь, наделяет определенные слова той или иной степенью конкретности или абстрактности. Более того, сегодня есть подтверждения того факта, что способ-

ностью усваивать абстрактные понятия и оперировать ими обладают не только представители *Homo sapiens* (Katz et al., 2007; Pepperberg, 2013).

Одним из способов внести ясность в определение сути конкретного и абстрактного знания, на наш взгляд, является изучение *процессов усвоения* новых слов, значения которых еще не представлены в сознании индивида. Такой подход может решить проблему концептуальной неопределенности, являющейся одним из препятствий на пути установления взаимосвязей между теоретическими идеями, касающимися различий между данными типами знаний, и механизмами деятельности мозга, которые лежат в основе их репрезентаций.

### ***Конкретность/абстрактность в различных когнитивных подходах***

Исследование конкретных и абстрактных понятий имеет долгую историю. Знаковым событием стала публикация А. Пайвио (Paivio, 1965), в которой было высказано предположение о том, что конкретные понятия запоминаются легче, чем абстрактные, за счет большего числа ассоциаций с сенсорными образами. Проведенные позднее многочисленные поведенческие эксперименты продемонстрировали, что конкретные понятия, в отличие от абстрактных, лучше запоминаются (Schwanenflugel et al., 1992), распознаются (Fließbach et al., 2006), быстрее читаются, осмысливаются (Schwanenflugel, Shoben, 1983) и быстрее усваиваются (Mestres-Missé et al., 2014). Также было обнаружено, что в ситуациях различных повреждений головного мозга конкретные концепты и способность ими оперировать сохраняются лучше, чем абстрактные (Binder et al., 2005). Это предполагает существование различающихся (по крайней мере, частично) нейрональных систем, поддерживающих эти два вида семантики. Аналогичные результаты были выявлены в отношении обработки конкретных и абстрактных глаголов (Алуаха et al., 2018) и прилагательных (Borghì, Zarcone, 2016). Здесь уместно вспомнить концепцию Ж. Пиаже, рассматривавшего интеллектуальное развитие человека как смену стадий допонятийного и понятийного мышления (Piaget, 1950). Допонятийная стадия позволяет

оперировать категориями, относящимися только к конкретному предмету, наглядному, материальному. На понятийной стадии доступным становится оперирование отвлеченными абстрактными понятиями. Эта стадия относится к более поздним этапам развития человека. Таким образом, возникает еще один вопрос: какова природа нейропластических изменений, отражающих переход с допонятийного уровня мышления на понятийный, обуславливая способность человека усваивать абстрактные понятия и оперировать ими?

Вышеуказанное преимущество усвоения и обработки конкретной семантики над усвоением и обработкой семантики абстрактной называют «эффектом конкретности». Данный эффект можно объяснить, обратившись к теории двойного кодирования А. Пайвио (dual-coding theory; Paivio, 1990), которая предполагает наличие двух функциональных систем, связанных с семантической памятью: вербальной и образной (невербальной). Эти системы репрезентаций, с одной стороны, взаимосвязаны, с другой — могут действовать параллельно, независимо друг от друга. Согласно данной теории, вербальная система отвечает за кодирование как конкретных, так и абстрактных понятий, невербальная же система в первую очередь участвует в кодировании конкретных, но не абстрактных значений слов. Таким образом, наличие двух взаимодополняющих систем кодирования конкретных значений (в противоположность лишь одной системе поддержки абстрактных репрезентаций) и способствует улучшению их мыслительной обработки, приводя к вышеуказанному преимуществу (Kuiper, Paivio, 1977).

Однако в результате некоторых исследований было выявлено, что на конкретные слова в задаче лексического решения (при принятии решения о том, является ли предъявленная последовательность графем или фонем словом данного языка) испытуемые реагировали быстрее только в том случае, если им не предоставлялось какой-либо контекстной информации, помогающей понять значение слова; когда же контекст был доступен, эффект конкретности уменьшался или вовсе отсутствовал (Schwanenflugel, Shoben, 1983). Объяснение данным результатам было сформулировано в виде теории доступности контекста (context-availability theory), в рамках которой утверждается, что конкретные и абстрактные понятия имеют

разное количество семантических ассоциаций («связанных со словом культурных представлений и традиций, господствующих в данном обществе практик использования соответствующей вещи и многих других внеязыковых факторов» (Апресян, 1995, с. 67)). У конкретных понятий сильные ассоциативные связи возникают с меньшим количеством контекстов, в то время как абстрактные понятия имеют слабые ассоциативные связи, но в большем количестве. Это, в свою очередь, означает, что предоставление соответствующей контекстной информации может нивелировать эффект конкретности, что ведет к одинаково эффективной обработке обоих типов семантики.

Другой взгляд на различия между конкретными и абстрактными словами предполагает, что они качественно по-разному представлены в сознании (Crutch, 2006). Эта гипотеза была основана на изучении семантических ошибок различных типов у пациентов с выраженной дислексией. Согласно данному предположению, конкретные слова образуют семантическую сеть иерархической структуры, которая опирается на категориальные взаимосвязи (суперординатные и координатные), тогда как семантическая сеть абстрактных понятий имеет ассоциативную структуру, включающую в себя связи между словами, которые обычно используются вместе.

Некоторые когнитивные подходы, вместо того чтобы подчеркивать разницу в механизмах обработки абстрактных и конкретных понятий, фокусируются на поиске их сходства. Например, теория воплощенного познания (*embodied cognition*) предполагает, что семантические представления основываются на таких функциях организма, как ощущение, восприятие и действие. Считается, что обработка абстрактных слов — так же, как и конкретных — опирается, по крайней мере частично, на сенсомоторные системы (Glenberg et al., 2008; Pulvermüller, 2013; более подробно о взглядах на конкретные/абстрактные понятия в рамках теории воплощенного познания см. Borghi et al., 2017). Действительно, между группами детей с нормальным речевым развитием, атипичным развитием и аутизмом не было выявлено значимых различий в успешности усвоения абстрактной семантики, что может указывать на отсутствие специфических вербальных механизмов приобретения абстрактно-

го знания (Vigliocco et al., 2018). Тем не менее, это все же не исключает более существенного вклада речевой системы в обработку абстрактных понятий, обнаруженного в некоторых исследованиях (например, Sakreida et al., 2013).

Схожий подход к объяснению механизмов усвоения разных типов семантики предлагает теория концептуальной метафоры (conceptual metaphor theory), согласно которой значения абстрактных понятий можно понять посредством конкретных слов, а именно с помощью метафор (Lakoff, Johnson, 1980). Однако в процессе развития и взросления оперирование метафорами в речи становится доступным индивиду позже, чем оперирование базовыми абстрактными знаниями как таковыми; кроме того, существует мнение о том, что значение не каждого абстрактного понятия может быть понято в полной мере при использовании для его объяснения конкретных слов (Borghì, Zarcone, 2016).

Еще одним спорным моментом в отношении определения особенностей конкретной и абстрактной семантики является соотношение между ее конкретностью и эмоциональностью. Многие авторы рассматривают слова, связанные с эмоциями (*гнев, радость, страх*), как своего рода абстрактные понятия (например, Dreier, Pulvermüller, 2018), поскольку они не имеют прямой связи с физическими объектами. Вместе с тем, определение абстрактности понятия через призму теории воплощенного познания, а не чисто феноменологического подхода к его измерению, позволяет отнести эмоции к конкретным (воплощенным в индивидуальном опыте) явлениям (Муачуков, Fischer, 2019).

Более того, некоторые ученые делят существующие в человеческом языке понятия на три типа: конкретные, абстрактные и эмоциональные (Altarriba, Bauer, 2004). Такой подход представляется несколько спорным, поскольку он, по-видимому, не основан на единых критериях классификации. Более того, как конкретные, так и абстрактные слова могут обладать большей или меньшей эмоциональной насыщенностью (сравните, например, *радость* и *знание; торт* и *изолента*); кроме этого, эмоциональная насыщенность понятия может зависеть и от индивидуального опыта человека. Таким образом, не вполне ясно, почему в классификации

Ж. Альтарриба и Л. Бауэр (2004) такие слова, как *победа* или *опасность* были включены в группу абстрактных понятий, а *дочь* и *стоматолог* — в группу конкретных, хотя все их значения содержат явную эмоциональную окраску.

В свете вышесказанного более убедительным выглядит подход, который связывает эмоциональный опыт с абстрактными понятиями (Kousta et al., 2011). Примером такого подхода может являться «гипотеза аффективного укоренения» (affective grounding hypothesis) (Lenci et al., 2018). Согласно данной гипотезе, абстрактные и конкретные понятия различаются по степени вовлечения в их обработку двух типов информации: эмпирической (сенсорной, моторной и аффективной) и лингвистической (вербальных ассоциаций), что перекликается с описанием процесса двойного кодирования в работах А. Пайвио. При этом конкретные понятия основываются преимущественно на сенсомоторной информации, в то время как абстрактные в большей степени опираются на речевую систему и эмоциональную сферу. Таким образом, доминирование тех или иных типов информации в процессе знакомства с понятием играет решающую роль в усвоении и репрезентации как конкретных, так и абстрактных слов (Vigliocco et al., 2009). Также следует отметить, что данный подход позволяет определить специфичность семантики как гибкое сочетание опыта индивида и особенностей конкретного языка, предполагая, что термины «абстрактность» и «конкретность» являются относительными и не должны использоваться в качестве простой бинарной классификации.

Изложенная точка зрения согласуется с предположением о значительной роли социального опыта в усвоении и репрезентации абстрактных понятий (Barsalou, Wiemer-Hastings, 2005). Усвоение языка всегда происходит в социальном взаимодействии, в связи с чем оно становится критически важным для усвоения и накопления абстрактных знаний. А. Борги с коллегами поддерживают эту идею, рассматривая в своей теории слова как социальные инструменты (words as tools theory) и предполагая, что абстрактные репрезентации из-за отсутствия привязки к материальным объектам с большей вероятностью будут включать в себя лингвистический и социальный опыт, чем конкретные понятия (Borghi, Binkofski, 2014; Borghi, Zarcone,

2016). Данное предположение является попыткой создать целостную теорию, объясняющую формирование абстрактных понятий с точки зрения подходов воплощенного познания и «аффективного укоренения» (Borghi et al., 2019).

### ***Нейробиологический подход к изучению процессов усвоения конкретных и абстрактных понятий***

Существует значительный объем данных о нейрофизиологических механизмах, лежащих в основе научения языку и усвоения понятий. Неоднократно демонстрировалось, что мозг способен очень быстро (в течение нескольких минут после воздействия стимула) формировать следы памяти, соответствующие новым словам, что проявляется в виде усиления левосторонней активности, подкрепленной вовлечением лобно-височных областей коры (Shtyrov et al., 2010; Kimppa et al., 2015, 2016; Partanen et al., 2017; Vasilyeva et al., 2019). Быстрые изменения в амплитуде и латентности вызванных потенциалов (ВП) в ответ на предъявление только что выученных слов наблюдаются в ранней динамике ВП в диапазоне 50–200 мс (Kimppa et al., 2016; Aleksandrov et al., 2020), отражая улучшенную обработку их фонологических и лексических характеристик. Также было показано, что любая дополнительная информация о новых словах, например, связь с уже знакомым понятием или включенность в контекст, облегчает их обработку, что отражается в изменении амплитуды N400 (компонента вызванных потенциалов, связанного с лексико-семантической обработкой) по сравнению с условиями, которые не позволяют сделать вывод о значении новых слов (Frishkoff et al., 2010; Chen et al., 2014). Такие исследования ясно указывают на важность наличия контекста для изучения языка: новые словоформы, выученные в контексте (с помощью ассоциаций, образов, способности делать вывод о значении понятия на основе его характерных признаков и т. д.), лучше усваиваются и позволяют активировать комплекс лексико-семантических схем памяти.

Результаты изучения нейрональных механизмов, лежащих в основе усвоения абстрактной и конкретной семантики, демонстрируют противоречивые данные. Большинство

исследований в этой области основаны на использовании методов функционального картирования мозга (электроэнцефалографии (ЭЭГ), магнитоэнцефалографии (МЭГ), функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ)) с привлечением как здоровых испытуемых, так и пациентов с повреждениями головного мозга. Так, было показано, что в результате повреждений головного мозга пациенты в большей степени сохраняли способность к оперированию конкретными понятиями, чем абстрактными (Binder et al., 2005). Это может говорить о наличии, по крайней мере частично, различающихся нейрональных систем, поддерживающих эти типы знаний. Данное предположение подтверждается рядом нейробиологических исследований, которые выявили пересекающиеся, но не идентичные области мозга, участвующие в обработке абстрактных и конкретных понятий (см. Montefinese, 2019).

При этом анализ данных, полученных в нейровизуализационных исследованиях, позволил выявить ряд противоречий (Wang et al., 2010), которые все же не дают возможности разрешить спор между теоретическими подходами к объяснению природы конкретного и абстрактного знания с позиций нейробиологии. Так, например, по результатам некоторых МРТ-исследований было обнаружено, что обработка абстрактных понятий приводит к большей активации в таких областях головного мозга, как средняя и верхняя височная извилины, а также левая нижняя лобная извилина (Binder et al., 2005; Sabsevitz et al., 2005; Fliessbach et al., 2006; Rexman et al., 2007). В свою очередь, было показано, что при усвоении конкретных слов активируется вентральная передняя часть веретенообразной извилины (Sabsevitz et al., 2005; Bedny, Thompson-Schill, 2006; Fliessbach et al., 2006; Mestres-Missé et al., 2007). Кроме того, было выявлено, что усиление нейрональной активности при изучении абстрактных понятий, в отличие от конкретных, наблюдалось в передней височной области (т. н. височный полюс) (Tettamanti et al., 2008; Binder et al., 2009; Wang et al., 2010), в то время как другие эксперименты выявили активацию в вентральной части передней височной области, которая обычно участвует в обработке конкретных слов (Peelen, Caramazza,

2012; Visser et al., 2012; Robson et al., 2014). Также было обнаружено участие вентролатеральной части данной области в обработке обоих типов семантики (Hoffman et al., 2015). В целом имеющиеся данные дают основание предположить, что на нейрофизиологическом уровне репрезентации конкретных слов распределены между разными областями обоих полушарий головного мозга и включают области, специфичные для той или иной модальности (зрительной, слуховой и т. д.), в то время как усвоение и обработка абстрактной семантики преимущественно обеспечивается основными речевыми зонами левого полушария: височно-теменной (зона Вернике) и нижней лобной (зона Брока) областями коры головного мозга. Зону Вернике, как правило, связывают с кодированием, хранением и пониманием различных типов семантики (Binder et al., 2005; Fließsbach et al., 2006; Pexman et al., 2007). Область Брока считается преимущественно ответственной за продуцирование речи (Broca, 1861; Hagoort, 2005; Sahin et al., 2009), обработку синтаксиса (Fiebach et al., 2005; Rogalski et al., 2011; Deleon et al., 2012; Wilson et al., 2012), доступ к фонологической и фонетической информации (Ojanen et al., 2005; Heim et al., 2008) и т. д.

Стоит отметить, что, хотя и не все исследования имеют в своем основании четкие теоретические предпосылки относительно изучаемых когнитивных процессов, большинство из них все же направлены на доказательство теории двойного кодирования. Например, результаты экспериментов с применением ЭЭГ, проведенные Ф. Холкомбом с коллегами, расширяют данную теорию, интегрируя ее положения с положениями теории доступности контекста. Так, были выявлены значительные различия между реакциями мозга на конкретные и абстрактные слова для N400: в ответ на предъявление конкретных слов наблюдалась большая негативность N400, особенно в передних областях коры головного мозга, которая постепенно уменьшалась по направлению к ее каудальным отделам (Holcomb et al., 1999). Аналогичный эффект — более выраженный N400 для конкретных понятий — наблюдался и в ряде других исследований (West, Holcomb, 2000; Barber et al., 2013; Gullick et al., 2013; Palmer et al., 2013; Fahimi Hnazaee et al., 2018; Murphy, 2021). Подтверждения расши-

ренной теории двойного кодирования можно также найти в работах Э. Хачатрян с соавторами (Khachatryan et al., 2018), П. Делла Роса с соавторами (Della Rosa et al., 2018), Р. Мозли и Ф. Пульвермюллера (Moseley, Pulvermüller, 2014), Ф. Дрейера и Ф. Пульвермюллера (Dreyer, Pulvermüller, 2018) и др.

При этом другие нейрофизиологические исследования находят подтверждения иным теориям, направленным на объяснение механизмов усвоения конкретных и абстрактных понятий. Так, было выявлено, что предъявление конкретных слов вызывает компонент N700 (отражающий обработку образов и ассоциирующийся с рабочей памятью) большей амплитуды по сравнению с абстрактными, даже если последние были помещены в соответствующий контекст и обладали высокой образностью, т. е. легко могли быть воссозданы в воображении (Barber et al., 2013), что, как утверждают сами авторы исследования, нельзя объяснить с позиций теории двойного кодирования или ее расширенного варианта (предложенного Ф. Холкомбом с коллегами). В свою очередь, П. Пексман и ее коллеги (Pexman et al., 2007) пришли к выводу о том, что полученные ими нейрофизиологические данные поддерживают теорию семантических репрезентаций Л. Барсалу (theory of semantic representations) (Barsalou, 1999), в то время как результаты экспериментов, проведенных А. Борги с коллегами, свидетельствуют в пользу гипотезы «слов как социальных инструментов» (Borghi et al., 2019). В связи с этим становится все сложнее выбрать единственную теоретическую концепцию, описывающую механизмы усвоения разных типов семантики.

Интересным открытием является распределение процессуальных характеристик обработки конкретных и абстрактных слов во времени. Так, были выявлены различные паттерны нейрофизиологической активности в лобных областях (включая противоположные полярности ВП) уже через 40–100 мс после визуального предъявления испытуемым слов с конкретным и абстрактным значением (П'юченек и др., 2008), что может указывать на возможность быстрой семантической категоризации. На более поздних временных интервалах, которые обычно связывают с лексико-семантическим анализом, более высокая амплитуда ВП наблюдалась в ответ на предъявление конкретных слов на ~350–400 мс в медиальных затылочных

областях и абстрактных слов между 400 и 600 мс в передних отделах коры головного мозга (Adorni, Proverbio, 2012).

Однако паттерны нейрональной активации как таковые не обязательно указывают на то, что конкретная область коры больших полушарий необходима для кодирования определенной информации. Различия в активации тех или иных областей могут быть обусловлены вторичными явлениями, а не ключевыми основополагающими механизмами (Anzellotti et al., 2017). Чтобы выявить такие механизмы, необходимы методы, с помощью которых можно установить причинно-следственную связь между активацией нейронов и определенной когнитивной функцией. К таким методам относятся транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) или стимуляция электрическим током (ТЭС).

### *Перспективы использования ТЭС в изучении конкретной и абстрактной семантики*

В последнее время наблюдается значительный рост исследований с применением ТЭС благодаря доступности, простоте использования и относительной безопасности данного метода (Lefaucheur et al., 2017; см. также *Главу 2*). Точные механизмы, лежащие в основе влияния ТЭС на активность нейронов, полностью не ясны, однако наиболее распространенное объяснение заключается в том, что при низких уровнях интенсивности тока (1–2 мА в течение 15–60 мин) стимуляция не вызывает нервного возбуждения или торможения как такового, а вместо этого плавно модулирует трансмембранный потенциал покоя в сторону де- или гиперполяризации, сдвигая пороги возбуждения вверх или вниз и тем самым делая нервную систему менее или более чувствительной к событиям, состояниям или поведению (Nitsche et al., 2003; Priori, 2003; Shah et al., 2013; Blagovechtchenski et al., 2019).

На сегодняшний день практически отсутствуют исследования с использованием методов стимуляции мозга, посвященные изучению процессов усвоения конкретной и абстрактной семантики. При этом одним из популярных направлений применения стимуляции мозга для изучения процессов понимания речи является анализ изменений активности мо-

торной коры и кортикоспинальной активации (Hoffman et al., 2010). Например, Н. Вукович с коллегами (Vukovic et al., 2017), используя транскраниальную магнитную стимуляцию, выявили, что префронтальные и премоторные области коры головного мозга участвуют в понимании абстрактных слов. Однако стоит отметить, что авторы не исследовали влияние ТМС на области, находящиеся за пределами лобной доли, т. к. в основном фокусировались на семантике, описывающей движения. В других исследованиях с помощью ТМС также было показано, что мыслительная обработка абстрактных и конкретных фраз дифференцированно модулирует возбудимость нервной системы (Hoffman et al., 2010; Scorolli et al., 2012). При этом известно, что любая ассоциация с движением вызывает в двигательной системе активацию зеркальных нейронов (Rizzolatti, Sinigaglia, 2016). Учитывая большую вариабельность реакций моторной коры на ТМС (Fedele et al., 2016), становится довольно трудно отделить специфические эффекты стимуляции мозга от неспецифических при изучении процессов обработки различных типов семантики. В свою очередь, исследования с помощью ТЭС продемонстрировали, что анодная стимуляция дорсолатеральной префронтальной или теменной коры в равной степени облегчает извлечение из памяти обоих типов семантики (Manenti et al., 2013).

Разнонаправленное влияние полярностей ТЭС известно из большого числа исследований двигательной системы (Bastani, Jaberzadeh, 2013; Pellicciari et al., 2013; Schmidt et al., 2013). Было выявлено, что анодная стимуляция способствует активации некоторых нейрональных ансамблей, а после катодной, наоборот, наблюдается ингибирующий эффект. Однако исследования, посвященные изучению стимуляции областей головного мозга, отвечающих за высшие когнитивные функции, не смогли обнаружить такую же дихотомию: если эксперименты, в которых применялась анодная ТЭС, в основном также обнаруживали ее стимулирующее воздействие (Iyer et al., 2005; Flöel et al., 2008; Sparing et al., 2008), для катодной стимуляции результаты были неоднозначными. Некоторые исследования продемонстрировали ингибирующее влияние катодной стимуляции (Rogalewski et al., 2004; Berryhill et al., 2010), а другие, наоборот, — повышение эффективности

выполнения испытуемыми различных когнитивных задач (Weiss, Lavidor, 2012; Pirulli et al., 2014). Более того, в недавнем исследовании с применением ТЭС зоны Вернике было обнаружено, что оба типа стимуляции улучшают семантическую обработку информации в задаче на лексическое решение (Brückner, Kammer, 2017). Таким образом, можно предположить, что ингибирующее влияние катодной стимуляции, обычно проявляющееся в исследованиях двигательной системы, не является однозначным в отношении речевых функций.

Данные клинических исследований, позволяющие выявить различия в мыслительной и нейрональной обработке абстрактных и конкретных слов, также встречаются довольно редко. Известны описания случаев частных нарушений в понимании абстрактных или конкретных понятий, однако, как правило, они основаны на очень ограниченном числе наблюдений: от одного до четырех пациентов (Warrington, Crutch, 2005; Crutch, 2006; Tree, Kay, 2006). Кроме того, нарушение концептуального понимания осложняется при множестве других заболеваний (например, дислексии: Crutch, 2006). Помимо этого, следует учесть, что результаты некоторых клинических исследований были получены на пациентах, страдающих неврологическими расстройствами, с помощью хирургического вмешательства. Так, например, во время операции, когда пациент находился в состоянии бодрствования, с помощью прямой электрической стимуляции 44-го поля Бродмана в левом полушарии (т. е. части области Брока и нижней лобной извилины) было показано снижение точности выполнения задачи на семантическое суждение для абстрактных слов, тогда как для конкретных понятий аналогичные результаты наблюдались при стимуляции 38-го поля Бродмана в височной доле левого полушария (Orena et al., 2019). Таким образом, имеющиеся клинические данные также пока не могут дать четкой картины различий между этими двумя типами семантики. Кроме того, выявленные в таких выборках закономерности работы головного мозга должны быть проверены на здоровых испытуемых.

Влияние неинвазивной стимуляции мозга на процесс и результат усвоения новых слов было продемонстрировано как у здоровых людей, так и при речевой реабилитации пациен-

тов с постинсультной афазией (Flöel et al., 2008; Hartwigsen et al., 2015; Branscheidt et al., 2017). Установлено, что транскраниальная электрическая стимуляция в целом повышает эффективность изучения языка (Flöel et al., 2012; Zimerman et al., 2013; Blagovechtchenski et al., 2019). В частности, анодная стимуляция зоны Вернике повышает правильность выполнения задания на усвоение слов и способствует уменьшению задержек при назывании предъявленных изображений (Fiogi et al., 2011), а анодная ТЭС задней части левой перисильвиевой области повышает скорость и успешность вербального ассоциативного научения (Flöel et al., 2008).

### ***Усвоение конкретных и абстрактных понятий***

Еще один важный аспект, который, на наш взгляд, затрудняет выявление механизмов, ответственных за различные семантические процессы, — это использование в исследованиях в качестве стимульного материала уже существующих в сознании испытуемых репрезентаций слов родного языка. При сравнении процессов восприятия, обработки и распознавания уже известных испытуемым слов, принадлежащих к разным классам, на результаты могут повлиять их физические, психолингвистические, фонологические и орфографические свойства, а также индивидуальный опыт знакомства с определенным словом и ассоциации с ним. Наличие этих дополнительных переменных, способных исказить результаты эксперимента, в свою очередь, ставит ряд вопросов. Например, в английском языке большинство абстрактных существительных длиннее конкретных (Reilly, Kean, 2007). Может ли это различие в физических характеристиках слов повлиять на усвоение абстрактной и конкретной семантики, в частности, затрудняя усвоение более длинных слов? Другой пример: по мнению некоторых авторов, абстрактные понятия усваиваются индивидом позже, чем конкретные (Vigliocco et al., 2018), при этом было установлено, что чем в более раннем возрасте усвоены слова, тем быстрее и точнее они в дальнейшем обрабатываются (Xue et al., 2017). Будут ли какие-либо различия, наблюдаемые в поведенческих или нейрофизио-

логических исследованиях, отражать разницу в обработке именно семантики слов, или, скорее, они будут передавать разный опыт ее усвоения индивидом на разных этапах жизни? Также при использовании в исследованиях существующих слов необходим учет частоты их встречаемости в речи. Согласно некоторым данным, конкретные слова (на примере английского языка) используются в речи чаще, чем абстрактные (Paivio et al., 1968; Glanzer, Bowles, 1976; альтернативный учет частотных норм представлен в работах Reilly, Kean, 2007; Brysbaert et al., 2019). Было выявлено, что частота использования и распространенность слов в популяции являются одними из наиболее важных факторов, обуславливающих скорость реакции в задании на лексическое решение (Brysbaert et al., 2016). Опять же, будет ли это различие вносить дополнительные искажения в экспериментальные данные при сравнении двух типов семантики друг с другом? Более того, на успешность обработки новых слов может повлиять и способ их усвоения (Borghì et al., 2011). Абстрактные понятия усваиваются в большей степени вербально (лингвистически), в то время как конкретные слова употребляются с опорой на восприятие и взаимодействие с их физическими референтами. При этом с возрастом лингвистический способ усвоения становится преобладающим для обоих типов семантики (Wauters et al., 2003), что еще больше усложняет объективное сравнение механизмов обработки и понимания абстрактных и конкретных слов. На наш взгляд, одним из способов, позволяющим обойти все эти трудности, является изучение формирования репрезентаций новых слов (как словоформ, так и семантики), имеющих одинаковые физические и психолингвистические характеристики, в контролируемой экспериментальной среде с применением единой стратегии их усвоения.

В большинстве исследований, даже если усваиваемые словоформы являются новыми для испытуемых, их значения уже им знакомы (Ding et al., 2017); в этом случае, по сути, исследуется процесс усвоения не нового понятия, а всего лишь синонима или перевода знакомого слова. Чтобы сделать экспериментальную процедуру более похожей на естественный процесс овладения речью, нужно задейство-

вать значения слов, которые так же незнакомы участникам исследования, как и описывающие их словоформы. С этой целью в некоторых экспериментах могут использоваться низкочастотные слова родного языка испытуемых (Palmer et al., 2013) или же искусственно созданные значения слов, которые могут быть переданы наглядно посредством объектов (конкретные понятия), а также через их пространственные отношения и взаимодействия (абстрактные понятия) (Borghì et al., 2011; Granito et al., 2015). Кроме того, не всегда в лингвистических исследованиях контролируется влияние фонологии на усвоение новых понятий: например, при заимствовании слов из иностранного языка (Ferré et al., 2015; Martin, Tokowicz, 2020) процесс усвоения может быть осложнен обработкой неизвестной испытуемому фонологии.

Подводя итог, можно сказать, что, с одной стороны, на данный момент отсутствует ясность в отношении нейрональных основ конкретных и абстрактных репрезентаций. С другой — использование в экспериментах уже известных испытуемым слов может привести к путанице при попытке выявить различия между данными типами семантики. Чтобы заполнить эти пробелы, мы исследовали поведенческие ответы испытуемых и их нейрональные реакции на предъявление новых конкретных и абстрактных слов в контролируемых экспериментальных условиях. В качестве стимулов были использованы новые конкретные и абстрактные понятия, ранее неизвестные нашим испытуемым; новыми были как словоформы, так и их значения. Это дало возможность тщательно проконтролировать физические, психолингвистические, фонологические свойства словесных стимулов. Чтобы приблизиться к естественным условиям усвоения новых слов, созданные понятия были представлены испытуемым в контексте коротких предложений, что позволяло участникам эксперимента самостоятельно понять значение нового слова на основе контекста. Также был использован комплексный набор заданий, позволяющий оценить усвоение новых слов как на лексическом, так и на семантическом уровнях. Предложенная парадигма использовалась в экспериментах с применением ТЭС и ЭЭГ для изучения нейрональной активности мозга в процессе усвоения новых слов.

## Методы и организация исследования

### *Выборка*

Общая выборка исследования составила 102 здоровых (без психоневрологических расстройств, травм головного мозга и злоупотребления наркотическими веществами в анамнезе) праворуких (согласно данным Эдинбургского опросника (Oldfield, 1971)) взрослых от 18 до 35 лет, единственным родным языком которых был русский. 72 человека (средний возраст — 21,4,  $SD = 3,1$ ) (Эксперимент 1) были разделены на три группы (по 24 человека в каждой: 4 мужчины и 20 женщин) для исследования влияния транскраниальной электрической стимуляции зоны Вернике на усвоение конкретных и абстрактных понятий. Три группы испытуемых не различались статистически (непараметрический метод сравнения нескольких выборок  $H$ -критерий Краскала — Уоллиса) по возрасту ( $H = 2,93$ ,  $p = 0,23$ ), праворукости ( $H = 1,28$ ,  $p = 0,53$ ), возрасту первого опыта изучения иностранного языка ( $H = 2,21$ ,  $p = 0,33$ ) и уровню образования (измеренному в годах;  $H = 5,38$ ,  $p = 0,07$ ). Еще 30 человек (16 — женщины; средний возраст — 23,4,  $SD = 4,1$ ) приняли участие в эксперименте, сопровождавшемся записью ЭЭГ (Эксперимент 2). Все участники подписали информированное согласие. Процедура была одобрена Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета. Участие в исследовании оплачивалось.

### *Стимульный материал*

Для обеспечения условий контекстного усвоения конкретных и абстрактных понятий были созданы новые словоформы и подобраны новые конкретные и абстрактные значения, а также сформирован набор предложений, передающих значение новых понятий через ситуационный контекст. Учитывая, что в ходе исследования фиксировалось усвоение не только значений новых понятий (семантической составляющей), но и соответствующих им словоформ (лексической составляющей), далее при описании процедур и результатов экспериментов мы используем термины «понятие» и «слово» как взаимозаменяемые.

Для создания новых словоформ были выбрали 40 слов родного для участников (русского) языка в качестве основы для дальнейших преобразований. Все эти слова были существительными, состоящими из восьми букв, составляющих три слога, со структурой СГССГГС (где С — согласная, а Г — гласная), например, *мандарин*. Согласно психолингвистической базе данных Российского национального корпуса языка (НКРЯ, URL: <https://ruscorpora.ru>), частота встречаемости слов превышала 1 на 1 000 000. Слова были сгруппированы в четыре набора по десять слов, не различающиеся статистически (согласно *t*-критерию Стьюдента) по частоте лемм и последних слогов. Три набора по 10 слов были подвергнуты трансформации для создания псевдослов путем перестановки последних слогов внутри набора (например, *кардинал* превращался в *кардин*, в котором последний слог был взят из другого слова в наборе — в данном случае это было слово *мандарин*), в то время как четвертый набор из десяти слов оставался неизменным и использовался в качестве стимульного материала для контрольного условия. Чтобы исключить влияние формальных характеристик новых словоформ на их усвоение, новые элементы чередовались между участниками, принимая на себя разные роли: нового конкретного понятия, нового абстрактного понятия или контрольного условия (псевдослова, отсутствующего в обучающем блоке).

На этапе обучения новые словоформы связывались с десятью новыми абстрактными и десятью новыми конкретными значениями. В качестве референтов для новых понятий были выбраны редкие объекты, а также явления, не имеющие словесных обозначений в родном языке испытуемых (например, «обувь для хромых, перераспределяющая вес и уменьшающая нагрузку» или «глупый поступок постороннего человека, за который вы испытываете стыд»). Новые значения были оценены 35 взрослыми испытуемыми на предмет конкретности, образности и эмоциональной валентности по 7-балльной шкале Лайкерта. Предполагаемое разделение на конкретные и абстрактные значения было подтверждено статистически с помощью *t*-критерия Стьюдента ( $p < 0,01$ ). Тем не менее, конкретные слова были оценены как имеющие меньшую эмоциональную валентность, чем абстрактные ( $p < 0,01$ ), что со-

гласуется с описанными в литературе данными по абстрактной семантике (Kousta et al., 2011; Vigliocco et al., 2014; Ponari et al., 2018, 2020). Это можно объяснить включением в стимульный материал понятий, обозначающих чувства/эмоции; такие понятия составляют один из основных подтипов абстрактных слов (Villani et al., 2019). По параметру образности группы новых конкретных и абстрактных значений статистически не различались.

Для обеспечения условий контекстного усвоения были разработаны пять предложений для каждого нового значения (Таблица 7). Всего было создано 105 предложений: по пять предложений для каждого из 10 абстрактных и 10 конкретных новых слов и дополнительные пять предложений для тренировочного блока. Каждое предложение состояло из восьми слов; новое слово всегда помещалось в конце предложения в единственном числе и именительном или винительном падеже, чтобы гарантировать, что оно всегда появляется в своей основной форме (то есть без дополнительных падежных окончаний).

Таблица 7. Примеры контекстных предложений для усвоения понятий

Конкретное понятие	Абстрактное понятие
В высоких прическах и париках дам встречался кардин.	Нашим бабушкам было неизвестно такое чувство, как мушкелак.
Если Вас замучили блохи, Вам поможет специальный кардин.	Благодаря своей хорошей памяти Маша не чувствовала мушкелак.
По мере заполнения блохами хозяин периодически очищал кардин.	Заведя сразу несколько аккаунтов, я начал испытывать мушкелак.
В Средневековье для борьбы с блохами использовали кардин.	Секретный блокнот поможет решить такую проблему, как мушкелак.
В коробочку клали приманку для насекомых, получался кардин.	Петр устанавливал одинаковые пароли, не желая ощущать мушкелак.

## *Процедура исследования*

Экспериментальная процедура состояла из трех этапов (Рис. 28) и проводилась в акустически и электрически экранированной камере (Нейроиконика, Санкт-Петербург, Россия).

Подготовительный этап включал подписание информированного согласия, заполнение анкеты для определения социально-демографических характеристик испытуемых и их соответствия требованиям эксперимента, а также процедуру транскраниальной электрической стимуляции (Эксперимент 1) либо установку ЭЭГ-шлема и настройку ЭЭГ-системы (Эксперимент 2).

Обучающий этап представлял собой процедуру предъявления новых конкретных и абстрактных понятий в контексте предложений.

Проверочный этап был предназначен для измерения поведенческих (успешности выполнения проверочных заданий и время реакции) и нейрофизиологических (амплитуд вызванных потенциалов) результатов усвоения понятий.

В Эксперименте 1 (с использованием ТЭС) процедура оценки проводилась по трем заданиям (воспроизведение словоформ, узнавание, формулировка определений) дважды: сразу после обучающего этапа и на следующий день (с 24-часовой задержкой), чтобы оценить влияние стимуляции зоны Вернике на консолидацию новых понятий. Для этих целей стимульный материал для задач на узнавание и формулировку определений был разделен на две равные части, каждая из которых предъявлялась в один из дней оценки.

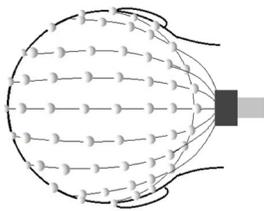
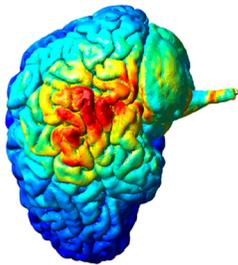
В Эксперименте 2 (с использованием ЭЭГ) было использовано шесть проверочных заданий: воспроизведение словоформ, чтение словоформ, узнавание, лексическое решение, формулировка определений и выбор определений. Таким образом, результаты усвоения оценивались более полно, чем в Эксперименте 1 (на уровнях узнавания и воспроизведения с учетом усвоения как лексики, так и семантики). Задание на чтение словоформ было введено для записи и анализа вызванных потенциалов, возникающих в ответ на новые слова и контрольные псевдослова.

Рассмотрим ключевые процедуры всех трех этапов более подробно.

## А. Подготовительный этап

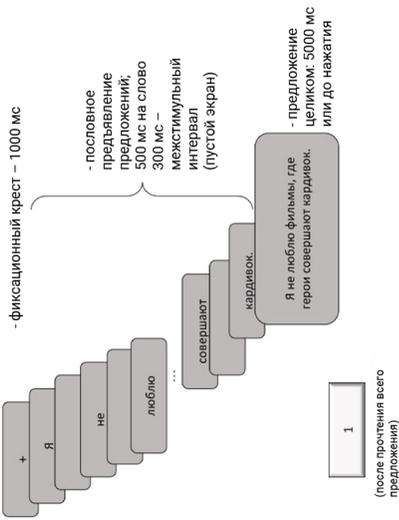
А1. Информированное согласие и анкета участника

А2. ТЭС зоны Вернике  
(Эксперимент 1)



А2. Установка ЭЭГ  
(Эксперимент 2)

## Б. Обучающий этап (контекстное усвоение)

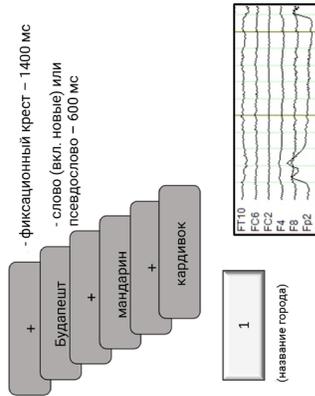


## В. Проверочный этап

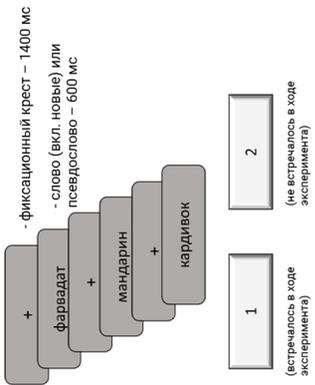
В1. Свободное воспроизведение\*

	А	В
1	Запишите в столбик все новые слова, которые сможете вспомнить:	
2	1 мушкетер	
3	2 вернерин	
4	3 цирюкон	
5	4 карда	
6	5	
7	6	
8	7	
9	8	
10	9	
11	10	
12		

В2. Чтение словформ\*



В3. Узнавание



**В4. Лексическое решение\***

+      - фиксационный крест – 1400 мс  
 фарвадат      - слово (вкл. новые) или  
 +      псевдослово – 600 мс  
 мандарин  
 +      кардивок

1      2

(имеет смысл)      (не имеет смысла)

**В5. Формулировка определений**

	А	В	С
1	Перед Вами список из 10 встреченных Вами новых слов.		
2	Постарайтесь дать определение каждому из них.		
3	1 ПАТРОФОР    тень или сочетание света и тени		
4	2 ПОСЛАСАЖ		
5	3 ТЕРМИТАН    размещение рекламных плакатов		
6	4 ГАРНИНАЖ		
7	5 ШАРЛАЛЕТ		
8	6 ПОДЖАЖАН    робот		
9	7 ПОВОЛЕС		

**В6. Выбор определений**

кардивок

1. Беспкойное состояние накануне путешествия, вызванное тревогой и ожиданием.

2. Обувь для хромых, перераспределяющая вес и уменьшающая нагрузку.

3. Лупый поступок постороннего человека, за который Вы испытываете стыд.

4. Ничто из перечисленного.

1      2      3      4

(номер кнопки соответствует номеру ответа)

**Рисунок 28.** Экспериментальная процедура. Условные обозначения: \* — задания, используемые только в Эксперименте 2

## Процедура транскраниальной электрической стимуляции

Три группы участников Эксперимента 1 были подвергнуты катодной или анодной стимуляции зоны Вернике либо ее имитации (плацебо-стимуляции), сидя с открытыми глазами без каких-либо отвлекающих условий. Процедура стимуляции длилась 15 минут с дополнительными 30-секундными периодами нарастания (от 0 до 1,5 мА) и снижения (от 1,5 до 0 мА) силы тока в начале и в конце процедуры, соответственно. Процедура плацебо-стимуляции соответствовала описанной выше, за исключением того, что ток подавался только кратковременно, в течение 30 с. в начале и в конце сеанса (с 15-секундными периодами нарастания и снижения силы тока). Поскольку основные ощущения от стимуляции связаны с изменением силы тока (Kessler et al., 2012), подобная процедура плацебо-стимуляции обеспечивала субъективный опыт, аналогичный стандартному опыту реальной ТЭС: безболезненное покалывание в начале и конце сеанса стимуляции.

Для ТЭС был использован стимулятор BrainStim (E.M.S. Srl, Болонья, Италия) с двумя электродами: активный (анодный или катодный,  $5 \times 5$  см) накладывали на кожу головы над зоной Вернике (CP5, согласно расширенной международной системе ЭЭГ 10% — 20%); референтный электрод ( $5 \times 10$  см) располагали вне головы над левой лопаткой. Для достижения хорошего контакта электродов с кожей использовался электродный гель «Унимакс» (Гельтек-Медика, Россия).

Выбранные размеры электродов, плотность тока и продолжительность стимуляции были стандартными и оптимальными для локальной стимуляции (Nitsche et al., 2007; Thair et al., 2017). Поскольку ТЭС не обладает высокой нейроанатомической точностью, с помощью данного монтажа могут стимулироваться не только зона Вернике, но и некоторые близлежащие области мозга. Однако, согласно результатам моделирования электрического потока с использованием программного обеспечения SimNIBS v.3.1.2 (URL: <https://simnibs.github.io/simnibs> (Saturnino et al., 2019); Рис. 28, А2, справа), основные эффекты стимуляции для данного монтажа связаны с височно-теменной корой, включающей зону Вер-

нике, где сила тока самая высокая. Важно подчеркнуть, что нейроанатомически эта модель идентична для обеих полярностей стимуляции и различается только направлением тока.

## **Запись ЭЭГ**

Регистрация ЭЭГ осуществлялась с помощью 128-канальной системы ЭЭГ actiChamp с активными электродами и программного обеспечения BrainVision Recorder (BrainProducts GmbH, Гильхинг, Германия) с частотой дискретизации 1 кГц. Electroды располагались по расширенной системе 10% — 20% с применением электродного геля SuperVisc (EASYCAP GmbH, Хершинг-ам-Аммерзе, Германия), референтный электрод устанавливался в позицию FCz.

## **Обучающий этап**

Ситуация контекстного усвоения была достигнута путем визуального предъявления блоков из пяти предложений (коротких текстов) для каждого нового слова, описывающих ситуации, благодаря которым участники исследования могли определить значения новых слов. Стимулы представлялись на экране с использованием программного обеспечения NBS Presentation v.20.0 (Neurobehavioral Systems, Беркли, Калифорния, США) со следующими характеристиками: цвет фона — серый (RGB: 125, 125, 125), текста — черный (RGB: 0; 0; 0), шрифт Arial, кегль 27. Монитор с частотой обновления 100 Гц был использован для уменьшения задержек и мерцания при визуальном предъявлении. Предложения предъявлялись сначала пословно (500 мс на каждое слово с интервалом 300 мс между словами), затем — целиком (на 5000 мс либо до момента нажатия клавиши), чтобы обеспечить их полное понимание. Наборы из пяти предложений отделялись друг от друга тройным крестом («+++», 2000 мс), а отдельные предложения — одинарным («+», 1000 мс). Последовательность наборов предложений была рандомизирована среди участников. Испытуемые должны были нажать клавишу на пульте RB-740 (Cedrus Corp., Сан-Педро, Калифорния, США) указательным пальцем левой руки после полного прочтения пред-

ложения. Левая рука использовалась для уменьшения вовлечения в двигательную активность левого полушария, в котором у большинства людей находятся речевые области.

### Проверочный этап

Оценка результатов усвоения новых понятий проводилась при помощи трех заданий в Эксперименте 1 и шести — в Эксперименте 2 (Рис. 28). Последовательность заданий была продиктована необходимостью минимизировать любое влияние дополнительного воздействия стимулов на результаты научения: так, первые задания требовали осуществить лексический доступ к новым словам, в то время как последние затрагивали в большей степени семантику. С той же целью задания без подсказок (без предъявления словоформ в лексических заданиях и значений — в семантических) выполнялись раньше, чем задания с подсказкой.

В задании на свободное воспроизведение участники эксперимента должны были впечатать все новые словоформы, которые они запомнили, в подготовленную электронную таблицу (без ограничения по времени). Эта задача выполнялась перед заданием с записью ЭЭГ, чтобы избежать влияния филлеров (стимулов, не участвующих в дальнейшем анализе) на запоминание новых словоформ и дать экспериментаторам время для проверки сопротивления электродов.

Чтобы оценить активацию следов памяти, сформировавшихся в результате контекстного усвоения понятий, вызванные потенциалы, возникающие в ответ на предъявление новых слов и контрольных псевдослов, записывались во время задачи чтения словоформ. Стимульный материал для данного задания включал 20 новых слов (10 абстрактных и 10 конкретных), контрольные слова и псевдослова (по 10) и равное количество орфографически похожих на новые слова реальных слов русского языка и псевдослов (всего 40 объектов); каждый стимул был предъявлен десять раз в случайном порядке. Чтобы обеспечить внимание участников к задаче чтения, были введены 40 дополнительных целевых стимулов (представленных дважды), которые требовали реакции путем нажатия на кнопку. Это были высокочастотные названия городов, состоящие,

как и прочие стимулы, из восьми букв. Сразу после целевых стимулов предъявлялись стимулы-филлеры (слова и псевдослова), чтобы избежать наложения двигательных реакций на анализируемые ВП. Каждый стимул был предъявлен визуально с помощью программного обеспечения NBS Presentation v.20.0 (Neurobehavioral Systems, Беркли, Калифорния, США) в центре экрана (цвет фона — серый (RGB: 125, 125, 125), текста — черный (RGB: 0; 0; 0), шрифт Arial, кегль 24), при этом задача испытуемого заключалась в том, чтобы внимательно прочитать все слова и нажать кнопку ответа, если появится название города. Каждый стимул предъявлялся в течение 600 мс с фиксационным крестом между стимулами (1400 мс).

В задачах узнавания и лексического решения использовались те же стимулы и параметры предъявления, что и в задаче чтения словоформ, за исключением названий городов; каждый стимул предъявлялся один раз. В Эксперименте 1 стимульный материал был разделен поровну и предъявлялся либо в первый, либо во второй день исследования. В задаче узнавания участники должны были указать, встречались они со стимулом во время обучающего блока или нет, нажав на пульте кнопку «да/нет», обозначенную как «1» и «2», соответственно. В задаче лексического решения они должны были нажать кнопку «1», если им было предъявлено слово, имеющее смысл, и «2», если был предъявлен бессмысленный набор букв. В текущем исследовании недавно выученные слова были использованы в качестве ключевых стимулов, что представляло собой модификацию стандартной задачи лексического решения, в которой существующие слова обычно противопоставляются неизвестным псевдословам (например, Perea et al., 2005; Haro et al., 2017).

В задании на формулировку определений в свободной форме участникам предлагалась электронная таблица с новыми словами из обучающего блока (по пять конкретных и пять абстрактных слов в каждый из двух дней Эксперимента 1 либо все 20 сразу — в Эксперименте 2); требовалось своими словами письменно дать их максимально точные и полные определения.

Последняя задача — выбор определений — включала те же новые слова и три определения для каждого из них

(только одно из них являлось правильным), а также вариант «Ничего из вышеперечисленного» в списке предложенных альтернатив. Участники должны были выбрать правильное определение для каждого слова из этих четырех вариантов без ограничения по времени.

## *Статистическая обработка данных*

### **Обработка поведенческих данных (результатов проверочных заданий)**

Результаты выполнения задачи свободного воспроизведения оценивались путем присвоения одного балла за каждую правильно набранную букву в слове (за каждое слово можно было получить максимум 8 баллов), а затем вычисления средней точности для всех вспомненных слов в каждой семантической категории. В Эксперименте 1 во второй день анализировались только те слова, которые не проверялись в первый день, чтобы исключить влияние подкрепления.

Правильность ответов в заданиях на узнавание, лексическое решение и выбор определений измерялась как количество правильных ответов (нажатий кнопки) для каждой группы новых слов (абстрактные/конкретные). Максимально возможное количество баллов для данных заданий в Эксперименте 2 было 10; в Эксперименте 1 применялось только задание на узнавание с максимальным количеством баллов — 5 в каждый из дней. Для задач узнавания и лексического решения также анализировалось время реакции (ВР) как время от начала предъявления стимула до нажатия одной из кнопок. В анализ были включены ВР только для правильных ответов со значениями более 250 мс.

Задача на формулировку определений оценивалась по двум параметрам: соответствию определения заданной словоформе и его точности, которая оценивалась четырьмя экспертами по 5-балльной шкале Лайкерта от 0 (определение не включало ни один из признаков данного понятия) до 5 (определение понятия было полным, точным и содержало все его признаки) баллов. Средние оценки экспертов использовались для статистического анализа результатов. Согласован-

ность оценок оценивалась с помощью коэффициента конкордации Кендалла ( $W > 0,76$  для всех групп испытуемых).

Результаты проверочных заданий сравнивались между типами стимулов (конкретные vs. абстрактные понятия) и между днями (второй вид анализа — только в Эксперименте 1) с использованием непараметрического критерия Уилкоксона для двух зависимых выборок, а также между группами испытуемых (с катодной, анодной и плацебо-стимуляцией) в Эксперименте 1 с помощью  $U$ -критерия Манна — Уитни для независимых выборок. Также был проведен дисперсионный анализ с повторными измерениями (rmANOVA), включающий следующие факторы: День (2 уровня: первый/второй день проверки), Тип стимула (2 уровня: конкретные/абстрактные понятия) и Группа (3 уровня: группа псевдо-стимуляции/катодной/анодной стимуляции). Сравнительный анализ проводился с использованием IBM SPSS v.26.0 (IBM Inc., Армонк, Нью-Йорк, США). Все статистические результаты были скорректированы с использованием поправки Бенджамини — Хохберга для множественных сравнений.

## Анализ ЭЭГ-данных

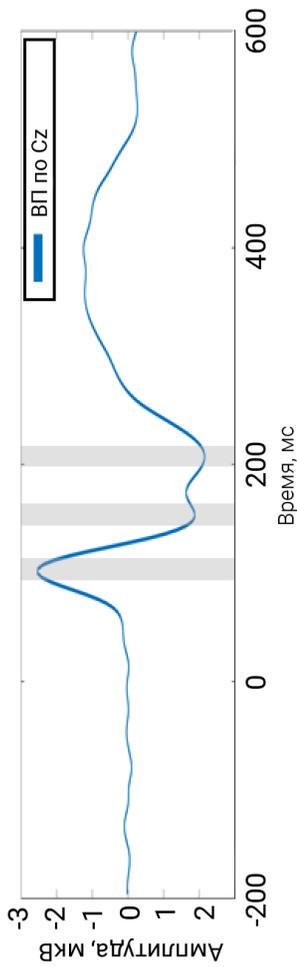
Анализ ЭЭГ/ВП выполнялся с использованием специально созданных сценариев в среде программирования Matlab v.9.2.0 (MathWorks Inc., Нейтик, Массачусетс, США) и набора инструментов Berlin Brain-Computer Interface (BBCI; URL: <https://github.com/bbci>). На первом этапе ЭЭГ-сигналы подвергались полосовой фильтрации в диапазоне от 1 до 45 Гц (фильтры Баттерворта 2-го порядка), снижению частоты дискретизации до 250 Гц и пересчету данных относительно общего среднего референта. Визуальный осмотр и анализ спектра мощности были выполнены для выявления и удаления зашумленных каналов (в среднем было выявлено два шумных канала на одного испытуемого). Один испытуемый был исключен из дальнейшего анализа ЭЭГ из-за большого количества зашумленных каналов. Артефакты движений глаз были удалены с помощью алгоритма Fast Independent Component Analysis (FastICA, Matlab). После этого записи были сегментированы на эпохи длиной 1200 мс, начиная с 200 мс до начала предъ-

явления стимула. Исходный уровень активности, от которого проводилось измерение, был взят в промежутке от  $-200$  мс до  $0$  мс перед началом стимула. Дополнительная очистка сегментов ВП была произведена на основе анализа стандартного отклонения, реализованного в инструментарии BBSI.

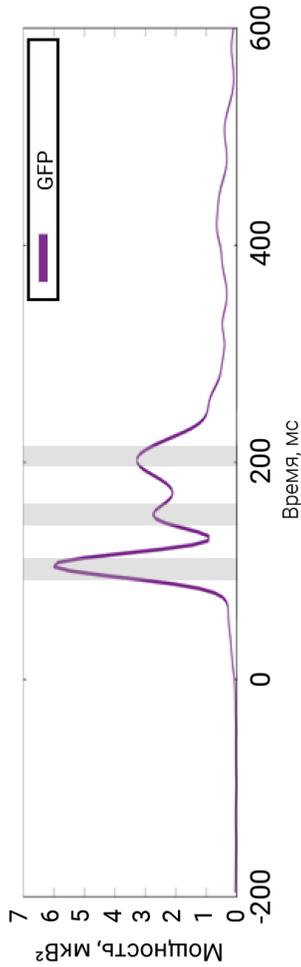
В результате анализа мощности глобального поля (global field power, GFP), рассчитанной для всех типов стимулов, испытуемых и электродов, были обнаружены наиболее заметные пики активности приблизительно через  $106$  мс,  $146$  мс и  $206$  мс после начала предъявления стимула (Рис. 29). Для каждого из этих трех пиков были извлечены средние амплитуды ВП по окружающему его  $20$ -миллисекундному временному диапазону для  $48$  электродов: по восемь электродов в линиях F, FC, C, CP, P и PO (средняя линия была исключена для обеспечения анализа латеральности). Полученные значения были подвергнуты дисперсионному анализу с повторными измерениями (rmANOVA) с помощью IBM SPSS v.26.0 (IBM Inc., Армонк, Нью-Йорк, США) с фактором Тип стимула (три уровня: новые конкретные слова/новые абстрактные слова/контрольные псевдослова) и тремя топографическими факторами: Каудальность (шесть уровней: от ростральных до каудальных электродов), Полушарие (два уровня: левое/правое) и Латеральность (четыре уровня: от центрального электрода к латеральному). Для статистического группового анализа использовался  $t$ -критерий Стьюдента. Для попарного сравнения ВП между типами стимулов для каждого электрода были рассчитаны значения рангового критерия Уилкоксона с кластерным пермутационным анализом для множественных сравнений (Maris, Oostenveld, 2007).

## Результаты

В данном разделе представлены результаты двух независимых экспериментов, объединенных общей парадигмой исследования. По результатам Эксперимента 1 были получены поведенческие данные, позволяющие оценить эффективность усвоения новых понятий с конкретной и абстрактной семантикой после транскраниальной электрической стимуляции зоны Вернике. В ходе Эксперимента 2 были получены и проанализированы данные, демонстрирующие различия в ме-



а. Вызванные потенциалы, измеренные по отведению Cz



б. Мощность глобального поля (GFP)

**Рисунок 29.** Вызванные потенциалы (электрод Cz) и мощность глобального поля (GFP, все электроды), рассчитанные для всех типов стимулов и испытуемых; наиболее заметные пики активности в районе 106, 146 и 206 мс выделены цветом

ханизмах усвоения и обработки двух типов семантики как на поведенческом, так и на нейрофизиологическом уровнях.

Результаты Эксперимента 1 сгруппированы по проверочным заданиям, а Эксперимента 2 — по типам анализа (поведенческие и ЭЭГ-данные). Для удобства сопоставления результатов по заданиям все шкалы поведенческих данных (кроме времени реакции) были переведены в проценты.

## *Результаты Эксперимента 1*

### **Воспроизведение**

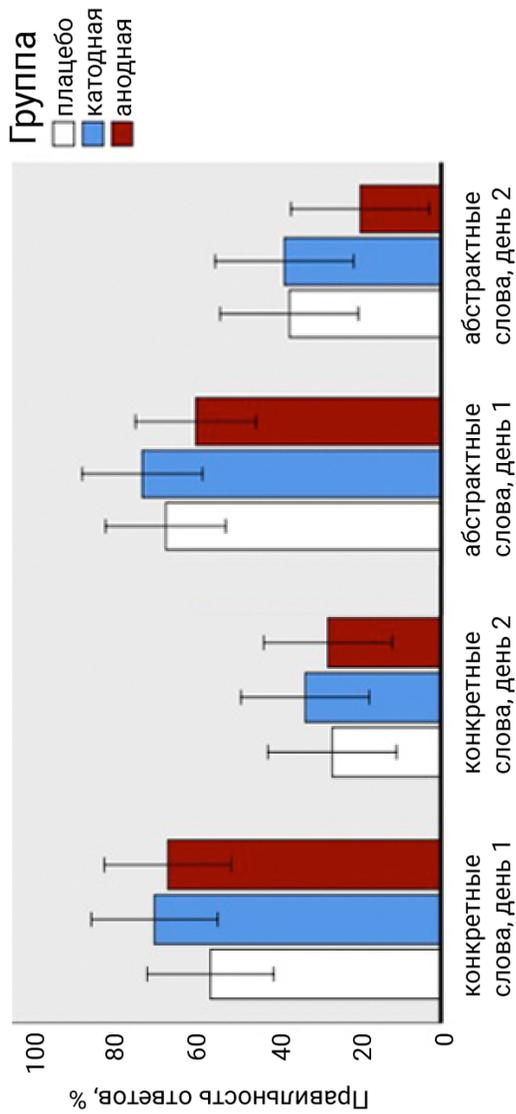
Данное проверочное задание позволяет оценить способность испытуемых воспроизводить по памяти новые словоформы. Несмотря на визуально наблюдаемые численные различия между группами, статистически достоверных различий обнаружено не было как в результате межгрупповых, так и внутригрупповых (по типу стимулов) сравнений. Основные результаты по ANOVA (включая незначимые взаимодействия факторов) представлены в Таблице 8. Однако сравнение между днями проверки показало, что правильность выполнения задания существенно снизилась во второй день по сравнению с первым для групп с анодной ( $Z = 3,0$ ,  $p < 0,01$  для конкретных и  $Z = 3,0$ ,  $p < 0,01$  для абстрактных слов) и плацебо-стимуляцией ( $Z = 2,9$ ,  $p < 0,01$  для конкретных и  $Z = 3,1$ ,  $p < 0,01$  для абстрактных слов; Рис. 30). В то же время группа, получившая катодную стимуляцию, не продемонстрировала такого снижения результатов на второй день ни для одного из двух типов новых слов ( $Z = 2,2$ ,  $p = 0,69$  для конкретных и  $Z = 1,7$ ,  $p = 0,17$  для абстрактных слов).

Таблица 8. Результаты дисперсионного анализа (Эксперимент 1)

Источник	<i>F</i>	<i>Df</i>	<i>df</i> (ошибки)	<i>p</i>	$\eta_p^2$
Воспроизведение					
Группа	1,01	2	69	0,37	0,03
День	93,36	1	69	< 0,01	0,58

Продолжение таблицы 8

Источник	<i>F</i>	<i>Df</i>	<i>df</i> (ошибки)	<i>p</i>	$\eta_p^2$
Тип стимула	0,28	1	69	0,60	< 0,01
День × Группа	0,63	2	69	0,54	0,02
Тип стимула × Группа	0,40	2	69	0,25	0,04
День × Тип стимула	< 0,01	1	69	0,96	< 0,01
День × Группа × Тип стимула	0,01	2	69	0,99	< 0,01
Формулировка определений, соответствие					
Группа	1,85	2	69	0,17	0,05
День	38,17	1	69	< 0,01	0,36
Тип стимула	0,70	1	69	0,41	0,01
День × Группа	1,28	2	69	0,29	0,04
Тип стимула × Группа	0,47	2	69	0,63	0,01
День × Тип стимула	0,01	1	69	0,91	0,01
День × Группа × Тип стимула	0,65	2	69	0,53	0,02
Формулировка определений, правильность					
Группа	1,19	2	69	0,31	0,03
День	99,14	1	69	< 0,01	0,59
Тип стимула	16,92	1	69	< 0,01	0,20
День × Группа	2,81	2	69	< 0,07	0,08
Тип стимула × Группа	0,06	2	69	0,94	< 0,01
День × Тип стимула	3,02	1	69	0,09	0,04
День × Группа × Тип стимула	1,04	2	69	0,36	0,03
Выбор определений					
Группа	2,59	2	69	0,08	0,07
День	28,32	1	69	< 0,01	0,29
Тип стимула	0,18	1	69	0,67	< 0,01
День × Группа	2,66	2	69	0,08	0,07
Тип стимула × Группа	0,91	2	69	0,41	0,03
День × Тип стимула	5,51	1	69	0,02	0,07
День × Группа × Тип стимула	1,74	2	69	0,18	0,05



**Рисунок 30.** Правильность воспроизведения (%) новых конкретных и абстрактных слов сразу после процедуры обучения (День 1) и после ночной консолидации (День 2). Доверительный интервал 95%

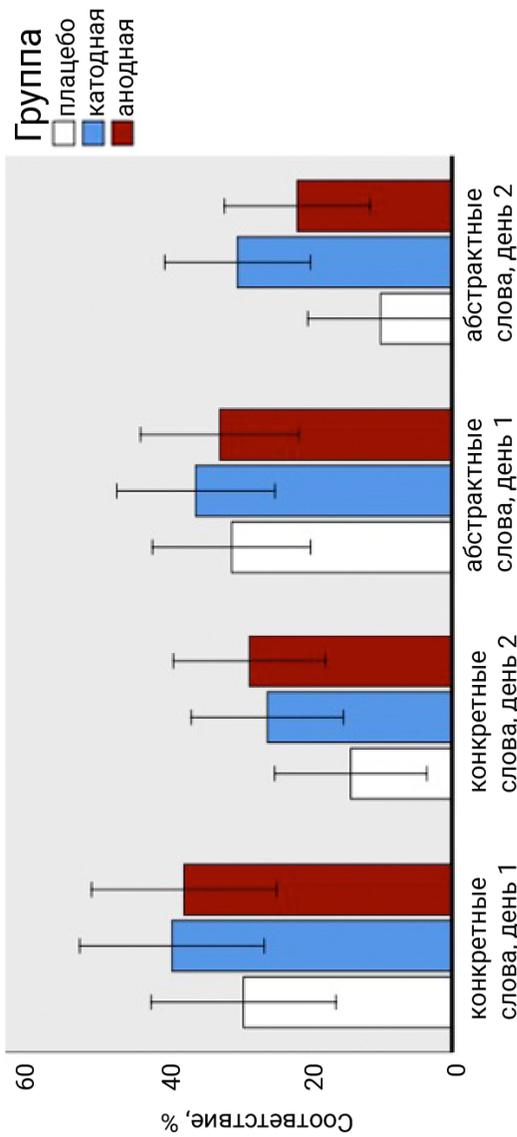
Для большей достоверности результатов ANOVA, помимо анализа по испытуемым (subject analysis или F1), показавшего значимый эффект фактора День ( $F(1, 69) = 93,36$ ,  $p < 0,01$ ,  $\eta_p^2 = 0,58$ ), был также проведен анализ по стимулам (item analysis или F2) ( $F(1, 29) = 86,60$ ,  $p < 0,01$ ,  $\eta_p^2 = 0,75$ ), подтвердивший этот результат, проявившийся в значимом снижении точности воспроизведения новых слов на второй день проверки.

### Формулировка определений

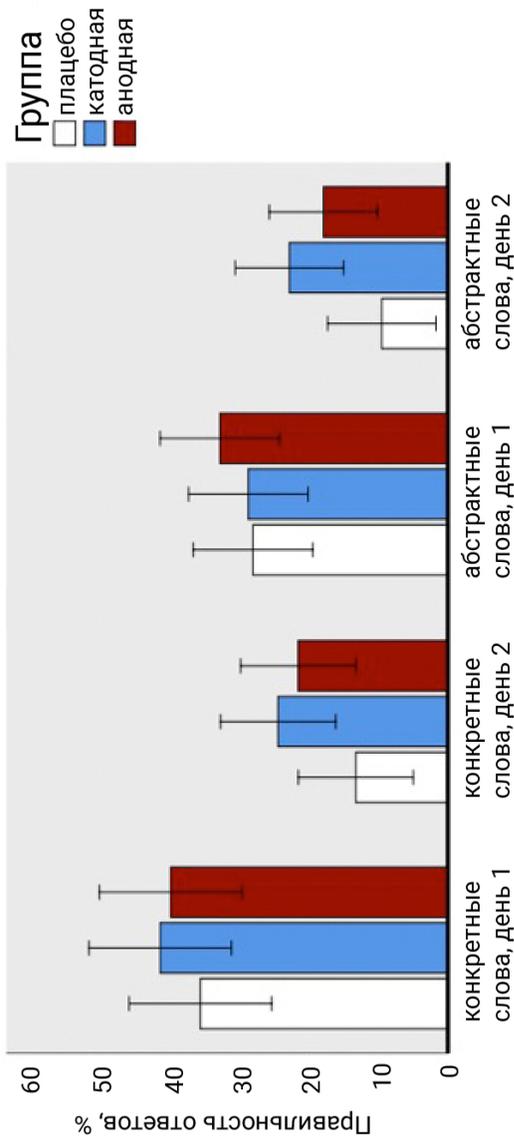
В задании на формулировку определений были проанализированы два параметра: соответствие определения заданной словоформе (Рис. 31) и правильность самого определения (Рис. 32). Для первого параметра (соответствия) трехуровневый анализ F1 ANOVA (включающий в себя факторы День, Группа и Тип стимула) выявил только один основной эффект — эффект фактора День ( $F(1, 69) = 38,17$ ,  $p < 0,01$ ,  $\eta_p^2 = 0,36$ ), в то время как значимого взаимодействия между факторами обнаружено не было. Результаты проверочных заданий, выполненных в первый и второй день (*post hoc* анализ), отличались для разных групп стимуляции. В частности, было обнаружено снижение соответствия определений словоформам для новых абстрактных слов на второй день проверки в группе плацебо ( $Z = 3,1$ ,  $p < 0,01$ ) и на уровне тенденции — в анодной группе ( $Z = 2,0$ ,  $p = 0,07$ ). Однако в катодной группе такого снижения не наблюдалось ( $Z = 1,58$ ,  $p = 0,46$ ).

Анализ F2 ANOVA подтвердил влияние фактора День ( $F(1, 29) = 23,03$ ,  $p < 0,01$ ,  $\eta_p^2 = 0,44$ ), а также выявил влияние фактора Группа ( $F(2, 58) = 8,86$ ,  $p < 0,01$ ,  $\eta_p^2 = 0,23$ ), которое было обусловлено более высокой результативностью испытуемых из групп реальной стимуляции по сравнению с группой плацебо-стимуляции.

В результате проведенного для точности сформулированных определений анализа F1 ANOVA было обнаружено значимое влияние факторов День ( $F(1, 69) = 99,14$ ,  $p < 0,01$ ,  $\eta_p^2 = 0,59$ ) и Тип стимула ( $F(1,69) = 16,92$ ,  $p < 0,01$ ,  $\eta_p^2 = 0,20$ ), а также выявлено взаимодействие данных факто-



**Рисунок 31.** Соответствие определений (%) новым конкретным и абстрактным словам в задании на формулировку определений сразу после процедуры обучения (День 1) и после ночной консолидации (День 2). Доверительный интервал 95%



**Рисунок 32.** Правильность определений (%) для новых конкретных и абстрактных слов в задании на формулировку определений сразу после процедуры обучения (День 1) и после ночной консолидации (День 2). Доверительный интервал 95%

ров на уровне тенденции ( $F(1, 69) = 3,02, p = 0,09, \eta_p^2 = 0,04$ ). Более того, на уровне тенденции было обнаружено взаимодействие факторов День и Группа ( $F(2, 69) = 2,81, p = 0,07, \eta_p^2 = 0,08$ ). ANOVA, проведенный отдельно по каждому проверочному дню, показал влияние фактора Тип стимула в каждый из дней ( $F(1, 69) = 12,78, p < 0,01, \eta_p^2 = 0,16$  — для первого и  $F(1, 69) = 5,55, p = 0,02, \eta_p^2 = 0,07$  — для второго дня проверки), при этом никаких взаимодействий между факторами не наблюдалось. Для второго дня был выявлен межгрупповой эффект на уровне тенденции ( $F(2, 69) = 2,99, p = 0,06, \eta_p^2 = 0,08$ ), что было подтверждено в результате *post hoc* анализа: катодная группа оказалась значимо более успешной по сравнению с группой плацебо-стимуляции в точности сформулированных определений для абстрактных слов на второй день проверки ( $Z = 2,2, p = 0,04$ ).

Сравнение результатов между днями (с помощью *post hoc* анализа) продемонстрировало общее значимое снижение точности определений для обоих типов слов в группах с анодной ( $Z = 3,0, p < 0,01$  для конкретной и  $Z = 3,5, p < 0,01$  для абстрактной семантики) и плацебо-стимуляцией ( $Z = 4,0, p < 0,01$  для конкретной и  $Z = 3,8, p < 0,01$  для абстрактной семантики), а также значимое снижение этого показателя в катодной группе для конкретных слов ( $Z = 3,6, p < 0,01$ ) и лишь на уровне тенденции — для абстрактных ( $Z = 2,2, p = 0,06$ ). *Post hoc* сравнение между типами семантики выявило более высокую правильность определений для конкретных слов (по сравнению с абстрактными) в первый день проверки в катодной группе ( $Z = 2,9, p < 0,01$ ) и во второй день — в анодной ( $Z = 2,4, p = 0,02$ ).

F2-анализ подтвердил основное влияние факторов День ( $F(1, 29) = 56,79, p < 0,01, \eta_p^2 = 0,66$ ), Тип стимула ( $F(1, 29) = 6,91, p = 0,01, \eta_p^2 = 0,44$ ) и Группа ( $F(2, 58) = 7,85, p < 0,01, \eta_p^2 = 0,19$ ), но не обнаружил каких-либо взаимодействий между факторами.

### Выбор определений

В результате анализа F1 ANOVA было выявлено значимое влияние фактора День ( $F(1, 69) = 28,32, p < 0,01, \eta_p^2 = 0,29$ ),

а также значимое взаимодействие между факторами День и Тип стимула ( $F(1, 69) = 5,51, p = 0,02, \eta_p^2 = 0,07$ ) и взаимодействие на уровне тенденции между факторами День и Группа ( $F(2, 69) = 2,66, p = 0,08, \eta_p^2 = 0,07$ ). После этого были проведены два независимых F1-анализа для каждого из дней проверки, по результатам которых было обнаружено влияние фактора Группа для второго дня на близком к достоверному уровне значимости ( $F(2, 69) = 2,94, p = 0,06, \eta_p^2 = 0,08$ ). Этот результат был подтвержден *post hoc* анализом, показавшим в ходе попарного сравнения более высокую правильность выбора определений к новым абстрактным словам в группе с анодной стимуляцией по сравнению с группой плацебо-стимуляции, однако только на уровне тенденции ( $Z = -2,2, p = 0,09$ ; Рис. 33).

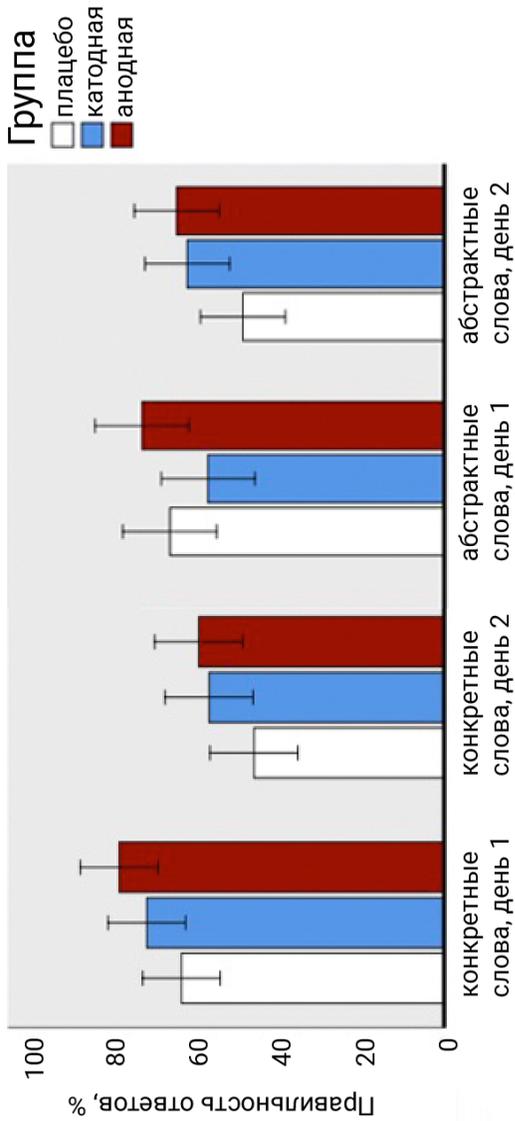
Внутригрупповое сравнение установило наличие значимых различий в точности выбора определений между двумя днями проверки. А именно — снижение результативности выполнения задания на второй день проверки (по сравнению с первым днем) было обнаружено для абстрактной ( $Z = 2,7, p = 0,02$ ) и конкретной ( $Z = 2,4, p = 0,03$ ) семантики в группе плацебо-стимуляции и только для конкретной семантики — в обеих группах, получавших реальную стимуляцию ( $Z = 3,2, p < 0,01$  в анодной и  $Z = -2,3, p = 0,04$  в катодной группе). Попарное сравнение двух типов семантики выявило наличие эффекта конкретности только в катодной группе в первый день проверки ( $Z = -2,2, p = 0,04$ ).

Анализ F2 также выявил влияние фактора День ( $F(1, 29) = 19,63, p < 0,01, \eta_p^2 = 0,40$ ) и взаимодействие между факторами День и Группа ( $F(2, 58) = 2,85, p = 0,07, \eta_p^2 = 0,09$ ). Помимо этого, было установлено значимое влияние фактора Группа ( $F(2, 58) = 8,73, p < 0,01, \eta_p^2 = 0,23$ ).

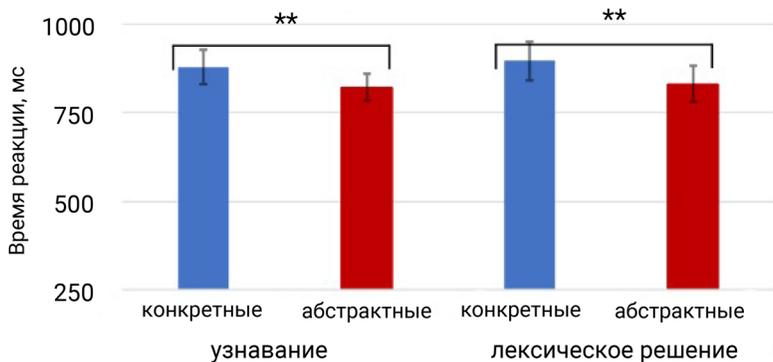
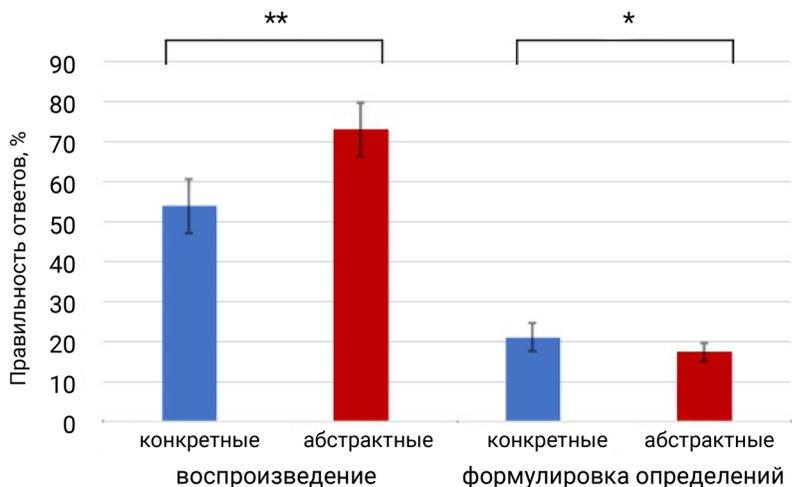
## **Результаты Эксперимента 2**

### **Поведенческие данные**

На Рис. 34 и в Таблице 9 представлены поведенческие результаты Эксперимента 2 для новых конкретных и абстрактных слов, а также результаты статистического сравнения



**Рисунок 33.** Правильность выбора определений (%) для новых конкретных и абстрактных слов сразу после процедуры обучения (День 1) и после ночной консолидации (День 2). Доверительный интервал 95%



**Рисунок 34.** Поведенческие результаты для новых конкретных и абстрактных слов. Условные обозначения: планки погрешностей показывают стандартные ошибки среднего; уровень значимости различий \* $p < 0,1$ , \*\* $p < 0,05$

по параметрам правильности ответов и времени реакции между данными типами стимулов.

Таблица 9. Описательные статистики и парные сравнения поведенческих данных. Условные обозначения:  
\* — уровень значимости  $p < 0,05$

Переменные	Среднее ± стандартная ошибка		Критерий Уилкоксона	
	Конкретные слова	Абстрактные слова	$p$	$Z$
Воспроизведение. Правильность (%)	53,78 ± 6,70	72,91 ± 6,61	0,05*	-1,97
Узнавание. Правильность (%)	65,33 ± 4,20	64,00 ± 4,33	не значимо	
Узнавание. Время реакции (мс)	879 ± 48	822 ± 38	0,01*	-2,45
Лексическое решение. Правильность (%)	30,00 ± 5,55	28,67 ± 5,50	не значимо	
Лексическое решение. Время реакции (мс)	897 ± 56	831 ± 51	0,03*	-2,20
Формулировка определений. Правильность (%)	20,97 ± 3,48	17,21 ± 2,45	0,08	-1,73
Формулировка определений. Соответствие (%)	17,24 ± 3,74	16,21 ± 3,10	не значимо	
Выбор определений. Правильность (%)	53,30 ± 4,13	49,33 ± 3,98	не значимо	

В результате прямого попарного сравнения эффективности усвоения двух типов слов выяснилось, что испытуемые лучше воспроизводили словоформы, соответствующие абстрактным словам ( $Z = -1,97$ ,  $p = 0,05$ ), а также быстрее реагировали на них в заданиях на узнавание ( $Z = -2,45$ ,  $p = 0,01$ ) и лексическое решение по сравнению с конкретными словами ( $Z = -2,20$ ,  $p = 0,03$ ). Конкретные слова, в свою очередь, были лучше усвоены на семантическом уровне, что проявилось в более высокой точности сформулированных

определений по сравнению с абстрактными словами, но лишь на уровне тенденции ( $Z = -1,73, p = 0,08$ ).

При анализе точности выполнения заданий на узнавание, лексическое решение и выбор определений не было выявлено каких-либо значимых различий, связанных с типом выученных слов.

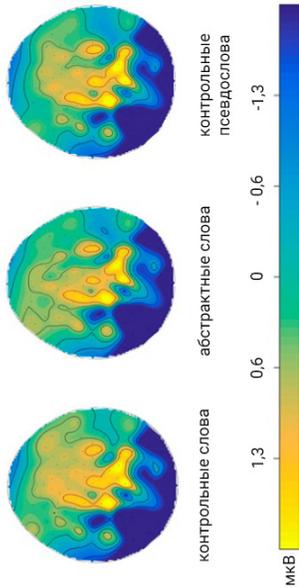
### ЭЭГ-данные

Вызванные потенциалы наблюдались в ответ на все предъявленные типы стимулов. Для определения наиболее значимых интервалов для дальнейшего анализа были выделены основные пики в мощности глобального поля, посчитанной с усреднением ВП по всем испытуемым, электродам и условиям. Используя эту объективную оценку общей временной динамики нейрональной активности, мы обнаружили наиболее заметные пики в районе 106, 146 и 206 мс от начала предъявления стимула (Рис. 29). Далее мы вычислили средние амплитуды ВП в диапазоне 20 мс вокруг этих пиков для каждого условия и испытуемого и подвергли их статистическому анализу для того, чтобы оценить различия между ключевыми типами стимулов (новыми конкретными и абстрактными словами, а также контрольными псевдословами). В то время как самый ранний временной интервал не показал каких-либо существенных результатов, статистически значимые различия были обнаружены как во втором (136–156 мс), так и в третьем (196–216 мс) временных интервалах, причем эффекты различались в зависимости от латентности ответов и сравниваемых типов стимулов (Рис. 35).

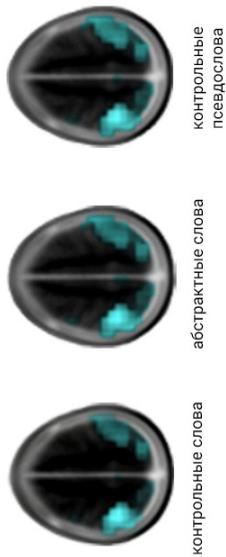
Для пика на 146 мс дисперсионный анализ с повторными измерениями (rmANOVA) показал значимое взаимодействие факторов Тип стимула и Полушарие ( $F(2, 56) = 4,84, p = 0,01, \eta_p^2 = 0,15$ ), а также Тип стимула, Полушарие и Латеральность ( $F(4, 111) = 1,97, p = 0,036, \eta_p^2 = 0,09$ ). Анализ с помощью  $t$ -критерия Стьюдента, проведенный *post hoc*, выявил, что данные взаимодействия объясняются значимо более сильной активацией, возникающей в ответ на конкретные слова, по сравнению с абстрактными, которая

## а. Временной интервал 136–156 мс

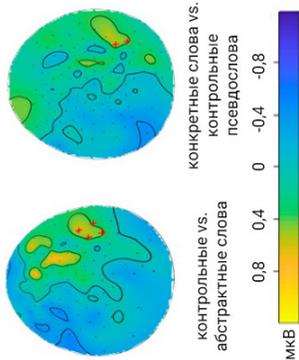
### Топография ответов



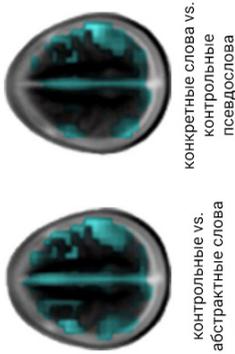
### Распределение источников (LORETA)



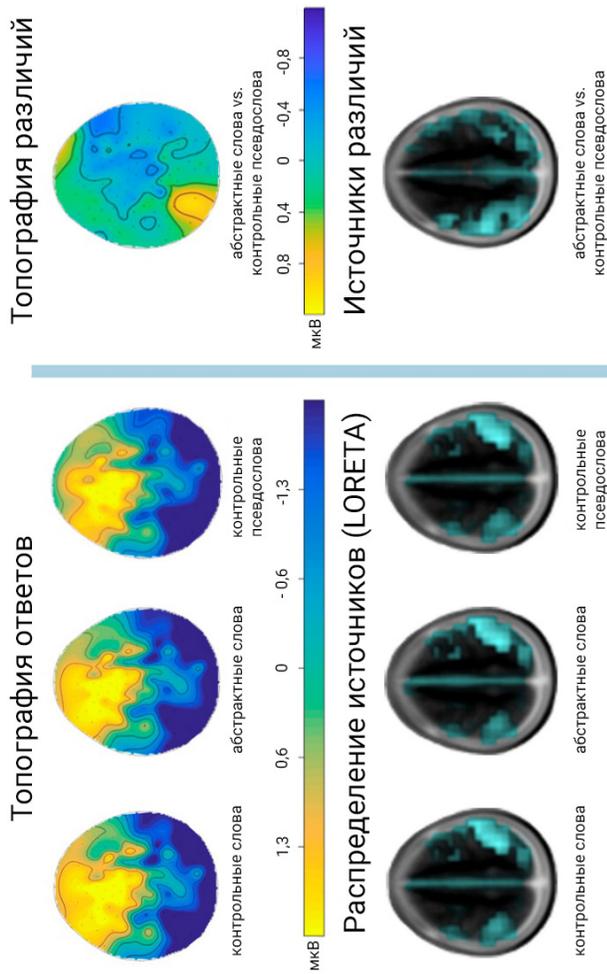
### Топография различий



### Источники различий



## 6. Временной интервал 196–216 мс



**Рисунок 35.** Активация головного мозга в ответ на предъявление новых конкретных и абстрактных слов и контрольных псевдослов во временных интервалах 136–156 и 196–216 мс для статистически значимых различий, выявленных с помощью дисперсионного анализа. Слева: топографии ответов и распределения источников (LORETA) ( $z = 50$ ) для новых слов и контрольных слов. Справа: топографии различий и источники различий в ВП для значимых сравнений между типами стимулов. Условные обозначения: красные кресты обозначают электроды со значимой разницей амплитуд, сохранившиеся после поправок в кластерном пермутационном анализе

проявилась в виде более негативной вентральной активности в левом полушарии ( $t(28) = -2,46, p = 0,02$ ; средние амплитуды  $-0,32 \pm 0,21$  мкВ vs.  $-0,07 \pm 0,22$  мкВ) и более распределенной позитивной активностью — в правом ( $t(28) = 3,13, p < 0,01$ ;  $0,34 \pm 0,18$  мкВ vs.  $0,02 \pm 0,20$  мкВ). Более того, в ответ на предъявление новых конкретных (но не абстрактных) слов наблюдались более позитивные ВП в правом полушарии по сравнению с контрольными псевдословами ( $t(28) = 2,06, p = 0,05$ ;  $0,34 \pm 0,18$  мкВ vs.  $0,11 \pm 0,21$  мкВ).

В третьем временном окне около 206 мс *rmANOVA* выявил статистически значимое взаимодействие между факторами Тип стимула и Полушарие ( $F(2, 56) = 3,74, p = 0,03, \eta_p^2 = 0,12$ ). В результате попарного *post hoc* сравнения выяснилось, что такое взаимодействие связано со значимо более положительной полярностью ВП, возникающих в ответ на предъявление новых абстрактных слов, чем в ответ на предъявление контрольных псевдослов, в левом полушарии ( $t(28) = 2,28, p = 0,03$ ;  $0,38 \pm 0,15$  мкВ vs.  $0,14 \pm 0,16$  мкВ) и более отрицательной полярностью ВП, возникающих в ответ на предъявление тех же абстрактных слов, по сравнению с предъявлением не проходивших обучение псевдослов — в правом полушарии ( $t(28) = -2,43, p = 0,02$ ;  $-0,72 \pm 0,15$  мкВ vs.  $-0,43 \pm 0,17$  мкВ). Анализ распределенных источников LORETA показал двустороннее височно-теменное распределение источников корковой активности для всех стимулов. Максимальная активация в ответ на предъявление как новых слов, так и контрольных псевдослов была обнаружена в ниже-теменной области (поле Бродмана 40) левого полушария во втором временном интервале и в правом полушарии (поле Бродмана 40) — в третьем. В той же области наблюдалась максимальная активация источника межстимульных различий, которая, однако, была по-разному латерализована для разных попарных сравнений стимулов: максимум был расположен в левом полушарии для абстрактных слов по сравнению с контрольными псевдословами в диапазоне 196–216 мс, в правом полушарии для абстрактных слов по сравнению с конкретными словами — в диапазоне 136–156 мс и для

конкретных слов по сравнению с контрольными стимулами — в обоих временных интервалах (Рис. 35).

## Обсуждение

В настоящее время накоплено достаточное количество данных, касающихся нейрональных репрезентаций конкретной семантики и, в частности, связей между формированием репрезентаций конкретных понятий и сенсомоторным опытом. Однако механизмы усвоения абстрактной семантики гораздо более неуловимы. Что такое абстрактное понятие с нейрофизиологической точки зрения? В конце концов, вся информация, полученная мозгом, поступает через рецепторы, преобразующие физические характеристики сигналов в нейрональную активность. Если стимул не связан с четкими физическими характеристиками, как он вообще может быть представлен в мозге? Хотя когнитивные объяснения абстрактной семантики имеют длительную историю, нейрональные механизмы формирования абстрактных понятий пока изучены недостаточно, а результаты исследований в этой области довольно противоречивы. Причин этих противоречий может быть множество, в т. ч. различные параметры стимуляции, экспериментальные задачи, методы нейровизуализации и пр. Поэтому одной из проблем при изучении того, как человек воспринимает конкретные и абстрактные понятия, является создание адекватной парадигмы экспериментального исследования данного вопроса. На наш взгляд, для решения этой проблемы необходимо использовать междисциплинарный подход, обращаясь к знаниям как из области психологии, так и нейрофизиологии. Так, некоторые из эффектов усвоения разных типов семантики четко проявляются на поведенческом уровне. Например, как уже говорилось выше, эффект конкретности может быть объективно измерен сторонним наблюдателем. Это выражается в первую очередь в скорости реакции на абстрактные и конкретные концепты. Но будет ли этот эффект проявляться на нейрональном уровне?

В наших исследованиях мы попытались понять и объяснить различия между механизмами усвоения конкретной

и абстрактной семантики как на поведенческом, так и на нейрофизиологическом уровнях. Одна из проблем, с которой мы столкнулись, — это создание адекватной парадигмы для исследования процесса научения новым абстрактным и конкретным понятиям. Как было подчеркнуто в разделе *Введение*, тяжело объективно оценить различия в восприятии абстрактных и конкретных концептов, которые уже усвоены человеком, т. к. налагается много факторов, в т. ч. связанных со знакомостью слова — уже существующими представлениями о значении понятия, усвоенного ранее в определенном контексте, и, таким образом, смешанного с ситуацией научения, опытом повседневного использования и устоявшимися ассоциациями. В исследованиях, которые проводятся в этом направлении, принято использовать либо новые словоформы (псевдослова без реального смыслового наполнения) (de Groot, Keijzer, 2000; Mestres-Missé et al., 2014), либо незнакомые иностранные слова с хорошо известной семантикой (van Hell, Mahn, 1997). Чтобы преодолеть такие ограничения ранее использовавшихся парадигм, мы разработали уникальный дизайн исследования, который позволяет минимизировать влияние личного опыта использования слов и сосредоточиться именно на процессе усвоения новых понятий на уровне словоформы и соответствующей ей семантики в зависимости от абстрактности/конкретности. Технология предъявления новых слов в парадигме контекстного усвоения позволила приблизить условия эксперимента к реальным условиям речевого научения. Хорошо известно, что овладение речью в детском возрасте происходит естественным путем в процессе взаимодействия со взрослыми без специализированного обучения. Ребенок узнает предназначение того или иного объекта, обозначаемого некоторым словом, из контекста. Он овладевает его (конкретным) значением в процессе многократных манипуляций с самим объектом. В случае с абстрактными понятиями объект-референт отсутствует, но овладение значением происходит также через обобщение и классификацию: выделение общих признаков явления, соотнесение с образами или символами, установление отношений между объектами или явлениями. Разработанная нами технология позволяет оценить процесс усвоения новой конкретной и абстрактной се-

мантики, используя стимулы с полностью контролируруемыми и системно модулируемыми семантическими, физическими и психолингвистическими параметрами; она также дает возможность разделить механизмы научения новой словоформе и механизмы усвоения семантики как таковой. Таким образом, мы можем утверждать, что в результате проведенных исследований мы могли оценить влияние именно конкретности/абстрактности нового слова на процесс его встраивания в лексикон субъекта. Более того, исследуя одновременно поведенческий процесс усвоения и его мозговые основы, можно определить системы, которые участвуют в построении новых репрезентаций, и их различия по типам семантики.

Также мы предприняли попытку разработать наиболее полную и адекватную батарею тестов для проверки усвоения новых слов. С этой целью было предложено разбить оценку процесса усвоения на последовательные этапы и на каждом из них провести свое измерение. В частности, были выделены такие аспекты, как запоминание новой словоформы как таковой (тестовые задания на воспроизведение и узнавание), присвоение словоформе значения (задание на лексическое решение), понимание смысла (задания на свободную формулировку определений и семантическое суждение). Соответственно, так появилась возможность оценить качество усвоения нового понятия для каждого из этих аспектов и отследить различия в усвоении конкретных и абстрактных понятий как на лексическом (овладение словоформой), так и семантическом (овладение содержанием понятия) уровнях.

На наш взгляд, наиболее перспективным является комплексный подход к изучению механизмов усвоения конкретной и абстрактной семантики, который заключается в сочетании нейростимуляции и нейровизуализации. С одной стороны, нейростимуляция выявляет причинно-следственные связи между определенной зоной мозга и ее функциями<sup>10</sup>. С другой стороны, нейровизуализация дает возможность выявлять активность зон мозга, сопутствующую тем или иным

---

<sup>10</sup> Проблемы разработки протоколов подобных исследований подробно описаны нами ранее в текстовом и видеоформате (Blagovetchchenski et al., 2019).

когнитивным процессам, в данном случае — усвоению новых понятий. Топографические различия в усвоении конкретных и абстрактных концептов, с нашей точки зрения, могут быть тесно связаны с временным паттерном обработки сигнала. Сочетание поведенческих методик с методами нейростимуляции и нейровизуализации позволяет выявить специфичность усвоения конкретной и абстрактной семантики на уровне продуктивности когнитивной деятельности и физиологических переменных, детализировать каждый из этапов усвоения как по временным интервалам, так и по топографии зон мозга, вовлеченных в процесс усвоения.

### ***Продуктивность усвоения конкретной и абстрактной семантики***

Различия между обработкой новых конкретных и абстрактных понятий проявляются уже на поведенческом уровне. Результаты усвоения конкретных понятий (по сравнению с абстрактными) были несколько лучше в одном из семантических заданий, что выражалось в более высоком качестве сформулированных определений (на уровне тенденции). В целом эти результаты напоминают хорошо известный эффект конкретности. В то же время, они не показывают явного преимущества конкретных слов перед абстрактными с точки зрения их усвоения, зафиксированного в ряде предыдущих исследований, которые, среди прочего, продемонстрировали более эффективное усвоение конкретных слов по сравнению с абстрактными независимо от процедуры обучения (Palmer et al., 2013; Ding et al., 2017; Martin, Tokowicz, 2020). Не столь явно выраженный эффект конкретности в полученных нами данных потенциально может быть объяснен строго контролируемым характером разработанного экспериментального дизайна, в котором два набора слов были сбалансированы по своим психолингвистическим характеристикам — таким, как длина словоформы и частота последних триграмм — и усваивались идентичным образом в контексте пяти предложений одинаковой длины, постепенно раскрывающих значение нового слова. Однако мы не можем утверждать, что такие же результаты будут обнаружены при предъявлении стимуль-

ного материала в другой модальности (аудиально или в виде изображений). Кроме того, возможным объяснением неявно выраженного эффекта конкретности в нашем исследовании является использование не только новых словоформ, но и новых значений. В большинстве подобного рода исследований стимульным материалом выступали либо ранее знакомые испытуемым слова, либо псевдослова, соотнесенные с уже известной семантикой, что могло вызывать у испытуемых ассоциации с соответствующей знакомой им словоформой и/или значением. Также мы постарались создать идентичные условия усвоения новых конкретных и абстрактных слов. Вышеперечисленные особенности дизайна исследования могли нивелировать эффект конкретности в большинстве проверочных заданий за исключением задания на формулировку определений ( $p < 0,08$ ). При этом полученные в данном задании различия могут быть связаны не столько с различиями в усвоении как таковыми, сколько с тем, что конкретным объектам легче дать определение, чем абстрактным явлениям. Таким образом, результаты выполнения поведенческих заданий позволяют предположить, что эффект конкретности, обнаруженный в предыдущих исследованиях, может быть обусловлен не только семантическими признаками конкретности и абстрактности, но и различными психолингвистическими свойствами слов (например, длиной и частотностью) или возрастом, в котором происходило их усвоение, и другими характеристиками.

В дополнение к сказанному стоит уточнить, что в поведенческих задачах, проверяющих усвоение на лексическом уровне, мы наблюдали более высокую результативность для абстрактных слов как по правильности ответов (с более высокими показателями в задании на свободное воспроизведение), так и по времени реакции (с более быстрым узнаванием и категоризацией слово/не слово). Это еще больше противоречит эффекту конкретности, о котором упоминалось ранее. Примечательно, что аналогичные результаты были получены в другом исследовании (Kousta et al., 2011), в котором было обнаружено, что если психолингвистические переменные и условия предъявления стимульного материала сбалансированы (как и в нашей парадигме), то скорость реакции на абстрактные слова выше, чем на конкретные. Авторы предположили, что это происходит

из-за того, что абстрактные слова более эмоционально валентны, чем конкретные, что, в свою очередь, приводит к их более быстрой обработке, — это хорошо известный «эффект эмоциональности» слов (Kissler et al., 2006; Citron, 2012; Pauligk et al., 2019). Полученные нами результаты в оценке эффективности усвоения также могут быть объяснены более высокой эмоциональностью абстрактных слов. В частности, при экспертной оценке стимулов мы обнаружили, что абстрактные слова были оценены как более эмоциональные. Следовательно, они вызвали более быстрые ответы, чем конкретные, в задачах на узнавание и лексическое решение. Точно так же эмоциональность может объяснять значительно более высокие показатели свободного воспроизведения абстрактных слов — вероятно, из-за более легкого доступа к эмоционально ярким ассоциациям. Подтверждением сказанного служит работа С. Паулиг и ее коллег (Pauligk et al., 2019), в которой было показано, что эмоциональные слова вызывают более правильные ответы в отложенной задаче на лексическое решение, чем нейтральные, но только в том случае, если они абстрактны. В другой работе было обнаружено, что эмоциональная валентность способствует усвоению абстрактных, но не конкретных слов, причем этот эффект более надежен для эмоционально отрицательных слов, чем для положительных (Ferré et al., 2015). Интересно, что эффект эмоциональности в нашем исследовании был обнаружен только на лексическом уровне, то есть на уровне усвоения словоформ (в заданиях на воспроизведение, узнавание и лексическое решение), но не был зарегистрирован в семантических задачах, которые касались овладения значением понятия. Частично это может быть связано с невозможностью надежной регистрации времени решения в задачах на свободную формулировку определений и выбор определений. В будущих исследованиях можно было бы изучить этот вопрос, ограничив время ответа, чтобы проверить наличие аналогичных эффектов на семантическом уровне. Таким образом, с точки зрения поведения мы обнаружили довольно похожие результаты научения для двух типов семантики (конкретной и абстрактной) — с некоторыми различиями в зависимости от специфики проверочных заданий. В целом конкретные слова показывают несколько более высокую результативность в задачах, оценивающих усвоение

значений понятий, тогда как абстрактные слова имеют преимущество в задачах, проверяющих лексические характеристики усвоения. Это демонстрирует, что особенности новых слов — такие, как их значение и словоформа — могут усваиваться и активироваться по-разному для двух семантических типов, что, в свою очередь, отражается как на поведенческом, так и на нейрофизиологическом уровнях, что будет рассмотрено далее.

### ***Различия в усвоении абстрактной и конкретной семантики в первый и второй день***

Очень важным фактором в нашем исследовании оказалась оценка усвоения новых словоформ на следующий день после обучения. На наш взгляд, отсутствие такой оценки является недостатком многих исследований. Именно консолидация памяти во время сна может играть важную роль в усвоении в целом и в разнице усвоения конкретных и абстрактных понятий в частности. Показанный нами эффект дня оценки говорит о существенной роли процессов консолидации в усвоении конкретных и абстрактных понятий. Например, в эксперименте с ТЭС общее снижение успешности выполнения заданий на второй день (что само по себе удивительно, учитывая сложность задачи и количество и разнообразие новых слов) сопровождалось в каждый из дней различиями в точности выполнения контрольных задач между тремя группами стимуляции и типами лингвистических стимулов. Наиболее интересным результатом здесь является то, что, в то время как снижение количества воспроизведенных на второй день слов было значимым для групп с анодной и плацебо-стимуляцией и для конкретных, и для абстрактных понятий, оно не было значимым после катодной стимуляции. Это позволяет предположить положительное влияние катодной ТЭС зоны Вернике на консолидацию следов долговременной памяти, соответствующих новым словоформам.

По результатам семантических заданий правильность определений абстрактных слов на второй день была выше в группе катодной стимуляции по сравнению с группой плацебо-стимуляции, в то время как для группы анодной стимуляции аналогичный эффект не был обнаружен. Снижение

качества определений на второй день проверки наблюдалось для абстрактных слов как в группе с плацебо-, так и с анодной стимуляцией, однако не было статистически значимым после катодной ТЭС. Аналогичным образом задание на выбор определений показало значительное снижение правильности ответов для абстрактных и конкретных понятий на следующий день после обучения в группе плацебо-стимуляции, а также для конкретной семантики в анодной группе, но аналогичного ухудшения ответов для катодной группы обнаружено не было. Данные результаты соотносятся с эффектами стимуляции, которые мы наблюдали в задании на свободное воспроизведение, и также свидетельствуют о положительном влиянии катодной ТЭС области Вернике на закрепление новых слов в памяти. Стоит уточнить, что на семантическом уровне такое влияние стимуляции, по-видимому, более способствует консолидации абстрактных понятий, указывая на роль зоны Вернике в их усвоении, консолидации и хранении в памяти.

Обнаруженное влияние ТЭС на более долгосрочные результаты усвоения — спустя сутки — подтверждает высказанное в предыдущих работах предположение о том, что сон может иметь важное значение для научения (Davis, Gaskell, 2009) из-за его ключевой роли в консолидации памяти и переводе новой информации из кратковременного хранилища в долговременное (Rasch, Born, 2013). Было выявлено, что сон облегчает запоминание абстрактных отношений между словами искусственного языка у младенцев (Gómez et al., 2006) и способствует интеграции только что выученных слов в лексикон как у детей, так и у взрослых (Dumay, Gaskell, 2007; Henderson et al., 2012).

### ***Вовлеченность различных зон мозга в усвоение двух типов семантики***

По результатам наших исследований мы можем констатировать наличие сложного паттерна ЭЭГ-активации, который в целом соответствует паттерну обработки сложных сигналов. Анализ источников также подчеркивает вовлечение различных зон мозга в обработку конкретных и абстрактных понятий. На наш взгляд, так как вопрос об особенностях активации мозга при обработке абстрактных и конкретных по-

нятий в первую очередь связан со временем реакции, крайне важен подход, учитывающий значения различных временных паттернов вплоть до нескольких миллисекунд. Именно ЭЭГ высокой плотности позволяет вычленить важные особенности научения абстрактным и конкретным понятиям. Так, удалось показать, что для абстрактных и конкретных слов такая активация различается. Анализ GFP показывает, что имеется три наиболее выраженных пика активности, возникающей при зрительном восприятии как конкретных, так и абстрактных слов: в данной работе они проявились в районе 106, 146 и 206 мс после предъявления стимула. С одной стороны, это указывает на схожий процесс обработки данных понятий — иначе имелся бы разброс таких пиков. Но детальный анализ пространственного распределения такой активности показывает некоторые различия в обработке конкретных и абстрактных слов. Особый интерес вызывает разница в относительно ранних компонентах активации. Так, были обнаружены достоверные различия паттернов ВП для абстрактных и конкретных понятий на интервале 136–156 мс. Как видно на топограммах (см. Рис. 35), основная разница наблюдается в правых нижних височно-теменных областях. Это подтверждает и анализ кортикальных источников описанных электрофизиологических различий.

Данные наших исследований могут указывать на более неоднозначную картину по сравнению с той, которая была представлена в некоторых предыдущих работах. Например, ранее указывалось на различия в восприятии абстрактных и конкретных понятий в таких компонентах ВП, как N400 и N700 (West, Holcomb, 2000; Barber et al., 2013; Gullick et al., 2013; Hnazaee et al., 2018; Murphy, 2021). В некоторых работах была показана разница ВП на интервале 300–400 мс (Adorni, Proverbio, 2012). В то же время результаты, полученные в нашем исследовании, позволяют сделать вывод о том, что обработка абстрактных и конкретных слов идет относительно быстро: разница между ними выявляется спустя менее чем 200 мс после появления стимула. Возможно, отсутствие ранних эффектов во многих предыдущих работах связано именно с особенностями использованных в них парадигм: применение менее сбалансированных стимулов размы-

вает картину усредненных ответов мозга на ранних этапах обработки. Стоит, однако, подчеркнуть, что, исходя из анализа ВП, мы не можем говорить, что обработка конкретных понятий происходит быстрее. Можно только судить о том, что имеется разница в обработке абстрактных и конкретных слов на относительно ранних этапах — вероятно, даже более ранних, чем принято считать. Данное предположение согласуется с результатами некоторых исследований (например, П'ушенюк et al., 2008). Как уже упоминалось выше, основное различие между топограммами ВП для абстрактных и конкретных понятий локализуется в правом полушарии. Стоит подчеркнуть, что выявленные нами паттерны активации согласуются с литературными данными (Zaidel, Schweiger, 1984; Larsen et al., 2004; Lindell, 2006). Видна четкая активация зоны Вернике и ее правополушарного гомолога. Однако, исходя из полученных нами данных, крайне сложно выявить только одну небольшую зону в мозге, связанную с той или иной активностью (см. Рис. 35). В большинстве случаев прослеживается распределенная активность с некоторыми локальными максимумами. Тот факт, что достоверные различия обнаруживаются в правом полушарии, может говорить лишь о том, что при обработке конкретных понятий данное полушарие вовлекается в большей степени (по сравнению с обработкой абстрактных).

Если сравнивать наши результаты и результаты, полученные ранее при помощи фМРТ и описанные в литературе, можно увидеть некоторые различия между ними. Так, имеются данные, свидетельствующие о различной активации левой нижней лобной извилины при обработке абстрактных и конкретных понятий, не обнаруженные в нашем эксперименте. Возможно, в данном случае имеют место именно различия между методами ЭЭГ и фМРТ. Из-за существенной разницы во временном разрешении между этими методами фМРТ данные, скорее всего, отражают более генерализованные аспекты обработки информации, но не дают возможности увидеть развитие феномена во времени. На наш взгляд, этот факт крайне важен для понимания как работы мозга в целом, так и вычленения его структур, связанных с обработкой абстрактных и конкретных понятий, в частности.

В психофизиологии существует давний спор между представителями локализационизма и холизма. Первые считают, что большинство психических функций имеют четкую локализацию в мозге (например, речевые функции относятся к зонам Вернике и Брока), вторые — что функции распределены в мозге и не имеют четкой локализации. Данный вопрос до сих пор остается открытым, и такие факты, как нахождение узкоспециализированных нейронов (например, «нейронов Билла Клинтона» (Quiroga et al., 2005)) только подогревают этот спор (Khamsi, 2005). Наши исследования по оценке нейрональных механизмов усвоения понятий свидетельствуют о сложной и мозаичной картине работы мозга во время обработки абстрактных и конкретных слов. На наш взгляд, нельзя четко выделить только одну область мозга, связанную с данным процессом. Он крайне динамичен и распределен по коре головного мозга, и то, что наблюдается разница в активации некоторых зон правого полушария при обработке разных типов семантики, не указывает на критичность правополушарной локализации для данного процесса. Это, вероятно, указывает на разные паттерны обработки абстрактных и конкретных слов на выявленных в результате анализа временных интервалах. Эксперименты с применением неинвазивной стимуляции мозга только подтверждают этот тезис.

### ***Влияние нейростимуляции на усвоение конкретных и абстрактных понятий***

Если мозг задействует разные структуры для обработки разных типов понятий, то и стимуляция разных его областей должна приводить к различным эффектам для данных понятий. Проведенное исследование, насколько нам известно, является одним из первых, в котором ТЭС была применена для модулирования процесса научения языку, в частности усвоения конкретной и абстрактной семантики. Перед участниками Эксперимента 1 стояла довольно сложная задача — выучить 20 новых слов за один сеанс. Тем не менее, результаты проверочных заданий демонстрируют успешное усвоение как конкретных, так и абстрактных понятий после всего пятикратного их предъявления в контексте пяти предложений.

Результаты задания на свободное воспроизведение, основной целью которого была оценка усвоения словоформ независимо от их семантики, показали ограниченное количество эффектов стимуляции, которые в основном проявились на второй день (отсутствие значимого снижения количества воспроизведенных слов после катодной стимуляции, в отличие от плацебо- и анодной ТЭС) и продемонстрировали влияние катодной ТЭС зоны Вернике на консолидацию следов долговременной памяти, соответствующих новым словоформам. Примечательно также, что данное проверочное задание не выявило различий в эффективности усвоения новых конкретных и абстрактных концептов, что указывает на общие механизмы их усвоения на лексическом уровне. Такое отсутствие семантически специфичных эффектов было подтверждено результатами обоих видов дисперсионного анализа — F1 (при котором повторными считались результаты, полученные одним и тем же участником) и F2 (при котором повторные измерения были ассоциированы с конкретными стимулами). Полученные данные отличаются от хорошо известного эффекта конкретности, что может быть объяснено строго контролируемым характером парадигмы исследования, в которой оба набора слов (конкретных и абстрактных) были полностью уравнены по физическим, психолингвистическим, фонологическим свойствам, и их усвоение испытуемыми происходило идентичным образом. Из всех проверочных заданий только анализ точности сформулированных определений показал неярко выраженный эффект конкретности; учитывая, что по критерию «соответствие определений словоформе» не было выявлено аналогичного расхождения в успешности усвоения конкретных и абстрактных слов, это может быть в большей степени связано со спецификой данного задания и относительной простотой определения конкретных слов через описание соответствующих им объектов, чем с более низким уровнем усвоения как такового. Это говорит о том, что наблюдаемый в других исследованиях эффект конкретности может быть — по крайней мере частично — обусловлен различными психолингвистическими свойствами стимулов (например, длиной слов, частотой их употребления), возрастом, в котором произошло усвоение по-

нятия, контекстом его использования в речи и другими факторами, а не собственно конкретностью/абстрактностью слов.

По результатам семантических заданий (формулировка определений и выбор определений) выявлены различия между тремя группами стимуляции, при этом общая успешность их выполнения в обеих группах ТЭС была выше, чем в группе плацебо-стимуляции. Кроме того, данное влияние было значимо даже после внесения поправок на множественные сравнения для результатов второго дня проверки для абстрактной семантики в обоих заданиях, хотя и различалось между полярностями стимуляции. Так, правильность формулировок определений в группе катодной стимуляции была значимо выше, чем в группе плацебо-стимуляции (для абстрактных понятий во второй день проверки), в то время как в группе анодной стимуляции такие различия с группой плацебо-стимуляции обнаружены не были. В то же время, успешность выполнения задания на выбор определения для абстрактных слов была выше после анодной (но не катодной) стимуляции зоны Вернике также во второй день. Различное влияние стимуляции зоны Вернике на эффективность обработки новых конкретных и абстрактных понятий согласуется с существующими данными, которые указывают на дифференцированную активацию в задних височных и нижних теменных структурах головного мозга в окрестностях области Вернике в ответ на предъявление существующих в индивидуальном лексиконе (не являющихся новыми для испытуемых) конкретных и абстрактных слов (Paragno et al., 2013; Binder, 2015; Hoffman et al., 2015). Также известно (на основании исследований повреждений мозга), что височно-теменная кора левого полушария играет решающую роль в обработке абстрактных понятий (Skipper-Kallal et al., 2015).

Семантические задания были направлены на проверку способности к оценке и описанию характерных особенностей/признаков новых понятий до и после их предполагаемого закрепления в памяти посредством ночной консолидации (Davis, Gaskell, 2009; Rasch, Born, 2013) — т. е. на той стадии, на которую, вероятно, положительно повлияла стимуляция, поскольку именно во второй день проверки были обнаружены значимые межгрупповые различия. Более того, выявленные

различия между днями проверки, демонстрирующие сохранение новой семантики по показателям как формулирования, так и правильности выбора определений для группы катодной стимуляции, в отличие от групп плацебо- и анодной стимуляции, свидетельствуют об эффекте ночной консолидации и положительном влиянии катодной ТЭС области Вернике на закрепление новых слов в памяти. При этом, учитывая, что различия получены по семантическим заданиям и в большинстве случаев — для абстрактных понятий, можно говорить о прямом доказательстве роли зоны Вернике в усвоении абстрактной семантики, консолидации и хранении ее в памяти.

Проявление данного эффекта также может быть связано с предполагаемой значимостью ключевых речевых зон головного мозга в запоминании абстрактных понятий, которая обсуждается в литературе (Binder et al., 2005; Sabsevitz et al., 2005; Mårtensson et al., 2011; Roll et al., 2012; Papagno et al., 2013), в то время как в процесс усвоения конкретных слов могут быть вовлечены области, отвечающие за обработку информации специфических сенсорных и моторных модальностей, уменьшая тем самым относительный вклад собственно основных речевых зон в усвоение и использование конкретной семантики (Humphreys et al., 1997; Mårtensson et al., 2011; Moseley, Pulvermüller, 2014).

Таким образом, данные результаты предполагают наличие пересекающихся, но все же различных контуров памяти, лежащих в основе кодирования и хранения двух типов семантики, и указывают на относительно более важную роль основных речевых систем в поддержании амодальных абстрактных представлений. На наш взгляд, полученные нами данные, наряду с нейровизуализационными исследованиями мозговых механизмов обработки конкретных и абстрактных слов (Holcomb et al., 1999; Moseley, Pulvermüller, 2014; Della Rosa et al., 2018; Dreyer, Pulvermüller, 2018; Khachatryan et al., 2018), свидетельствуют в пользу расширенной теории двойного кодирования, которая объясняет различия между абстрактными и конкретными репрезентациями их дифференцированной зависимостью от вербальных и образных (невербальных) систем семантической памяти. Эти системы взаимосвязаны, однако если вербальная участвует в лингвистическом кодиро-

вании как конкретных, так и абстрактных понятий, то невербальная в основном вовлечена в кодирование только конкретных слов (Paivio, 1990; Holcomb et al., 1999), что увеличивает нагрузку на первую систему — и следовательно основные речевые зоны левого полушария — при усвоении и хранении абстрактных знаний в памяти. Кроме того, полученные результаты дополняют данные предыдущих исследований, которые показали, что применение анодной ТЭС области Вернике при изучении новых слов значительно повышает правильность ответов и уменьшает время реакции при выполнении задания на называние изображений (Fiori et al., 2011), в то время как тот же вид стимуляции задних левых перисильвиевых областей положительно влияет на ассоциативное вербальное научение (Flöel et al., 2008). Однако следует отметить, что, в отличие от предыдущих исследований, мы также попытались сравнить усвоение абстрактной и конкретной семантики в контролируемых условиях, обнаружив тонкие различия между этими процессами, как было подробно описано выше.

Хотя нам и удалось обнаружить положительное влияние катодной стимуляции на эффективность усвоения слов по сравнению с плацебо-стимуляцией, прямое сравнение между группами анодной и катодной стимуляции не показало существенных различий. Оба типа стимуляции способствовали улучшению продуктивности при выполнении проверочных заданий по сравнению с группой плацебо-стимуляции, однако анодная стимуляция привела к статистически менее явному улучшению результатов обучения. Это противоречит тому, что известно из исследований ТЭС двигательной системы, в которых указывалось на ингибирующее влияние на двигательную активность и научение катодной стимуляции и стимулирующее — анодной (Iyer et al., 2005; Fertonani et al., 2010; Cattaneo et al., 2011).

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что влияние полярности, известное из исследований, посвященным стимуляции двигательной системы, не является универсальным и может быть специфичным для определенных нейрокогнитивных функций, что, скорее всего, связано с различными характеристиками стимулируемой зоны коры (например, ее кривизной, гирификацией, плотностью и дру-

гими свойствами ткани, влияющими на распространение токов), а также, возможно, прочими (например, цитохимическими) свойствами стимулируемой области. Действительно, в то время как предыдущие исследования подтвердили стимулирующее влияние (выражающееся в более высокой правильности и/или снижении латентности ответов) анодной ТЭС на беглость речи (Iyer et al., 2005), выполнение заданий на называние изображений (Fiori et al., 2011) и семантический поиск (Ihara et al., 2015), рабочую память (Brunoni et al., 2012), ассоциативное вербальное научение (Flöel et al., 2008), понимание речи (Sparing et al., 2008), в них не наблюдалось ингибирующего эффекта катодной стимуляции. Это также может быть связано с балансом торможения и возбуждения, когда ингибирование одних нейронов может привести к растормаживанию связанных с ними других функциональных сетей, в т. ч. делая их более пластичными при обучении.

Наряду с некоторыми предыдущими исследованиями наши результаты могут говорить об общем эффекте стимуляции, а не о влиянии определенной ее полярности на процесс научения новым словам. Одним из объяснений такого общего эффекта может быть влияние стимуляции на систему внимания, связанное, возможно, с ее способностью воздействовать на различные когнитивные функции (хотя данное объяснение применимо и в случае исследований моторных функций). Также возможно, что изменение активности нейронов во время стимуляции влияет на постстимуляционный баланс между сигналом и шумом, который мозг постоянно пытается поддерживать.

Важно отметить, что мы обнаружили влияние ТЭС на результаты усвоения новых понятий не только сразу после процедуры обучения, но и спустя сутки, что говорит о влиянии стимуляции зоны Вернике на процесс консолидации. Долгосрочное влияние ТЭС на усвоение языковых единиц, впервые продемонстрированное в нашем исследовании, позволяет предположить потенциальную применимость этой неинвазивной технологии в качестве вспомогательной для устранения дефицитов развития или приобретенных речевых расстройств и, возможно, даже в обычном учебном процессе. Разумеется, для оценки удобства использования данной

технологии и ее безопасности для таких целей потребуются дополнительные исследования.

В целом результаты электрической стимуляции зоны Вернике демонстрируют неоднозначную и мозаичную картину взаимодействия мозговых механизмов, определяющих различия в нейрональных паттернах, сопровождающих процессы обработки конкретной и абстрактной семантики. Это позволяет сделать вывод о сложной картине усвоения как конкретных, так и абстрактных понятий. Несмотря на то, что стимуляция была нацелена на зону Вернике, все же следует проявлять осторожность в отношении оценки нейроанатомической точности ТЭС. В отличие от прямой инвазивной стимуляции коры (ТМС) точность ТЭС считается более низкой, и мы в данном случае не можем с уверенностью говорить об изолированной стимуляции только зоны Вернике. И хотя рассчитанная нами модель распределения тока четко показывает, что большая часть эффекта стимуляции сосредоточена в височно-теменной области с максимумом в зоне Вернике, это, с одной стороны, не исключает стимуляции других смежных областей, через которые проходит ток, а с другой — не гарантирует полную и равномерную по интенсивности стимуляцию самой целевой зоны.

Также важно отметить, что в нашем исследовании использовался межгрупповой дизайн, который обладает более низкой статистической чувствительностью и, кроме того, может иметь ограничения, связанные с исходными различиями между группами испытуемых. Выбор межгруппового дизайна определялся самой парадигмой обучения, что делало невозможным трижды проверять результаты выполнения одних и тех же заданий у одних и тех же испытуемых. При этом нами были получены важные результаты путем внутригрупповых сравнений между стимулами и днями проверки в каждой группе. Кроме того, группы были сбалансированы по полу, возрасту, праворукости и опыту изучения иностранного языка, что в значительной степени исключило исходные групповые различия, которые могли бы послужить объяснением обнаруженных нами эффектов. Тем не менее, в будущих исследованиях можно попытаться внести изменения в парадигму и использовать внутригрупповой дизайн

для преодоления ограничений, присущих межгрупповым сравнениям.

Настоящие результаты предполагают, что стимуляция зоны Вернике постоянным током может улучшить контекстное усвоение новых слов как на лексическом, так и на семантическом уровнях в целом, а также новой конкретной и абстрактной семантики в частности. Кроме того, они демонстрируют несколько более устойчивое влияние катодной стимуляции на научение и на приобретение новых абстрактных знаний, указывая на частично совпадающие, но, тем не менее, различные нейрональные механизмы усвоения конкретной и абстрактной семантики и подчеркивая потенциально более важную роль основных речевых зон мозга в приобретении абстрактных знаний. Тем не менее, следует заметить, что полученные результаты по-прежнему следует рассматривать с осторожностью: они должны быть проверены и уточнены в будущих работах. В дальнейших исследованиях могут использоваться различные парадигмы обучения (например, эксплицитное научение, одновременное предъявление рисунков и вербальных стимулов, визуальных и слуховых стимулов и т. д.), режимы стимуляции (например, различающиеся по продолжительности, интенсивности и графику изменения силы тока), зоны мозга (к примеру, зона Брока, левая передне-височная доля, их гомологи в правом полушарии и т. д.) и языки, чтобы полностью прояснить потенциал ТЭС для модуляции речевого научения и роль различных зон мозга в усвоении различных типов семантики.

## **Заключение**

Мы считаем, что дальнейшим развитием нашей парадигмы является ее использование в сочетании с методиками, которые дают лучшую пространственную разрешающую способность — с точки зрения как нейровизуализации (функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) и магнитоэнцефалография (МЭГ)), так и нейростимуляции (в первую очередь транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС)).

С другой стороны, стоит сформулировать перспективы разрабатываемого подхода к оценке научения абстрактным

и конкретным понятиям. В представленном подходе имеются некоторые особенности, связанные со следующими факторами:

- 1) ограничения, связанные с парадигмой эксперимента;
- 2) ограничения, связанные с использованием инструментов нейровизуализации и нейростимуляции;
- 3) ограничения, связанные с постановкой вопроса.

Предложенная нами парадигма научения абстрактным и конкретным понятиям предполагает практически онлайн-тестирование непосредственно после научения новым понятиям, а также по истечении суток. Она подразумевает балансировку слов таким образом, чтобы избежать влияния специфических паттернов словоформ на усвоение новых понятий. Однако мы не проверяли эффекты научения на протяжении длительного времени. Как указывалось выше, мы выявили эффект консолидации памяти в случае тестирования успешности запоминания на второй день. Будет интересно проверить, как долго сохраняются в памяти выученные новые словоформы и как мозг обрабатывает их спустя длительное время (неделю, месяц, год). Кроме того, разрабатывая батарею психолингвистических тестов, мы выбрали наиболее распространенные и валидные задания. Возможно, стоит апробировать в использованном нами подходе и другие имеющиеся методы тестирования. Также в будущих экспериментах можно использовать не только текстовое представление стимульного материала. На наш взгляд, крайне перспективным выглядит графическое представление абстрактных и конкретных понятий в процессе научения.

В разработанной парадигме мы использовали метод ЭЭГ в качестве инструмента нейровизуализации и ТЭС — качестве инструмента нейростимуляции. Как уже обсуждалось выше, данные методы имеют определенные недостатки, связанные с их физическими характеристиками: ЭЭГ и ТЭС имеют низкое пространственное разрешение, ТЭС также имеет ограничения, связанные с механизмом ее воздействия на мозг. В контексте нейровизуализации было бы интересно сопоставить полученные нами данные с аналогичными, полученными при помощи фМРТ. На основе использования нашей парадигмы совместно с фМРТ, обладающей высокой нейроанатомической точностью, было бы возможно более точно определить структурные основы процессов научения, хотя регистрируемые

с помощью этого метода метаболические изменения являются более медленными и не позволяют судить о динамике нейрональной активности. Отдельный интерес могло бы представлять использование метода МЭГ, сочетающего в себе высокое временное и достаточно высокое (на уровне поверхности коры) пространственное разрешение. Наконец, в контексте нейростимуляционных подходов большой интерес представляет использование транскраниальной магнитной стимуляции. Такая стимуляция имеет более локальный характер, чем ТЭС, что дает возможность приблизиться к прояснению упомянутого выше вопроса о локализационизме и холизме применительно к усвоению абстрактных и конкретных понятий.

В заключение отметим, что деление понятий на два семантических класса, скорее всего, не подразумевает наличия четкой границы, и надо проводить исследования с точки зрения не дихотомических различий, а плавной градации в семантическом континууме между абстрактным и конкретным полюсами. Вероятно, в этом случае мы увидим постепенные плавные изменения в конфигурации нейрофизиологических паттернов, отражающих обработку конкретных и абстрактных слов.

## Список литературы

1. Апресян Ю. Д. Избранные труды. Т. 1. Лексическая семантика (синонимические средства языка). — М.: Языки русской культуры, 1995.
2. База данных Национального корпуса русского языка (НКРЯ) [электронный ресурс] // URL: <http://ruscorpora.ru>.
3. Выготский Л. С. Мышление и речь // Л. С. Выготский. Психология. — М.: ЭКСМО-пресс, 2002. — С. 262–511.
4. Давыдов В. В. Виды обобщения в обучении: Логико-психологические проблемы построения учебных предметов. — М.: Педагогика, 1972.
5. Лурия А. Р. Язык и сознание. — М.: Издательство Московского университета, 1979.
6. Статья «Слово» [электронный ресурс] // Толковый словарь Ожегова. URL: <https://slovarozhegova.ru/word.php?wordid=29222>.
7. Философская энциклопедия // Глав. ред. Ф. В. Константинов. Т. 3: Коммунизм — Наука. — М.: Советская энциклопедия, 1964.
8. Холодная М. А. Психология интеллекта: Парадоксы исследования. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Питер, 2002.

9. Чуприкова Н.И. Умственное развитие и обучение: Психологические основы развивающего обучения. — М.: Столетие, 1995.
10. Adorni R., Proverbio A.M. The neural manifestation of the word concreteness effect: An electrical neuroimaging study // *Neuropsychologia*. — 2012. — V. 50(5). — P. 880–891.
11. Aleksandrov A.A., Memetova K.S., Stankevich L.N., Knyazeva V.M., Shtyrov Y. Referent's lexical frequency predicts mismatch negativity responses to new words following semantic training // *Journal of Psycholinguistic Research*. — 2020. — V. 49(2). — P. 187–198.
12. Altarriba J., Bauer L.M. The distinctiveness of emotion concepts: A comparison between emotion, abstract, and concrete words // *The American Journal of Psychology*. — 2004. — V. 117(3). — P. 389–410.
13. Alyahya R.S. W., Halai A.D., Conroy P., Lambon Ralph M.A. The behavioural patterns and neural correlates of concrete and abstract verb processing in aphasia: A novel verb semantic battery // *NeuroImage: Clinical*. — 2018. — V. 17. — P. 811–825.
14. Anzellotti S., Caramazza A., Saxe R. Multivariate pattern dependence // *PLoS Computational Biology*. — 2017. — V. 13(11). — e1005799.
15. Barber H.A., Otten L.J., Kousta S.T., Vigliocco G. Concreteness in word processing: ERP and behavioral effects in a lexical decision task // *Brain and Language*. — 2013. — V. 125(1). — P. 47–53.
16. Barsalou L.W. Perceptual symbol systems // *Behavioral and Brain Sciences*. — 1999. — V. 22(4). — P. 577–660.
17. Barsalou L.W., Kyle Simmons W., Barbey A.K., Wilson C.D. Grounding conceptual knowledge in modality-specific systems // *Trends in Cognitive Sciences*. — 2003. — V. 7(2). — P. 84–91
18. Barsalou L.W., Wiemer-Hastings K. Situating abstract concepts // *Grounding cognition: The role of perception and action in memory, language, and thinking* / Ed. by D. Pecher, R.A. Zwaan. — New York: Cambridge University Press, 2005. — P. 129–163.
19. Bastani A., Jaberzadeh S. A-tDCS differential modulation of corticospinal excitability: The effects of electrode size // *Brain Stimulation*. — 2013. — V. 6(6). — P. 932–937.
20. Bedny M., Thompson-Schill S.L. Neuroanatomically separable effects of imageability and grammatical class during single-word comprehension // *Brain and Language*. — 2006. — V. 98(2). — P. 127–139.
21. Berryhill M.E., Wencil E.B., Coslett H.B., Olson I.R. A selective working memory impairment after transcranial direct current stimulation to the right parietal lobe // *Neuroscience Letters*. — 2010. — V. 479(3). — P. 312–316.

22. Binder J.R. The Wernicke area: Modern evidence and a reinterpretation // *Neurology*. — 2015. — V. 85(24). — P. 2170–2175.
23. Binder J.R., Desai R.H., Graves W.W., Conant L.L. Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies // *Cerebral Cortex*. — 2009. — V. 19(12). — P. 2767–2796.
24. Binder J.R., Westbury C.F., McKiernan K. A., Possing E.T., Medler D.A. Distinct brain systems for processing concrete and abstract concepts // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2005. — V. 17(6). — P. 905–917.
25. Blagovechtchenski E., Gnedykh D., Kurmakaeva D., Mkrtychian N., Kostromina S., Shtyrov Y. Transcranial direct current stimulation (tDCS) of Wernicke’s and Broca’s areas in studies of language learning and word acquisition // *Journal of Visualized Experiments*. — 2019. — V. 149. — e59159.
26. Borghi A. M., Barca L., Binkofski F., Castelfranchi C., Pezzulo G., Tummolini L. Words as social tools: Language, sociality and inner grounding in abstract concepts // *Physics of Life Reviews*. — 2019. — V. 29. — P. 120–153.
27. Borghi A.M., Binkofski F. Words as social tools: An embodied view on abstract concepts. — NY: Springer, 2014.
28. Borghi A. M., Binkofski F., Castelfranchi C., Cimatti F., Scorolli C., Tummolini L. The challenge of abstract concepts // *Psychological Bulletin*. — 2017. — V. 143(3). — P. 263–292.
29. Borghi A.M., Flumini A., Cimatti F., Marocco D., Scorolli C. Manipulating objects and telling words: A study on concrete and abstract words acquisition // *Frontiers in Psychology*. — 2011. — V. 2. — 15.
30. Borghi A. M., Zarcone E. Grounding abstractness: Abstract concepts and the activation of the mouth // *Frontiers in Psychology*. — 2016. — V. 7. — 1498.
31. Branscheidt M., Hoppe J., Freundlieb N., Zwitserlood P., Liuzzi G. tDCS over the motor cortex shows differential effects on action and object words in associative word learning in healthy aging // *Frontiers in Aging Neuroscience*. — 2017. — V. 9. — 137.
32. Broca P.P. Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d’une observation d’aphémie (perte de la parole) // *Bulletin de la Société Anatomique*. — 1961. — V. 6. — P. 330–357.
33. Brückner S., Kammer T. Both anodal and cathodal transcranial direct current stimulation improves semantic processing // *Neuroscience*. — 2017. — V. 343. — P. 269–275.
34. Brunoni A.R., Nitsche M.A., Bolognini N., Bikson M., Wagner T., Merabet L., Edwards D.J., Valero-Cabre A., Rotenberg A.,

- Pascual-Leone A., Ferrucci R., Priori A., Boggio P.S., Fregni F. Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): Challenges and future directions // *Brain Stimulation*. — 2012. — V. 5(3). — P. 175–195.
35. Brysbaert M., Mandera P., McCormick S. F., Keuleers E. Word prevalence norms for 62,000 English lemmas // *Behavior Research Methods*. — 2019. — V. 51(2). — P. 467–479.
  36. Brysbaert M., Stevens M., Mandera P., Keuleers E. The impact of word prevalence on lexical decision times: Evidence from the Dutch Lexicon Project 2 // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. — 2016. — V. 42(3). — P. 441–458.
  37. Carruthers P. Review of Meaning and Mental Representation, by R. Cummins // *The Philosophical Quarterly*. — 1990. — V. 40(161). — P. 527–530.
  38. Cattaneo Z., Pisoni A., Papagno C. Transcranial direct current stimulation over Broca's region improves phonemic and semantic fluency in healthy individuals // *Neuroscience*. — 2011. — V. 183. — P. 64–70.
  39. Chen S., Wang L., Yang Y. Acquiring concepts and features of novel words by two types of learning: Direct mapping and inference // *Neuropsychologia*. — 2014. — V. 56. — P. 204–218.
  40. Citron F.M.M. Neural correlates of written emotion word processing: A review of recent electrophysiological and hemodynamic neuroimaging studies // *Brain and Language*. — 2012. — V. 122(3). — P. 211–226.
  41. Crutch S.J. Qualitatively different semantic representations for abstract and concrete words: Further evidence from the semantic reading errors of deep dyslexic patients // *Neurocase*. — 2006. — V. 12(2). — P. 91–97.
  42. Davis M.H., Gaskell M.G. A complementary systems account of word learning: Neural and behavioural evidence // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. — 2009. — V. 364(1536). — P. 3773–3800.
  43. de Groot A.M. B., Keijzer R. What is hard to learn is easy to forget: The roles of word concreteness, cognate status, and word frequency in foreign-language vocabulary learning and forgetting // *Language Learning*. — 2000. — V. 50(1). — P. 1–56.
  44. Deleon J., Gesierich B., Besbris M., Ogar J., Henry M.L., Miller B.L., Gorno-Tempini M. L., Wilson S.M. Elicitation of specific syntactic structures in primary progressive aphasia // *Brain and Language*. — 2012. — V. 123(3). — P. 183–190.
  45. Della Rosa P.A., Catricalà E., Canini M., Vigliocco G., Cappa S.F. The left inferior frontal gyrus: A neural crossroads between abstract and concrete knowledge // *NeuroImage*. — 2018. — V. 175. — P. 449–459.

46. Ding J., Liu W., Yang Y. The influence of concreteness of concepts on the integration of novel words into the semantic network // *Frontiers in Psychology*. — 2017. — V. 8. — 2111.
47. Dreyer F.R., Pulvermüller F. Abstract semantics in the motor system? — An event-related fMRI study on passive reading of semantic word categories carrying abstract emotional and mental meaning // *Cortex*. — 2018. — V. 100. — P. 52–70.
48. Dumay N., Gaskell M.G. Sleep-associated changes in the mental representation of spoken words // *Psychological Science*. — 2007. — V. 18(1). — P. 35–39.
49. Fahimi Hnazaee M., Khachatryan E., Van Hulle M.M. Semantic features reveal different networks during word processing: An EEG source localization study // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2018. — V. 12. — 503.
50. Fedele T., Blagovechtchenski E., Nazarova M., Iscan Z., Moiseeva V., Nikulin V.V. Long-Range Temporal Correlations in the amplitude of alpha oscillations predict and reflect strength of intracortical facilitation: Combined TMS and EEG study // *Neuroscience*. — 2016. — V. 331. — P. 109–119.
51. Ferré P., Ventura D., Comesaña M., Fraga I. The role of emotionality in the acquisition of new concrete and abstract words // *Frontiers in Psychology*. — 2015. — V. 6. — 976.
52. Fertonani A., Rosini S., Cotelli M., Rossini P.M., Miniussi C. Naming facilitation induced by transcranial direct current stimulation // *Behavioural Brain Research*. — 2010. — V. 208(2). — P. 311–318.
53. Fiebach C.J., Schlesewsky M., Lohmann G., von Cramon D.Y., Friederici A.D. Revisiting the role of Broca's area in sentence processing: Syntactic integration versus syntactic working memory // *Human Brain Mapping*. — 2005. — V. 24(2). — P. 79–91.
54. Fiori V., Coccia M., Marinelli C.V., Vecchi V., Bonifazi S., Ceravolo M.G., Provinciali L., Tomaiuolo F., Marangolo P. Transcranial direct current stimulation improves word retrieval in healthy and nonfluent aphasic subjects // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2011. — V. 23(9). — P. 2309–2323.
55. Fliessbach K., Weis S., Klaver P., Elger C.E., Weber B. The effect of word concreteness on recognition memory // *NeuroImage*. — 2006. — V. 32(3). — P. 1413–1421.
56. Flöel A., Rössler N., Michka O., Knecht S., Breitenstein C. Noninvasive brain stimulation improves language learning // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2008. — V. 20(8). — P. 1415–1422.
57. Flöel A., Suttorp W., Kohl O., Kürten J., Lohmann H., Breitenstein C., Knecht S. Non-invasive brain stimulation improves object-location learning in the elderly // *Neurobiology of Aging*. — 2012. — V. 33(8). — P. 1682–1689.

58. Frishkoff G.A., Perfetti C.A., Collins-Thompson K. Lexical quality in the brain: ERP evidence for robust word learning from context // *Developmental Neuropsychology*. — 2010. — V. 35(4). — P. 376–403.
59. Glanzer M., Bowles N. Analysis of the word-frequency effect in recognition memory // *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*. — 1976. — V. 2(1). — P. 21–31.
60. Glenberg A.M., Sato M., Cattaneo L., Riggio L., Palumbo D., Buccino G. Processing abstract language modulates motor system activity // *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. — 2008. — V. 61(6). — P. 905–919.
61. Gómez R.L., Bootzin R.R., Nadel L. Naps promote abstraction in language-learning infants // *Psychological Science*. — 2006. — V. 17(8). — P. 670–674.
62. Granito C., Scorolli C., Borghi A.M. Naming a lego world. The role of language in the acquisition of abstract concepts // *PLoS ONE*. — 2015. — V. 10(1). — e0114615.
63. Groeben N., Westmeyer H. *Kriterien psychologischer Forschung* (2. Aufl.). — München: Juventa, 1981.
64. Gullick M.M., Mitra P., Coch D. Imagining the truth and the moon: An electrophysiological study of abstract and concrete word processing // *Psychophysiology*. — 2013. — V. 50(5). — P. 431–440.
65. Hagoort P. On Broca, brain, and binding: A new framework // *Trends in Cognitive Sciences*. — 2005. — V. 9(9). — P. 416–423.
66. Haro J., Guasch M., Vallès B., Ferré P. Is pupillary response a reliable index of word recognition? Evidence from a delayed lexical decision task // *Behavior Research Methods*. — 2017. — V. 49(5). — P. 1930–1938.
67. Hartwigsen G., Bergmann T.O., Herz D.M., Angstmann S., Karabanov A., Raffin E., Thielscher A., Siebner H.R. Modeling the effects of noninvasive transcranial brain stimulation at the biophysical, network, and cognitive level // *Progress in Brain Research*. — 2015. — V. 222. — P. 261–287.
68. Heim S., Eickhoff S.B., Amunts K. Specialisation in Broca's region for semantic, phonological, and syntactic fluency? // *NeuroImage*. — 2008. — V. 40(3). — P. 1362–1368.
69. Henderson L.M., Weighall A.R., Brown H., Gaskell M.G. Consolidation of vocabulary is associated with sleep in children // *Developmental Science*. — 2012. — V. 15(5). — P. 674–687.
70. Hoffman P., Binney R.J., Lambon Ralph M.A. Differing contributions of inferior prefrontal and anterior temporal cortex to concrete and abstract conceptual knowledge // *Cortex*. — 2015. — V. 63. — P. 250–266.
71. Hoffman P., Jefferies E., Lambon Ralph M.A. Ventrolateral prefrontal cortex plays an executive regulation role in comprehension of abstract words: Convergent neuropsychological

- and repetitive TMS evidence // *Journal of Neuroscience*. — 2010. — V. 30(46). — P. 15450–15456.
72. Holcomb P.J., Kounios J., Anderson J.E., West W.C. Dual-coding, context-availability, and concreteness effects in sentence comprehension: An electrophysiological investigation // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. — 1999. — V. 25(3). — P. 721–742.
  73. Humphreys G.W., Riddoch M.J., Price C.J. Top-down processes in object identification: Evidence from experimental psychology, neuropsychology and functional anatomy // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. — 1997. — V. 352(1358). — P. 1275–1282.
  74. Ihara A.S., Mimura T., Soshi T., Yorifuji S., Hirata M., Goto T., Yoshinime T., Umehara H., Fujimaki N. Facilitated lexical ambiguity processing by transcranial direct current stimulation over the left inferior frontal cortex // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2015. — V. 27(1). — P. 26–34.
  75. Il'yuchenok I. R., Sysoeva O.V., Ivanitskii A.M. Two semantic systems in the brain for rapid and slow differentiation of abstract and concrete words // *Neuroscience and Behavioral Physiology*. — 2008. — V. 38(9). — P. 963–970.
  76. Iyer M.B., Mattu U., Grafman J., Lomarev M., Sato S., Wassermann E.M. Safety and cognitive effect of frontal DC brain polarization in healthy individuals // *Neurology*. — 2005. — V. 64(5). — P. 872–875.
  77. Katz J.S., Wright A.A., Bodily K.D. Issues in the comparative cognition of abstract-concept learning // *Comparative Cognition & Behavior Reviews*. — 2007. — V. 2. — P. 79–92.
  78. Kessler S.K., Turkeltaub P.E., Benson J.G., Hamilton R.H. Differences in the experience of active and sham transcranial direct current stimulation // *Brain Stimulation*. — 2012. — V. 5(2). — P. 155–162.
  79. Khachatryan E., Fahimi Hnazaee M., Van Hulle M.M. Effect of word association on linguistic event-related potentials in moderately to mildly constraining sentences // *Scientific Reports*. — 2018. — V. 8(1). — 7175.
  80. Khamsi R. Jennifer Aniston strikes a nerve [Электронный ресурс] // *Nature*. 2005. 22 июня. URL: <https://nature.com/articles/news050620-7>.
  81. Kimppa L., Kujala T., Leminen A., Vainio M., Shtyrov Y. Rapid and automatic speech-specific learning mechanism in human neocortex // *NeuroImage*. — 2015. — V. 118. — P. 282–291.
  82. Kimppa L., Kujala T., Shtyrov Y. Individual language experience modulates rapid formation of cortical memory circuits for novel words // *Scientific Reports*. — 2016. — V. 6(1). — 30227.

83. Kissler J., Assadollahi R., Herbert C. Emotional and semantic networks in visual word processing: Insights from ERP studies // *Progress in Brain Research*. — 2006. — V. 156. — P. 147–183.
84. Kousta S.T., Vigliocco G., Vinson D.P., Andrews M., Del Campo E. The representation of abstract words: Why emotion matters // *Journal of Experimental Psychology: General*. — 2011. — V. 140(1). — P. 14–34.
85. Kuiper N.A., Paivio A. Incidental recognition memory for concrete and abstract sentences equated for comprehensibility // *Bulletin of the Psychonomic Society*. — 1977. — V. 9(4). — P. 247–249.
86. Lakoff G., Johnson M. *Metaphors we live by*. — Chicago: University of Chicago Press, 1980.
87. Larsen J., Baynes K., Swick D. Right hemisphere reading mechanisms in a global alexic patient // *Neuropsychologia*. — 2004. — V. 42(11). — P. 1459–1476.
88. Lefaucheur J. P., Antal A., Ayache S. S., Benninger D. H., Brunelin J., Cogiamanian F., Cotelli M., De Ridder D., Ferrucci R., Langguth B., Marangolo P., Mylius V., Nitsche M.A., Padberg F., Palm U., Poulet E., Priori A., Rossi S., Sackellmann M., Vanneste S., Ziemann U., Garcia-Larrea L., Paulus W. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS) // *Clinical Neurophysiology*. — 2017. — V. 128(1). — P. 56–92.
89. Lenci A., Lebani G.E., Passaro L.C. The emotions of abstract words: A distributional semantic analysis // *Topics in Cognitive Science*. — 2018. — V. 10(3). — P. 550–572.
90. Lindell A.K. In your right mind: Right hemisphere contributions to language processing and production // *Neuropsychology Review*. — 2006. — V. 16(3). — P. 131–148.
91. Manenti R., Brambilla M., Petesi M., Ferrari C., Cotelli M. Enhancing verbal episodic memory in older and young subjects after non-invasive brain stimulation // *Frontiers in Aging Neuroscience*. — 2013. — V. 5. — 49.
92. Margolis E., Laurence S. (Eds.) *Concepts: Core readings*. — Cambridge: MIT Press, 1999.
93. Maris E., Oostenveld R. Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data // *Journal of Neuroscience Methods*. — 2007. — V. 164(1). — P. 177–190.
94. Mårtensson F., Roll M., Apt P., Horne M. Modeling the meaning of words: Neural correlates of abstract and concrete noun processing // *Acta Neurobiologiae Experimentalis (Wars)*. — 2011. — V. 71(4). — P. 455–478.
95. Martin K.I., Tokowicz N. The grammatical class effect is separable from the concreteness effect in language learning // *Bilingualism: Language and Cognition*. — 2020. — V. 23(3). — P. 554–569.

96. Mestres-Missé A., Münte T.F., Rodriguez-Fornells A. Mapping concrete and abstract meanings to new words using verbal contexts // *Second Language Research*. — 2014. — V. 30(2). — P. 191–223.
97. Mestres-Missé A., Rodriguez-Fornells A., Münte T.F. Watching the brain during meaning acquisition // *Cerebral Cortex*. — 2007. — V. 17(8). — P. 1858–1866.
98. Montefinese M. Semantic representation of abstract and concrete words: A minireview of neural evidence // *Journal of Neurophysiology*. — 2019. — V. 121(5). — P. 1585–1587.
99. Moseley R.L., Pulvermüller F. Nouns, verbs, objects, actions, and abstractions: Local fMRI activity indexes semantics, not lexical categories // *Brain and Language*. — 2014. — V. 132. — P. 28–42.
100. Murphy E. Linguistic representation and processing of copredication. Ph.D. Thesis, UCL University College, London, UK, 2021.
101. Murphy G.L. *The big book of concepts*. — Cambridge, MA: MIT Press, 2002.
102. Myachykov A., Fischer M.H. A hierarchical view of abstractness: Grounded, embodied, and situated aspects: Comment on “Words as social tools: Language, sociality and inner grounding in abstract concepts” by A.M. Borghi et al. // *Physics of Life Reviews*. — 2019. — V. 29. — P. 161–163.
103. Nitsche M.A., Doemkes S., Karaköse T., Antal A., Liebetanz D., Lang N., Tergau F., Paulus W. Shaping the effects of transcranial direct current stimulation of the human motor cortex // *Journal of Neurophysiology*. — 2007. — V. 97(4). — P. 3109–3117.
104. Nitsche M.A., Liebetanz D., Antal A., Lang N., Tergau F., Paulus W. Modulation of cortical excitability by weak direct current stimulation — technical, safety and functional aspects // *Supplements to Clinical Neurophysiology*. — 2003. — V. 56. — P. 255–276.
105. Ojanen V., Möttönen R., Pekkola J., Jääskeläinen I.P., Joensuu R., Autti T., Sams M. Processing of audiovisual speech in Broca’s area // *NeuroImage*. — 2005. — V. 25(2). — P. 333–338.
106. Oldfield R.C. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory // *Neuropsychologia*. — 1971. — V. 9(1). — P. 97–113.
107. Orena E.F., Caldiroli D., Acerbi F., Barazzetta I., Papagno C. Investigating the functional neuroanatomy of concrete and abstract word processing through direct electric stimulation (DES) during awake surgery // *Cognitive Neuropsychology*. — 2019. — V. 36(3–4). — P. 167–177.
108. Paivio A. Abstractness, imagery, and meaningfulness in paired-associate learning // *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. — 1965. — V. 4(1). — P. 32–38.

109. Paivio A. Dual coding theory // *Mental Representations* / Ed. by A. Paivio. — NY: Oxford University Press, 1990. — P. 53–83.
110. Paivio A., Yuille J.C., Madigan S.A. Concreteness, imagery, and meaningfulness values for 925 nouns // *Journal of Experimental Psychology*. — 1968. — V. 76(1, Pt. 2). — P. 1–25.
111. Palmer S.D., MacGregor L. J., Havelka J. Concreteness effects in single-meaning, multi-meaning and newly acquired words // *Brain Research*. — 2013. — V. 1538. — P. 135–150.
112. Papagno C., Martello G., Mattavelli G. The neural correlates of abstract and concrete words: Evidence from brain-damaged patients // *Brain Sciences*. — 2013. — V. 3(3). — P. 1229–1243.
113. Partanen E., Leminen A., de Paoli S., Bundgaard A., Kingo O.S., Krøjgaard P., Shtyrov Y. Flexible, rapid and automatic neocortical word form acquisition mechanism in children as revealed by neuromagnetic brain response dynamics // *NeuroImage*. — 2017. — V. 155. — P. 450–459.
114. Pauligk S., Kotz S.A., Kanske P. Differential impact of emotion on semantic processing of abstract and concrete words: ERP and fMRI evidence // *Scientific Reports*. — 2019. — V. 9(1). — 14439.
115. Payne P.R. O., Mendonça E.A., Johnson S.B., Starren J.B. Conceptual knowledge acquisition in biomedicine: A methodological review // *Journal of Biomedical Informatics*. — 2007. — V. 40(5). — P. 582–602.
116. Peelen M.V., Caramazza A. Conceptual object representations in human anterior temporal cortex // *Journal of Neuroscience*. — 2012. — V. 32(45). — P. 15728–15736.
117. Pellicciari M.C., Brignani D., Miniussi C. Excitability modulation of the motor system induced by transcranial direct current stimulation: A multimodal approach // *NeuroImage*. — 2013. — V. 83. — P. 569–580.
118. Pepperberg I.M. Abstract concepts: Data from a Grey parrot // *Behavioural Processes*. — 2013. — V. 93. — P. 82–90.
119. Perea M., Rosa E., Gómez C. The frequency effect for pseudowords in the lexical decision task // *Perception & Psychophysics*. — 2005. — V. 67(2). — P. 301–314.
120. Pexman P.M., Hargreaves I.S., Edwards J.D., Henry L.C., Goodyear B.G. Neural correlates of concreteness in semantic categorization // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2007. — V. 19(8). — P. 1407–1419.
121. Piaget J. *The psychology of intelligence*. — London: Routledge & Kegan Paul Ltd, 1950.
122. Pirulli C., Fertonani A., Miniussi C. Is neural hyperpolarization by cathodal stimulation always detrimental at the behavioral level? // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. — 2014. — V. 8. — 226.

123. Ponari M., Norbury C.F., Vigliocco G. Acquisition of abstract concepts is influenced by emotional valence // *Developmental Science*. — 2018. — V. 21(2). — e12549.
124. Ponari M., Norbury C.F., Vigliocco G. The role of emotional valence in learning novel abstract concepts // *Developmental Psychology*. — 2020. — V. 56(10). — P. 1855–1865.
125. Priori A. Brain polarization in humans: A reappraisal of an old tool for prolonged non-invasive modulation of brain excitability // *Clinical Neurophysiology*. — 2003. — V. 114(4). — P. 589–595.
126. Pulvermüller F. How neurons make meaning: Brain mechanisms for embodied and abstract-symbolic semantics // *Trends in Cognitive Sciences*. — 2013. — V. 17(9). — P. 458–470.
127. Quiroga R.Q., Reddy L., Kreiman G., Koch C., Fried I. Invariant visual representation by single neurons in the human brain // *Nature*. — 2005. — V. 435(7045). — P. 1102–1107.
128. Rasch B., Born J. About sleep's role in memory // *Physiological Reviews*. — 2013. — V. 93(2). — P. 681–766.
129. Reilly J., Kean J. Formal distinctiveness of high- and low-imageability nouns: Analyses and theoretical implications // *Cognitive Science*. — 2007. — V. 31(1). — P. 157–168.
130. Rizzolatti G., Sinigaglia C. The mirror mechanism: A basic principle of brain function // *Nature Reviews Neuroscience*. — 2016. — V. 17(12). — P. 757–765.
131. Robson H., Zahn R., Keidel J.L., Binney R.J., Sage K., Lambon Ralph M.A. The anterior temporal lobes support residual comprehension in Wernicke's aphasia // *Brain*. — 2014. — V. 137(3). — P. 931–943.
132. Rogalewski A., Breitenstein C., Nitsche M.A., Paulus W., Knecht S. Transcranial direct current stimulation disrupts tactile perception // *European Journal of Neuroscience*. — 2004. — V. 20(1). — P. 313–316.
133. Rogalski E., Cobia D., Harrison T.M., Wieneke C., Thompson C.K., Weintraub S., Mesulam M.M. Anatomy of language impairments in primary progressive aphasia // *Journal of Neuroscience*. — 2011. — V. 31(9). — P. 3344–3350.
134. Roll M., Mårtensson F., Sikström S., Apt P., Arnling-Bååth R., Horne M. Atypical associations to abstract words in Broca's aphasia // *Cortex*. — 2012. — V. 48(8). — P. 1068–1072.
135. Sabsevitz D.S., Medler D.A., Seidenberg M., Binder J.R. Modulation of the semantic system by word imageability // *NeuroImage*. — 2005. — V. 27(1). — P. 188–200.
136. Sahin N.T., Pinker S., Cash S.S., Schomer D., Halgren E. Sequential processing of lexical, grammatical, and phonological information within Broca's area // *Science*. — 2009. — V. 326(5951). — P. 445–449.

137. Sakreida K., Scorolli C., Menz M.M., Heim S., Borghi A.M., Binkofski F. Are abstract action words embodied? An fMRI investigation at the interface between language and motor cognition // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2013. — V. 7. — 125.
138. Saturnino G. B., Puonti O., Nielsen J. D., Antonenko D., Madsen K.H., Thielscher A. SimNIBS2.1: A comprehensive pipeline for individualized electric field modelling for transcranial brain stimulation // *Brain and Human Body Modeling* / Ed. by S. Makarov, M. Horner, G. Noetscher. — Cham: Springer, 2019. — P. 3–25.
139. Schmidt S., Fleischmann R., Bathe-Peters R., Irlbacher K., Brandt S.A. Evolution of premotor cortical excitability after cathodal inhibition of the primary motor cortex: A sham-controlled serial navigated TMS study // *PLoS ONE*. — 2013. — V. 8(2). — e57425.
140. Schwanenflugel P.J., Akin C., Luh W.M. Context availability and the recall of abstract and concrete words // *Memory & Cognition*. — 1992. — V. 20(1). — P. 96–104.
141. Schwanenflugel P.J., Shoben E.J. Differential context effects in the comprehension of abstract and concrete verbal materials // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. — 1983. — V. 9(1). — P. 82–102.
142. Scorolli C., Jacquet P.O., Binkofski F., Nicoletti R., Tessari A., Borghi A.M. Abstract and concrete phrases processing differentially modulates cortico-spinal excitability // *Brain Research*. — 2012. — V. 1488. — P. 60–71.
143. Shah P.P., Szaflarski J.P., Allendorfer J., Hamilton R.H. Induction of neuroplasticity and recovery in post-stroke aphasia by non-invasive brain stimulation // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2013. — V. 7. — 888.
144. Shtyrov Y., Nikulin V.V., Pulvermüller F. Rapid cortical plasticity underlying novel word learning // *Journal of Neuroscience*. — 2010. — V. 30(50). — P. 16864–16867.
145. Skipper-Kallal L. M., Mirman D., Olson I.R. Converging evidence from fMRI and aphasia that the left temporoparietal cortex has an essential role in representing abstract semantic knowledge // *Cortex*. — 2015. — V. 69. — P. 104–120.
146. Smith E.E. Concepts and induction // *Foundations of cognitive science* / Ed. by M.I. Posner. — Cambridge, MA: The MIT Press, 1989. — P. 501–526.
147. Sparing R., Dafotakis M., Meister I.G., Thirugnanasambandam N., Fink G.R. Enhancing language performance with non-invasive brain stimulation — A transcranial direct current stimulation study in healthy humans // *Neuropsychologia*. — 2008. — V. 46(1). — P. 261–268.

148. Tettamanti M., Manenti R., Della Rosa P.A., Falini A., Perani D., Cappa S.F., Moro A. Negation in the brain: Modulating action representations // *NeuroImage*. — 2008. — V. 43(2). — P. 358–367.
149. Thair H., Holloway A.L., Newport R., Smith A.D. Transcranial direct current stimulation (tDCS): A beginner’s guide for design and implementation // *Frontiers in Neuroscience*. — 2017. — V. 11. — 641.
150. Tree J.J., Kay J. Phonological dyslexia and phonological impairment: An exception to the rule? // *Neuropsychologia*. — 2006. — V. 44(14). — P. 2861–2873.
151. van Hell J.G., Mahn A.C. Keyword mnemonics versus rote rehearsal: Learning concrete and abstract foreign words by experienced and inexperienced learners // *Language Learning*. — 1997. — V. 47(3). — P. 507–546.
152. Vasilyeva M.J., Knyazeva V.M., Aleksandrov A.A., Shtyrov Y. Neurophysiological correlates of fast mapping of novel words in the adult brain // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2019. — V. 13. — 304.
153. Vigliocco G., Kousta S.T., Della Rosa P.A., Vinson D.P., Tettamanti M., Devlin J.T., Cappa S.F. The neural representation of abstract words: The role of emotion // *Cerebral Cortex*. — 2014. — V. 24(7). — P. 1767–1777.
154. Vigliocco G., Meteyard L., Andrews M., Kousta S. Toward a theory of semantic representation // *Language and Cognition*. — 2009. — V. 1(2). — P. 219–247.
155. Vigliocco G., Ponari M., Norbury C. Learning and processing abstract words and concepts: Insights from typical and atypical development // *Topics in Cognitive Science*. — 2018. — V. 10(3). — P. 533–549.
156. Villani C., Lugli L., Liuzza M.T., Borghi A.M. Varieties of abstract concepts and their multiple dimensions // *Language and Cognition: An Interdisciplinary Journal of Language and Cognitive Science*. — 2019. — V. 11(3). — P. 403–430.
157. Visser M., Jefferies E., Embleton K.V., Lambon Ralph M.A. Both the middle temporal gyrus and the ventral anterior temporal area are crucial for multimodal semantic processing: Distortion-corrected fMRI evidence for a double gradient of information convergence in the temporal lobes // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2012. — V. 24(8). — P. 1766–1778.
158. Vukovic N., Feurra M., Shpektor A., Myachykov A., Shtyrov Y. Primary motor cortex functionally contributes to language comprehension: An online rTMS study // *Neuropsychologia*. — 2017. — V. 96. — P. 222–229.

159. Wang J., Conder J.A., Blitzer D.N., Shinkareva S.V. Neural representation of abstract and concrete concepts: A meta-analysis of neuroimaging studies // *Human Brain Mapping*. — 2010. — V. 31(10). — P. 1459–1468.
160. Warrington E.K., Crutch E.J. Jargon dyslexia in an individual with semantic dementia: Further evidence for task-specificity in phonological output // *Neurocase*. — 2005. — V. 11(5). — P. 351–362.
161. Wauters L.N., Tellings A.E. J. M., van Bon W.H. J., van Haaften A. W. Mode of acquisition of word meanings: The viability of a theoretical construct // *Applied Psycholinguistics*. — 2003. — V. 24(3). — P. 385–406.
162. Weiss M., Lavidor M. When less is more: Evidence for a facilitative cathodal tDCS effect in attentional abilities // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2012. — V. 24(9). — P. 1826–1833.
163. West W.C., Holcomb P.J. Imaginal, semantic, and surface-level processing of concrete and abstract words: An electrophysiological investigation // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2000. — V. 12(6). — P. 1024–1037.
164. Wilson S.M., Galantucci S., Tartaglia M.C., Gorno-Tempini M.L. The neural basis of syntactic deficits in primary progressive aphasia // *Brain and Language*. — 2012. — V. 122(3). — P. 190–198.
165. Xue J., Liu T., Marmolejo-Ramos F., Pei X. Age of acquisition effects on word processing for Chinese native learners' English: ERP evidence for the arbitrary mapping hypothesis // *Frontiers in Psychology*. — 2017. — V. 8. — 818.
166. Zaidel E., Schweiger A. On wrong hypotheses about the right hemisphere: Commentary on K. Patterson and D. Besner, "Is the right hemisphere literate?" // *Cognitive Neuropsychology*. — 1984. — V. 1(4). — P. 351–364.
167. Zimmerman M., Nitsch M., Giroux P., Gerloff C., Cohen L.G., Hummel F.C. Neuroenhancement of the aging brain: Restoring skill acquisition in old subjects // *Annals of Neurology*. — 2013. — V. 73(1). — P. 10–15.

## Глава 5

### **Пластичность концептуальной системы: отсроченное влияние транскраниальной электрической стимуляции на динамику конкретных и абстрактных репрезентаций<sup>11</sup>**

---

#### **Введение**

В предшествующих главах монографии подробно обсуждался вопрос о том, как человек выучивает новые элементы

---

<sup>11</sup> Рукопись данной главы подготовлена при поддержке гранта Правительства РФ (проект № 14.W03.31.0010 «Когнитивная нейробиология процессов научения и восприятия языка», рук. Ю.Ю. Штыров) и совместного гранта РФФИ и Фонда «Талант и успех» (проект № 19-313-51016 «Динамические характеристики функционирования ментальных репрезентаций: нейрональные корреляты создания, модификации и распада концептов и их неинвазивная нейромодуляция», рук. Ю.Ю. Штыров), в рамках которого было проведено эмпирическое исследование и получены описанные ниже научные результаты.

---

Ссылка для цитирования: *Щербакова О. В., Блинова Е. Н., Новиковская Н. А., Андрющенко Е. А., Штыров Ю. Ю.* Пластичность концептуальной системы: отсроченное влияние транскраниальной электрической стимуляции на динамику конкретных и абстрактных репрезентаций // От слова – к репрезентации. Нейрокогнитивные основы вербального научения / Под ред. О. В. Щербаковой. – СПб: Скифия-принт, 2022. — С. 294–350.

языка и каким образом за счет постепенного усвоения их разноуровневых характеристик (фонетических, лексических, семантических) формируются ментальные репрезентации соответствующих им понятий. При этом акцент делался в первую очередь на самом процессе усвоения новых языковых единиц и всесторонней оценке его результатов. Однако при изучении процесса формирования понятий крайне важно принимать во внимание то обстоятельство, что даже на стадии своего становления новые репрезентации не остаются изолированными ментальными структурами, существующими отдельно друг от друга и от предшествующего опыта субъекта. Напротив, они активно встраиваются в уже имеющуюся понятийную систему и образуют гибкие связи с ранее сформированными ментальными репрезентациями — при этом корректируя как свое собственное содержание, так и общую когнитивную архитектуру, которая постоянно перестраивается под воздействием нового опыта. Таким образом, для более полного понимания нейрокогнитивных механизмов, лежащих в основе вербального научения и формирования понятий, необходимо учитывать также *динамические* свойства концептуальной системы человека.

Концептуальная система представляет собой сложную сеть взаимосвязанных между собой понятий и их разноуровневых признаков. Одним из ее свойств является парадоксальная возможность демонстрировать одновременно и устойчивость, и гибкость. Устойчивость проявляется в относительной стабильности инвариантных свойств понятийных репрезентаций, а также лежит в основе понятийного мышления, позволяющего обнаруживать существенные характеристики объектов и явлений и оперировать ими, отфильтровывая вариативные и нерелевантные признаки (Веккер, 1976; Выготский, 2002). Гибкость, напротив, заключается в том, что ментальная репрезентация понятия способна изменяться в зависимости от содержания нового опыта индивида, а также от контекста, в котором это понятие актуализируется. Сочетание признаков устойчивости и гибкости порождает ряд сложных теоретических вопросов. Например, каким образом репрезентации понятий, оставаясь достаточно стабильными для инвариантного понимания объектов и успешной коммуникации (допустим,

увидев яблоко на дереве, на витрине магазина или на столе, мы в каждом из этих случаев поймем, что это яблоко, и назовем его яблоком — и сегодня, и завтра, и через год, даже если оно будет разного размера, цвета и запаха), динамически подстраиваются под изменения контекста ситуации, отражая разные признаки объектов (к примеру, те аспекты понятия «яблоко», которые позволяют нам мыслить его как ингредиент шарлотки и как предмет, сыгравший важную роль в открытии закона всемирного тяготения Ньютона)? Что происходит с репрезентацией однажды усвоенного понятия в процессе дальнейшего приобретения новых знаний? Каковы механизмы реструктурирования концепта в ходе переобучения? Несмотря на то, что все перечисленные вопросы на настоящий момент еще не имеют однозначных ответов, сам факт их постановки не вызывает принципиальных теоретических возражений у современных психологов и нейроученых. Независимо от принадлежности к той или иной научной школе, в данный момент большинство исследователей разделяют взгляд на понятийную систему человека как на в значительной степени пластичное когнитивное образование, которое подлежит дополнению, трансформации и коррекции на протяжении всей жизни человека. Однако так было не всегда.

Долгое время внимание научного сообщества было сфокусировано исключительно на проблеме становления понятийной системы в детском и подростковом возрастах. В ряде классических работ на эту тему подробно рассматриваются этапы формирования понятий и содержательная специфика каждого из этих этапов, а также общие закономерности развития понятийного мышления как формы интеллектуальной деятельности, основанной на оперировании понятийными конструкциями (Веккер, 1976; Выготский, 2002; Холодная, 2012; Piaget, 2003). Более частные аспекты этого вопроса изучались на материале усвоения особых групп понятий, в частности, научных: физических или геометрических (Тигранова, 1956; Гальперин, Талызина, 1957; Калмыкова, 1959; Обухова, 1968). Отличительными чертами такого подхода были, во-первых, его ориентация на изучение особенностей именно развивающейся психики (испытуемыми в большинстве описанных работ выступали дети дошкольного и школьного возрастов),

а во-вторых, понимание процесса формирования понятий как конечного: сам термин «усвоение», часто использующийся в перечисленных исследованиях, предполагает, что понятие, пройдя в своем становлении через ряд стадий, на финальном этапе закрепляется в психике в некоторой окончательной форме, которая в дальнейшем уже не претерпевает каких-либо существенных изменений. Таким образом, вопрос о пластичности понятийной системы взрослых людей и лежащих в ее основе механизмах в принципе не ставился.

Если в рамках общей, когнитивной и возрастной психологии тема динамических свойств концептуальной системы человека на протяжении длительного времени оставалась за рамками рассмотрения, то в пато- и клинической психологии, она, напротив, являлась одной из центральных. Начиная с работ Э. Крепелина (1910) и Э. Блейлера (1920) активно обсуждались разнообразные нарушения процессов дифференциации и иерархической организации понятий у пациентов, страдающих различными психическими расстройствами (в первую очередь шизофренией), и связанные с такими нарушениями дефициты понятийного мышления (Биренбаум, 1934; Выготский, 1956; Зейгарник, 1962; Поляков, 1974; Критская и др., 1991; Рубинштейн, 2004; Чередникова, 2014, 2016). Большой массив накопленных клинических данных также связан с описанием характера изменений в организации понятийной системы и ее функциях при локальных органических поражениях головного мозга (Лурия, 1962; Цветкова, 1966; Глозман, 1995; Hodges et al., 1992; Patterson et al., 2007). Значение этого — разнообразного и весьма объемного — эмпирического материала для клинической практики переоценить трудно. Более того, его систематизация позволила сделать ряд принципиально важных теоретических обобщений, которые легли в основу современных представлений об организации мозгового субстрата сложных форм интеллектуальной деятельности. Однако специфика клинического подхода, с неизбежностью предполагающая, что в фокусе внимания оказываются, прежде всего, патологические, дезадаптивные трансформации психики, так или иначе подкрепляла установку (вероятно, даже не вполне осознаваемую самими исследователями) на рассмотрение любого — хоть количественного, хоть качественного — измене-

ния в однажды сформированной понятийной системе как лежащего за рамками нормы. Поэтому вопрос о необходимости изучения пластических свойств понятийных структур у здоровых взрослых людей на этом этапе развития психологической науки еще не мог быть сформулирован: понятия мыслились как стабильные и неизменные ментальные образования.

Ситуация начала постепенно меняться в последней четверти XX века, когда стали появляться работы, выполненные с совершенно различными целями и в русле очень разных подходов, но при этом независимо друг от друга показывающие, что, помимо стабильности, понятийная система человека обладает и еще одним важным свойством — свойством пластичности. Так, например, на волне интереса к проблематике когнитивных стилей (которая пришлась на конец 1950-х — 1960-е гг. на Западе и на 1970 — 1990-е гг. в нашей стране) внимание к себе привлекла теория личностных конструкторов Дж. Келли, легшая в основу выделения такого когнитивного стиля, как когнитивная простота/сложность (Холодная, 2002). Эта теория была опубликована еще в 1955-м году как попытка описать структуру и принципы функционирования личности (Kelly, 1955). Ее основной постулат заключался в следующем: любой человек по своей природе — исследователь (“every man as his own scientist”). Он изучает окружающий мир и пытается как можно точнее спрогнозировать последующее развитие событий. Познание и прогнозирование осуществляются с помощью особых психических образований — т. н. личностных конструкторов, которые имеют биполярную структуру и представляют собой обобщение индивидуального опыта, позволяющее маркировать тем или иным образом каждый новый объект или ситуацию. Хотя сам Дж. Келли полагал, что предлагаемый им термин «конструктор» не аналогичен по своему содержанию уже существующему в научном психологическом обиходе термину «понятие» (Kelly, 2017), его подробный анализ, выполненный более поздними исследователями (Забродин, Похилько, 1987; Франселла, Баннистер, 1987), все же дает основания заключить, что, несмотря на специфичное для конструктора свойство биполярности, в целом содержательное наполнение этого термина достаточно близко к современной трактовке термина «понятие».

В силу того, что в рамках теории Дж. Келли личность понималась в первую очередь как *познающий* субъект, эта концепция была воспринята не только психологами, непосредственно занимающимися изучением личности, но и когнитивистами, чьим базовым тезисам она оказалась как нельзя более созвучна. Однажды появившись, теория Дж. Келли была интересна, прежде всего, новизной самого подхода: именно структурирование опыта и прогнозирование событий с помощью личностных конструкторов как своего рода интеллектуальных инструментов (а не просто эмоциональную переработку значимых событий) предлагалось считать основной задачей психики. Однако ближе к 1960–1970-м гг. интерес сместился от общего понимания личности как набора конструкторов к описанным Дж. Келли свойствам самих конструкторов, в частности, таким как системность (отдельные конструкторы не изолированы друг от друга, а образуют целостную систему), проницаемость (готовность личности критически оценивать имеющиеся в ее распоряжении конструкторы и корректировать их в случае, если они оказываются недостаточно эффективны для прогнозирования), диапазон применимости (количество событий, которые могут быть оценены с помощью того или иного конструктора) и тенденция к расширению конструкторной системы для более эффективного охвата большего количества событий. Все перечисленные свойства предполагают, что те когнитивные «линейки», которые субъект сформировал на основе прошлого опыта и которыми он пользуется для познания мира и прогнозирования будущих событий, не являются фиксированными. Напротив, они не только направляют когнитивную деятельность, но и сами заметно меняются под воздействием результатов последней: корректируют свое содержание и диапазон, вступают друг с другом в горизонтальные и иерархические отношения, а иногда, если этого требует опыт взаимодействия со средой, и вовсе исчезают как утратившие свою прогностическую способность. Такие особенности конструкторов прямо указывают на то, что когнитивная система человека необычайно пластична, — и, более того, эта пластичность представляет собой одно из условий эффективного познания.

Ближе к началу 2000-х гг. идея о динамическом характере психических репрезентаций получила множество эмпи-

рических подтверждений в совсем другой области исследований — нейрофизиологии памяти, где она стала активно обсуждаться в связи с таким феноменом, как реконсолидация воспоминаний (для обзора см. Александров и др., 2015; Hupbach et al., 2008; McKenzie, Eichenbaum, 2011; Besnard et al., 2012; Ecker, 2015; Haubrich, Nader, 2016; Nader, 2016). В ряде работ, выполненных на человеке и животных (Nader et al., 2000; Sara, 2000; Hupbach et al., 2007; Clarke et al., 2010; Inda et al., 2011; Björkstrand et al., 2015), было убедительно показано, что однажды сформированные мнемические следы с течением времени не остаются неизменными, а модифицируются как под воздействием нового опыта, так и в результате самого процесса извлечения информации из памяти, заметно меняя свою организацию и содержание. Огромная практическая значимость такого рода данных (прежде всего, для клинических исследований и психотерапии, где они открыли множество перспектив для работы с травматическим опытом (Ecker et al., 2012; Gray et al., 2019; Vermes et al., 2020)) сочеталась со значимостью теоретической, заключавшейся в принципиально новом понимании мнемических репрезентаций: теперь они стали мыслиться как по определению пластичные и подверженные изменениям.

Наконец, отдельного упоминания заслуживает большой пласт работ, связанных с изучением динамических свойств понятийных репрезентаций, проявляющихся на нейрональном уровне. В рамках этого направления было показано, что под воздействием нового опыта нейрональные представления тех или иных понятий претерпевают серьезные качественные изменения. Например, в работе К. Хёнига и коллег (Hoenig et al., 2011) было обнаружено, что у профессиональных музыкантов области коры головного мозга, активирующиеся при рассматривании изображений музыкальных инструментов, также активируются и при прослушивании звуков, которые производят эти музыкальные инструменты. При этом у не занимающихся музыкой испытуемых из контрольной группы такие паттерны активации обнаружены не были, что четко указывает на пластические изменения нейрональных репрезентаций, возникающие под влиянием личного опыта. Авторы полагают, что значительный опыт взаимодействия с музы-

кальными инструментами, которым обладают музыканты-профессионалы, способствует формированию связей между мозговыми контурами, отвечающими за обработку информации на чисто перцептивном уровне, и мозговыми контурами, обеспечивающими осмысление этой информации уже на уровне концептуальном. Это дает основания полагать, что нейропластические изменения, возникающие под воздействием опыта, затрагивают не только перцептивные и моторные репрезентации, но также могут приводить к изменениям и на более высоких «этажах» мозговой деятельности — в частности, затрагивать семантические процессы. Нейрофизиологические и поведенческие данные, созвучные описанным выше, также были получены и другими авторами (Kiefer et al., 2007, 2008; Cardinali et al., 2009; Yee et al., 2013).

Таким образом, можно говорить о том, что на протяжении последних десятилетий в разных областях когнитивной науки назревал своего рода парадигмальный сдвиг. Этот сдвиг заключается в постепенном переходе от представлений о хранящемся в памяти концептуализированном опыте субъекта как преимущественно стабильном и не подлежащем серьезным трансформациям к пониманию этого опыта как подвижной, не тождественной самой себе в различные моменты времени ментальной и нейрофизиологической системы. В настоящее время принято считать, что процесс перестройки существующих репрезентаций происходит не только в детском возрасте, а постоянно, на протяжении всей жизни (McKenzie, Eichenbaum, 2011; Kiefer, Pulvermüller, 2012; Yee, Thompson-Schill, 2016); при этом на основе уже сформированных понятий все время порождаются новые, что дает возможность генерировать принципиально новое знание на базе имеющейся информации (Холодная, 2012; Coutanche et al., 2020), обеспечивая тем самым работу понятийного мышления (Холодная и др., 2019; Shcherbakova et al., 2017). Однако, несмотря на разделяемое многими исследователями убеждение относительно принципиальной пластичности концептуальной системы, конкретные типы перестройки, которым подвергаются понятийные репрезентации, и подлежащие им механизмы все еще остаются малоизученными.

Действительно, результаты ряда работ достаточно красноречиво говорят о том, что взрослые люди успешно форми-

руют репрезентации новых понятий даже в условиях крайне ограниченного количества предъявлений подлежащей усвоению информации — в частности, вербальной (Halberda, 2006; Coutanche, Thompson-Schill, 2014; Vasilyeva et al., 2019; Shtyrov et al., 2021; см. также *Главы 1–4*). Поэтому закономерно возникает вопрос о том, что происходит с только что сформированными понятиями после их встраивания в уже существующую когнитивную архитектуру. Насколько прочны эти новые единицы концептуальной системы? До какой степени они подвержены последующим изменениям — и какие вообще изменения могут с ними произойти? Как такие изменения связаны с характером последующего опыта? Возможно ли целенаправленно упрочить, разрушить новое понятие или изменить степень его обобщенности? Насколько нам известно, попытки найти ответы на перечисленные вопросы в строго контролируемых лабораторных условиях до сих пор не предпринимались. Восполнению этого пробела и было посвящено наше экспериментальное исследование, направленное на изучение того, как тот или иной тип модификации только что сформированного нового понятия влияет на эффективность его последующей активации.

## **Методы и организация исследования**

Цель данного исследования заключалась в выявлении и описании динамических свойств функционирования концептуальной системы после процедуры модуляции активности зоны Вернике с помощью транскраниальной электрической стимуляции (ТЭС) постоянным током (эффективность влияния которой на формирование следов памяти как таковых уже обсуждалась в *Главах 2 и 4*). В частности, мы планировали определить, каким образом разные типы семантического переобучения влияют на ментальные репрезентации ранее усвоенных человеком понятий разного уровня обобщенности — конкретных и абстрактных.

Мы предполагали, что существует связь между уровнем обобщенности понятия и эффективностью его усвоения и активации. При этом в фокусе нашего внимания оказался вопрос о том, как именно содержание понятия меняется после

его первичного усвоения в процессе получения новых знаний об изученном концепте. Так, мы ожидали, что способ модификации содержания понятий разной степени обобщенности оказывает специфическое влияние на эффективность их последующей активации. И, наконец, последней нашей задачей стала оценка вклада активности зоны Вернике (как одной из основных речевых зон коры головного мозга) в реализацию описанных процессов. Для ее решения испытуемым разных экспериментальных групп проводилась стимуляция области Вернике с помощью трех протоколов (анодного, катодного и плацебо).

### ***Выборка***

В исследовании приняли участие 48 добровольцев (38 — женщины; 18–34 года; средний возраст — 22,7 года,  $SD = 4,8$ ). Все участники были праворукими монолингвами — носителями русского языка как родного (доминирующая рука определялась при помощи Эдинбургского опросника (Oldfield, 1971)) с нормальным или скорректированным до нормального зрением, не имели в анамнезе каких-либо неврологических или психиатрических заболеваний и не принимали на момент участия в исследовании какие-либо препараты, влияющие на работу головного мозга. Для отбора участников исследования использовались специально разработанные анкеты. Анкетирование проводилось с помощью онлайн-сервиса Google Forms (Google Inc., Маунтин-Вью, Калифорния, США).

От каждого испытуемого было получено информированное согласие, одобренное Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета. Участие в исследовании оплачивалось.

### ***Стимульный материал***

Для экспериментального исследования пластических свойств концептуальной системы нам было необходимо разработать оригинальный стимульный материал, который позволил бы смоделировать как ситуацию усвоения испытуемыми новых понятий (обучения), так и процесс их дальнейшей

модификации (переобучения<sup>12</sup>). Данная работа предполагала создание набора: 1) семантик несуществующих в русском языке понятий и 2) псевдослов — ранее неизвестных испытуемым словоформ, которые в ходе обучающей части эксперимента приобретали значения (то есть становились полноценными словами) за счет их предъявления в контексте разработанных семантик (см. раздел Процедура исследования). Нами было создано 16 новых (т. е. несуществующих в русском языке) понятий; из них 8 были конкретными и 8 — абстрактными.

Помимо словоформ, соответствующих новым понятиям, в качестве стимульного материала были использованы и другие словоформы, необходимые для проведения проверочных заданий. Общее количество стимульных словоформ составило 64. В Таблице 10 представлены пять групп использованных в эксперименте словоформ, а также описан способ их образования и перечислены задания, в которых они были задействованы.

Необходимо отметить ряд особенностей, связанных с фонетикой разработанных стимулов. Во-первых, искусственно созданные нами словоформы по своим фонетическим и фонотактическим параметрам соответствовали нормам русского языка и, таким образом, на основе формальных признаков могли восприниматься русскоязычными испытуемыми как реально существующие лексические единицы. Эта особенность позволила смоделировать ситуацию усвоения человеком новых понятий родного языка и дала возможность повысить экологическую валидность нашего эксперимента. Во-вторых, все словоформы характеризовались одинаковой последовательностью чередования гласных и согласных: согласный — гласный — согласный — согласный — гласный — согласный (взрывной) (СГССГС). Такая кросс-балансировка позволила при последующем анализе результатов исключить вероятность влияния фонетических характеристик определенных словоформ на успешность усвоения и актуализации соответствующих им

---

<sup>12</sup> В данной главе термины «обучение» и «переобучение» употребляются в качестве видовых понятий по отношению к термину «научение» и обозначают различные стадии этого процесса: обучение — первичное усвоение нового понятия, а переобучение — последующую модификацию его содержания под воздействием новой информации.

Таблица 10. Группы словоформ, использованных в эксперименте

Название	Существующие слова-родители	Псевдослова-участники обучения	Псевдослова-конкуренты	Контрольные существующие слова	Контрольные псевдослова
<b>Количество</b>	16	16	16	8	8
<b>Способ образования</b>	Существующие слова	Образованы от слов-родителей посредством замены согласного на конце слова, при условии, что слово не станет омофоном	Образованы от слов-родителей посредством замены согласного на конце слова, при условии, что слово не станет омофоном. Звук на конце слова должен отличаться от того, что был использован для создания псевдослова-участника	Существующие слова	Образованы от существующих слов, не включенных в исследование
<b>Источник</b>	Словари	Перекомбинирование исходного материала	Перекомбинирование исходного материала	Словари	Перекомбинирование исходного материала
<b>Задания</b>	Узнавание Лексическое решение	Обучение Переобучение Узнавание Лексическое решение	Узнавание Лексическое решение	Узнавание Лексическое решение	Узнавание Лексическое решение
<b>Примеры</b>	Запрет	Запрет	Запрет	Чердак	Рюкзак

понятий. Кроме того, это дало нам возможность осуществить анализ времени реакции испытуемых на стимульные словоформы при выполнении экспериментальных заданий.

Словоформы разных групп, использованные в эксперименте, обладали рядом специфических особенностей, обусловленных способом их образования. Так, 1) *слова-родители* представляли собой существующие в русском языке слова, от которых образовывались: 2) *псевдослова-участники*, которым значение присваивалось в процессе обучения и далее изменялось в ходе переобучения и 3) *псевдослова-конкуренты*. Слова-родители и псевдослова-конкуренты предъявлялись вместе с псевдословами-участниками в ходе проверочных заданий. Помимо данных стимулов в эксперименте были использованы 4) *контрольные существующие слова*, которые не выступали в роли слов-родителей для псевдослов-участников обучения, и 5) *контрольные псевдослова* (не использовавшиеся при обучении).

Разработанные нами стимульные словоформы были апробированы в ходе пилотажного этапа исследования с привлечением выборки в размере 16 человек (14 — женщины; 18–23 года; средний возраст — 22,1 года). По результатам анализа полученных данных были сделаны выводы о более затрудненной обработке слов-родителей по сравнению с контрольными существующими словами. Так, при последующем тестировании среднее время реакции на стимулы первой группы было значительно выше соответствующего показателя для стимулов второй группы. Данный эффект можно рассматривать в качестве признака появившейся в результате усвоения понятия интерференции между лексической формой псевдослова-участника обучения (соответствующего новому понятию) и лексической формой слова-родителя (Dumay, Gaskell, 2007). Об успешности усвоения новых словоформ можно было судить и по проявившимся различиям в эффективности обработки испытуемыми псевдослов-конкурентов и контрольных псевдослов. Обнаруженное в ходе анализа преимущество контрольных псевдослов также можно объяснить интерференцией между псевдословом-участником обучения и псевдословом-конкурентом. Так, эффективность обработки псевдослов-конкурентов оказывалась ниже, чем эффективность

обработки контрольных псевдослов, фонетическая форма которых отличалась от фонетической формы псевдослов-участников обучения.

Для того чтобы избежать появления вмешивающихся переменных, связанных с тем, что некоторые псевдослова могли показаться испытуемым слишком похожими на реально существующие слова русского языка, был проведен предварительный опрос, в котором приняли участие 22 человека (монолингвы, носители русского языка как родного). В ходе этого опроса испытуемым предъявлялись 36 псевдослов, в отношении каждого из которых требовалось ответить на два вопроса: 1) «Знакомо ли Вам это слово?», 2) «Использовали ли Вы его?». Опрос проводился с помощью онлайн-сервиса Google Forms (Google Inc., Маунтин-Вью, Калифорния, США). По результатам проведенного опроса из итогового списка стимульных слов были исключены четыре словоформы, которые показались знакомыми 13,5% участников. Оставшиеся 32 словоформы были использованы в качестве основного стимульного набора при проведении эксперимента. Для каждого испытуемого отбирались 16 словоформ, что было обусловлено количеством задействованных нами понятий (всего 16: 8 абстрактных и 8 конкретных), которые использовались при обучении в первый день эксперимента и переобучении — во второй. Каждому понятию соответствовала одна словоформа из числа псевдослов-участников (второй группы). В свою очередь, каждому псевдослову-участнику соответствовало одно слово-родитель (из первой группы) и одно слово-конкурент (из третьей группы). Таким образом, количество словоформ в первой, второй и третьей группах было одинаковым. Контрольные существующие слова (из четвертой группы) в ходе анализа эффективности обработки словоформ сравнивались по очереди со словами-родителями псевдослов, соответствующих восьми конкретным и восьми абстрактным понятиям. Следовательно, в четвертой группе было достаточно восьми словоформ. Контрольные псевдослова (из пятой группы) также были представлены восемью словоформами, которые по очереди сравнивались с псевдословами-конкурентами абстрактных и псевдословами-конкурентами конкретных понятий.

Важно отметить, что разработанная нами экспериментальная парадигма предполагала процедуру контрбаланси- ровки словоформ и понятий: каждое псевдослово из второй группы последовательно закреплялось за различными се- мантиками (несуществующими понятиями) для разных ис- пытуемых. Эта процедура была необходима для того, чтобы избежать различий в данных, обусловленных случайной свя- зью определенной словоформы с определенным понятием.

### ***Процедура исследования***

Эксперимент проводился на протяжении двух дней под- ряд: в Таблице 11 кратко описаны его основные этапы, пере- числены использованные процедуры, проверочные задания и обозначены их цели. Далее в разделе ***Обучение и переобу- чение*** будут подробно представлены соответствующие проце- дуры; описание проверочных заданий можно найти в разде- ле ***Поведенческая оценка результатов научения***.

*Таблица 11.* Дизайн эксперимента: основные этапы исследования и соответствующие им задачи

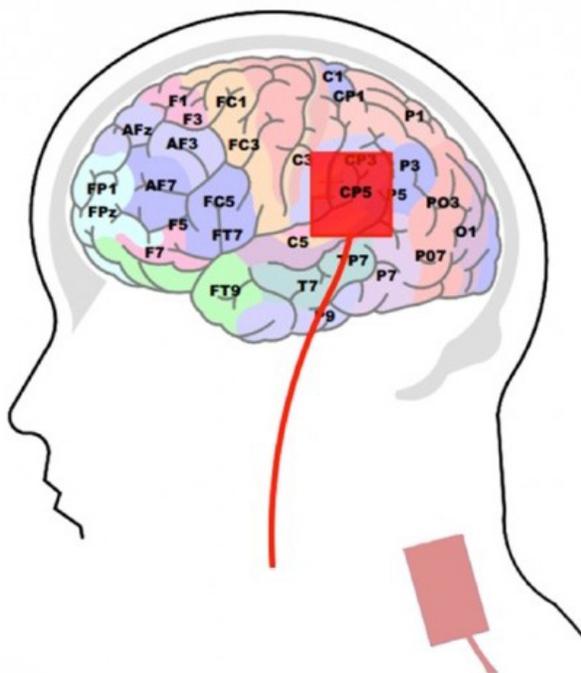
	<b>Этап исследования</b>	<b>Задача</b>
<b>Первый день</b>	ТЭС (плацебо/анодная/ катодная)	Модуляция активности речевых зон мозга
	<b>Обучение</b>	Обучение новым понятиям
	1. Свободное воспроизведение 2. Узнавание 3. Лексическое решение	Оценка эффективности усвоения лексической формы слова
	4. Выбор определений 5. Формулировка определений	Оценка эффективности усвоения семантики понятий
<b>Второй день</b>	<b>Переобучение</b>	Изменение содержания понятий
	1. Свободное воспроизведение 2. Узнавание 3. Лексическое решение	Оценка эффективности усвоения лексических форм слов
	4. Выбор определений 5. Формулировка определений	Оценка эффективности усвоения семантики понятий

В первый день эксперимента участники подвергались процедуре ТЭС (анодной, катодной или плацебо — в зависимости от группы). Сразу после нее они проходили через процедуру контекстного обучения — усваивали значения новых понятий, читая предъявляемые на мониторе компьютера предложения, в которые входили слова, обозначающие эти понятия. На каждое понятие приходилось по пять предложений, последовательно раскрывающих его содержание. Таким образом, в результате процедуры обучения новые для испытуемых (несуществующие в русском языке) понятия приобретали значение. Затем с помощью ряда проверочных заданий осуществлялась проверка эффективности усвоения новых понятий — как на лексическом, так и на семантическом уровне.

Второй день эксперимента начинался с процедуры переобучения — модификации содержания понятий, которая по форме была идентична процедуре обучения, однако предложения, в контексте которых теперь предъявлялись понятия, должны были изменить содержание этих понятий одним из четырех способов за сет: 1) повторения, 2) уточнения, 3) обобщения или 4) разрушения. После процедуры переобучения осуществлялась оценка его эффективности с помощью тех же проверочных заданий, что и в первый день эксперимента. Далее каждый из этапов исследования будет описан более подробно.

### **Процедура транскраниальной электрической стимуляции**

На первом этапе участия в исследовании все испытуемые проходили процедуру транскраниальной электрической стимуляции постоянным током. В зависимости от того, в какую из трех групп был случайным образом распределен тот или иной испытуемый, стимуляция осуществлялась с использованием одного из трех протоколов: а) анодного, б) катодного или в) плацебо. Максимальная сила тока была равна 1,5 мА; время стимуляции составляло 15 минут. Основным локусом стимуляции была одна из двух ключевых с точки зрения организации речевых функций зон мозга — зона Вернике, находящаяся в левой нижневисочной области. Ее местоположение определялось по координатам электрода СР6 (Рис. 36).



**Рисунок 36.** Схема расположения электрода на голове испытуемого для стимуляции зоны Вернике (ярко-красный квадрат). Бледно-розовым прямоугольником обозначено место установки референтного электрода\*

\* Оригина́л рисунка представлен в работе Д. Курмакаевой с соавторами (Kurmakayeva et al., 2021, Рис. 1). В настоящем исследовании использовалась аналогичная схема монтажа электродов при проведении процедуры ТЭС.

При создании экспериментального дизайна исследования мы ориентировались на парадигму, ранее разработанную и успешно апробированную нашими коллегами (см. *Главу 4*, а также Vlagovechtchenski et al., 2019), которая позволяет исследовать влияние ТЭС на эффективность усвоения испытуемыми новых понятий. Созданная нами на ее основе собственная парадигма позволяла фиксировать не только сами по себе результаты усвоения новых понятий, но и оценивать эффективность их последующей модификации в зависимости от конкретного типа переобучения.

### **Обучение и переобучение**

Постстимуляционное научение новым словоформам и переобучение на второй день эксперимента осуществлялись имплицитно, то есть усвоение значения каждого нового понятия происходило на основе контекста, описывающего связанные с этим понятием ситуации (Mestres-Missé et al., 2014; Vlagovechtchenski et al., 2019). Такой подход позволяет повысить экологическую валидность экспериментальной ситуации обучения, поскольку новые понятия родного языка люди усваивают скорее контекстуально, а не учат целенаправленно, т. е. посредством эксплицитного научения (подробнее об этом см. *Главы 1 и 3*). В данном исследовании значение нового понятия постепенно раскрывалось в результате последовательного предъявления предложений, содержащих соответствующую этому понятию словоформу и шаг за шагом уточняющих его семантическое наполнение.

На каждое понятие в обучающей серии приходилось по пять предложений, которые предъявлялись на экране компьютера. Эти предложения описывали разные ситуации, так или иначе связанные с новым понятием. Опираясь на результаты описанных выше работ, мы ожидали, что испытуемый догадается о значении понятия из контекста соответствующих ему предложений. Важно отметить, что по мере предъявления предложений контекст менялся от более обобщенного и неопределенного к более конкретному, уточняющему значение понятия. Например, если первое из пяти предложений выглядело так: «Мама положила в нижний

ящик старого гардероба *запрет*», — то второе предложение могло иметь следующее содержание: «Петр, собираясь в поездку, свернул носки в *запрет*». Таким образом, в данном случае контекст первого предложения позволял участнику предположить только то, что речь идет о каком-то небольшом предмете, который можно хранить дома в ящике, но второе предложение уже существенно уточняло значение нового понятия, объясняя, из чего именно сделан упомянутый предмет.

Аналогичный способ использовался для модификации содержания только что усвоенных понятий на этапе переобучения. Как уже упоминалось выше, мы использовали четыре типа модификации: 1) повторение (в качестве контрольного условия); 2) уточнение; 3) обобщение и 4) разрушение. Данный перечень модификаций, хотя и не является исчерпывающим, включает основные типы трансформации знаний в когнитивной системе человека и, кроме того, мог быть успешно адаптирован к разработанным нами наборам стимульных слов. Так, использованное нами количество понятий (8 конкретных и 8 абстрактных) является оптимальным, поскольку, не слишком утомляя испытуемого необходимостью обрабатывать большие объемы новой информации, мы получили возможность применить каждый тип модификации к двум конкретным и двум абстрактным понятиям. Таким образом, с помощью процедур псевдорандомизации как абстрактные, так и конкретные понятия сперва делились на пары, а затем для каждой из четырех пар выбирался один из четырех типов переобучения. В зависимости от того, какой тип переобучения назначался понятию, определялось, в контексте каких именно предложений оно будет предъявляться.

В качестве контрольного условия (повторения) использовались те же предложения, что уже предъявлялись испытуемому в процессе обучения. Уточнение осуществлялось посредством предъявления понятий в более конкретном (по сравнению с тем, что использовался на этапе обучения) контексте, то есть в составе предложений, которые актуализировали частные признаки нового понятия (например, специфические внешние свойства соответствующего ему

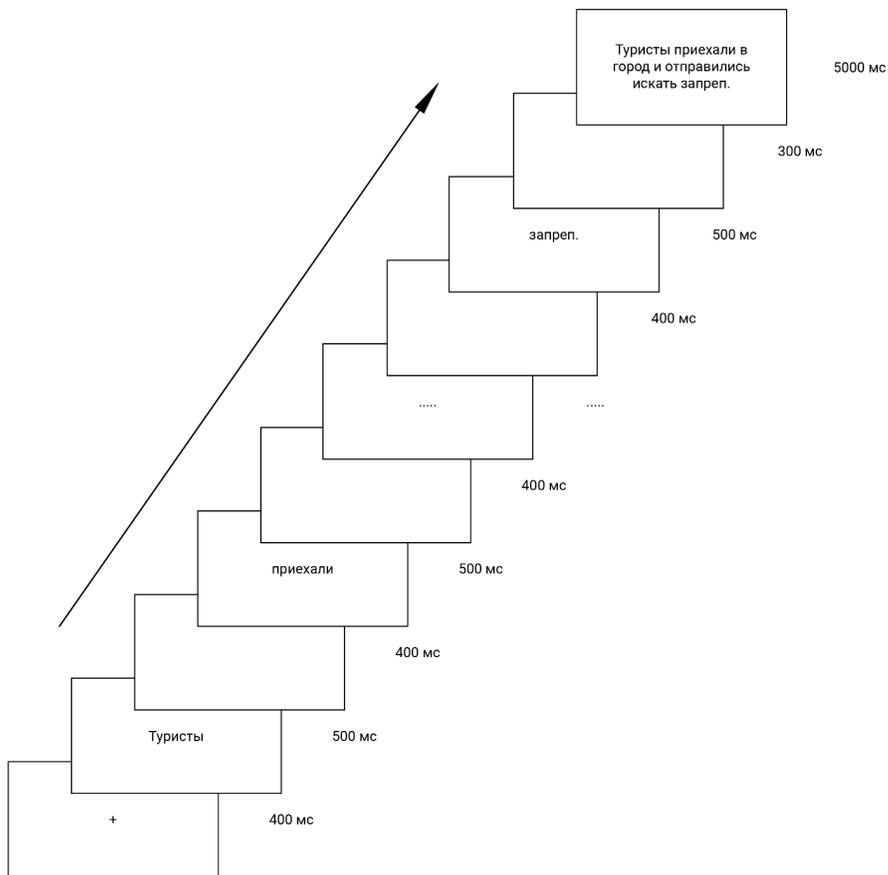
объекта, такие как цвет или форма). Обобщение, напротив, вводило понятия в более общий контекст, благодаря чему происходила актуализация их абстрактных признаков. Наконец, разрушение представляло собой предъявление только что выученных понятий в контексте таких предложений, смысл которых не согласовывался с усвоенными прежде значениями и заставлял испытуемого усомниться в верности последних. Примеры предложений, использовавшихся в ходе обучения и различных типов переобучения, представлены в Таблице 12.

*Таблица 12.* Стимульные предложения, использованные в эксперименте для усвоения испытуемыми новых понятий (первый день) и модификации их содержания (второй день)

Обучение/ Повторение	Уточнение	Обобщение	Разрушение
Туристы приехали в город и отправились искать ***	Мойте руки, ведь сотни людей трогали этот ***	Распространенный бытовой ритуал — это потерять на счастье ***	Он услышал страшный скрежет, по улице ехал ***
Он пришел к этому памятнику, чтобы потрогать ***	У памятника Елизавете палец сверкает, превратившись в ***	Приятно верить, что придет удача, если потерять ***	На двери висела веревка, к которой привязали ***
Этот памятник привлекал много суеверных туристов своим ***	Обычно носы и пальцы статуи превращаются в ***	Многие верят в приметы, такие как потрогать ***	Зайдите в магазин и купите сочный зеленый ***
Некоторые верят, что придет удача, если потерять ***	Лене надоело стоять в толпе желающих потрогать ***	Приметы создают иллюзию уменьшения неопределенности, откуда и ***	Порядочный человек всегда возьмет на важную встречу ***
Тысячи рук превратили нос статуи в блестящий ***	На фото с памятником он держится за ***	Мы переносим свою ответственность на судьбу, потрогав ***	Иван поскользнулся и упал в очень глубокий ***

Перед запуском парадигмы испытуемым предъявлялась следующая инструкция: *«Сейчас Вам будут пословно предъявляться предложения. В предложениях будут встречаться как известные Вам слова, так и новые, с которыми Вы не встречались раньше. Фиксируйте взгляд в центре экрана, внимательно читайте каждое слово, старайтесь понять и сами предложения, и новые слова. Затем у Вас будет возможность еще раз прочитать все предложение целиком, на это отводится 5 секунд. Как только Вы прочтете целое предложение, нажмите кнопку “1” указательным пальцем левой руки, чтобы приступить к чтению нового предложения. После эксперимента будет производиться проверка того, насколько Вы усвоили новые слова. Нажмите кнопку “1”, чтобы запустить эксперимент».*

Процедура обучения и переобучения (модификации содержания понятий) — так же, как и проверочные задания — были созданы и предъявлялись в среде NBS Presentation v.20.0 (Neurobehavioral Systems, Беркли, Калифорния, США). С технической точки зрения процедура предъявления предложений была идентична для обучения и переобучения. На каждое понятие приходилось по пять предложений, все предложения состояли из восьми слов. Последнее (восьмое) слово всегда обозначало несуществующее понятие. Использовались следующие настройки: цвет фона — серый (RGB: 125, 125, 125), цвет текста — черный (RGB: 0; 0; 0), шрифт — Arial, кегль — 27. Предложения предъявлялись пословно: каждое слово демонстрировалось в течение 500 мс, затем на 400 мс предъявлялся пустой экран, затем — следующее слово. После предъявления несуществующего понятия в конце предложения на 300 мс появлялся пустой экран, затем на 5000 мс или до первого нажатия клавиши предъявлялось все предложение целиком, затем на 500 мс — единственный фиксационный крест («+»), который отделял друг от друга предложения, относящиеся к одному и тому же понятию. Пятерки предложений, относящиеся к одному понятию, разделялись тройным фиксационным крестом («+++»), который предъявлялся на 2000 мс. На Рис. 37 представ-



**Рисунок 37.** Процедура предъявления стимулов в ходе обучения и переобучения

лена схема предъявления стимулов на этапах обучения и переобучения.

### **Поведенческая оценка результатов научения**

Для оценки результатов научения нами была использована батарея из пяти проверочных заданий, позволяющих

оценить результаты усвоения понятий (и эффективность последующей модификации их содержания) как на лексическом (словоформа), так и на семантическом (значение) уровнях. Ниже каждое из заданий описано более подробно.

### *Свободное воспроизведение*

Участнику было необходимо в предварительно открытом для него текстовом документе напечатать все новые словоформы, которые он запомнил в результате обучения. Для оценки каждого ответа фиксировалось количество правильно написанных букв, — но только в том случае, если две первые буквы были написаны верно (за это участник получал 1 балл). Далее количество баллов росло прямо пропорционально количеству правильно написанных букв, то есть за каждую верно написанную букву респондент получал еще 1 балл (см. Таблицу 13); таким образом, максимально возможной оценкой для одного стимула было 5 баллов.

*Таблица 13.* Задание на свободное воспроизведение, пример оценки ответов участников

<b>Стимульные слова</b>	<b>Примеры ответов</b>	<b>Баллы</b>
Каскаб	Лориаб	0
Корнек	Коллан	1
Батрап	Батлин	2
Секрек	Сепрен	3
Запреп	Запрем	4
Барчуп	Барчуп	5

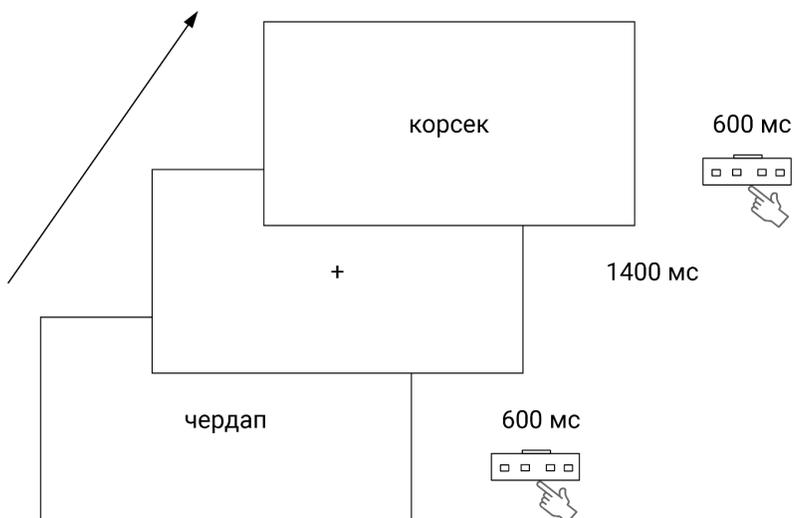
### *Узнавание и лексическое решение*

В заданиях на узнавание и лексическое решение испытуемым с равной скоростью предъявлялись одинаковые

стимулы, однако сами задания различались с точки зрения инструкции. В задании на узнавание испытуемых просили определить, встречалось ли им предъявляемое на экране слово в процессе обучения (в первый день) или переобучения (во второй день). Задание на лексическое решение отличалось тем, что участники должны были определить, имело ли предъявляемое им слово смысл. В обоих случаях испытуемым необходимо было нажать клавишу, соответствующую тому или иному варианту ответа. Настройки предъявления стимулов в этих проверочных заданиях были одинаковыми: цвет фона — серый (RGB: 125, 125, 125), цвет текста — черный (RGB: 0; 0; 0), шрифт — Arial, кегль — 27. Каждая словоформа предъявлялась на 600 мс, в межстимульном интервале на экране появлялся фиксационный крест («+») на 1400 мс. В случайном порядке каждому участнику предъявлялись все 64 словоформы, относящиеся к разным группам: существующие слова-родители, псевдослова-участники обучения, псевдослова-конкуренты, существующие контрольные слова и контрольные псевдослова. На Рис. 38 представлена процедура предъявления стимулов для этих проверочных заданий.

### *Выбор определений*

Данное задание было нацелено на проверку успешности усвоения понятия на семантическом уровне — с помощью определения количества правильно установленных связей между усвоенной словоформой и соответствующей ей семантикой. Испытуемым на мониторе компьютера последовательно предъявлялись комбинации из стимульных словоформ и трех вариантов определений к ним (из которых правильным являлось только одно), а также вариант «Ничто из вышеперечисленного» в списке предложенных альтернатив. Инструкция заключалась в том, что необходимо было выбрать для словоформы то определение, которое является верным (при предъявлении использовались стандартные настройки: цвет фона — серый (RGB: 125, 125, 125), цвет текста — черный (RGB: 0; 0; 0), шрифт — Arial, кегль — 27). Ответ давался испытуемым путем нажатия на клавишу, со-



**Рисунок 38.** Процедура предъявления стимулов в заданиях на узнавание и лексическое решение

ответствующую номеру выбранного определения. На Рис. 39 представлен пример такого задания.

### *Формулировка определений*

Данное проверочное задание использовалось для оценки усвоения значения стимульных понятий. Участникам был предоставлен текстовый документ, содержащий список новых словоформ, которые предъявлялись на этапе обучения, и инструкция дать определение каждой из них. Полученные ответы оценивались с помощью специально разработанной системы критериев, которая позволила, с одной стороны, принять во внимание общую успешность актуализации семантики понятия, а с другой — оценить успешность активации а) категориальных, б) центральных (наиболее значимых) и в) дополнительных признаков понятия по отдельности. Категориальные признаки характеризуют принадлежность понятия к определенному логи-

### Секрек

1.

Часть памятника, которая блестит, потому что люди в больших количествах дотрагиваются до этого места на счастье.

2.

Самодельная подкладка из подручных материалов, которую помещают под короткую ножку стола, чтобы он перестал качаться.

3.

Информация, которая может нанести вред своему обладателю по внутренним причинам или из-за интересов третьих лиц.

4.

Ничто из вышеперечисленного.

**Рисунок 39.** Пример проверочного задания на выбор определения

ческому классу и описывают свойства, объединяющие его с другими представителями той же категории. Центральные, или наиболее значимые, признаки понятия представлены его функцией или причиной его возникновения: они образуют понятие на базе какой-либо категории. Например, на базе категории «полезная ошибка» с помощью значимого признака (функции) «открытие нового знания» образуется понятие «полезная ошибка, с помощью которой открывается новое знание». Дополнительные признаки понятия, как правило, представлены физическими свойствами соответствующего ему объекта, эмпирическими примерами, а в случае абстрактных понятий — ссылками на конкретные ситуации, для описания которых данное понятие уместно использовать. В Таблице 14 представлен пример стимульного понятия и описаны его признаки, относящиеся к различным категориям.

Таблица 14. Пример выделения разных категорий признаков в ответах задания на формулировку определений

Определение	Категории признаков	Признаки понятия
Часть памятника, которая блестит, потому что люди в больших количествах дотрагиваются до этого места на счастье (суеверное поведение).	Категориальные признаки	Часть памятника
	Центральные признаки (причины/ функции)	Люди дотрагиваются до этого места на счастье, суеверное поведение
	Дополнительные признаки	Блестящий, большие скопления народа, туристов

Эталонное распределение признаков каждого стимульного понятия по соответствующим категориям было составлено в ходе совместной работы группы из четырех экспертов-психологов<sup>13</sup>, имеющих большой опыт аналитической работы с качественными данными и оценивания результатов интеллектуальной деятельности людей. Далее эксперты независимо друг от друга анализировали, к какой из трех групп относятся признаки, входящие в каждое из данных испытуемыми определений, на основании чего — также независимо — выставляли баллы за определенную группу признаков. Максимальное количество баллов, которое мог набрать участник за определение одного понятия, — 3 (по одному баллу за каждую группу признаков), минимальное — 0. В статистическом анализе использовались усредненные оценки четырех экспертов, выставленные за одно определение для одного испытуемого.

<sup>13</sup> В качестве экспертов выступили О. В. Щербакова, Н. А. Новиковская, Е. А. Андрущенко, Е. Н. Блинова.

## Анализ данных

Для проверки сформулированных гипотез мы анализировали ряд переменных, которые представлены в Таблице 15 вместе с соответствующими проверочными заданиями и единицами измерения.

Таблица 15. Перечень переменных, фиксируемых в исследовании

Задание	Переменная	Диапазон величин
Свободное воспроизведение	Количество правильно написанных букв	1–5 баллов
Узнавание и лексическое решение	Количество правильных ответов (усредненное по каждому типу стимула)	0–100%
	Скорость реакции	250–600 мс
Выбор определений	Правильность ответов	0–100%
Формулировка определений	Количество баллов	0–3 балла

Для статистической обработки собранных данных были использованы коэффициент  $\kappa$  Коэна и многофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим проведением попарных сравнений с помощью критериев Тьюки и Геймса — Хоуэлла. Для коррекции уровней значимости статистических выводов при множественных сравнениях была введена поправка Бонферрони. Расчеты были выполнены с помощью языка программирования Python в среде PyCharm v.2018.3 (JetBrains Distributions s.r.o., Прага, Чехия) и IBM SPSS v.26.0 (IBM Inc., Армонк, Нью-Йорк, США).

Далее будет описана общая логика статистической обработки, которая применялась в ходе выполнения количественного анализа данных, полученных по каждому проверочному заданию.

Для проведения статистического анализа данных по проверочным заданиям, которые выполнялись испытуемыми в первый день (после процедуры обучения), мы использовали двухфакторный и трехфакторный дисперсионный анализ (ANOVA). В качестве универсальных факторов выступали Протокол стимуляции (три уровня: анодный/катодный/плацебо) и Обобщенность понятия (два уровня: конкретное/абстрактное). В заданиях на узнавание и лексическое решение использовался фактор Группа словоформы (восемь уровней, определявшихся взаимодействием функциональной роли словоформы (существующее слово-родитель/псевдослово-участник обучения/псевдослово-конкурент/контрольное слово) и уровня обобщенности ассоциированного с ней понятия (конкретное/абстрактное)), а в задании на формулировку определений дополнительно вводился фактор Признак понятия (три уровня: категориальный/центральный/дополнительный). Результаты заданий, выполненных во второй день (после процедуры переобучения), также были проанализированы с помощью многофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). При проведении данной части анализа использовались те же факторы, что и в первый день, за исключением нескольких изменений. В проверочных заданиях на свободное воспроизведение, выбор определений и формулировку определений добавлялся еще один фактор — Способ модификации содержания понятия, который включал в себя четыре уровня (повторение/уточнение/обобщение/разрушение). Для заданий на узнавание и лексическое решение данный фактор входил в состав переменной Группа словоформы и самостоятельному анализу не подвергался. Было проанализировано влияние перечисленных выше независимых переменных на зависимые переменные исследования: правильность ответов (для всех заданий), а также время реакции (ВР) в заданиях на узнавание и лексическое решение. В Таблице 16 представлены факторы, использованные при построении моделей ANOVA для каждого из заданий в первый и второй дни проведения эксперимента.

Таблица 16. Перечень факторов, использованных при проведении дисперсионного анализа оценок эффективности усвоения и модификации понятий испытуемыми

Задание	1 день	2 день
Свободное воспроизведение	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Протокол стимуляции: 3 уровня (анодный/катодный/плацебо)</li> <li>2. Обобщенность понятия: 2 уровня (конкретное/абстрактное)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Протокол стимуляции: 3 уровня (анодный/катодный/плацебо)</li> <li>2. Обобщенность понятия: 2 уровня (конкретное/абстрактное)</li> <li>3. Способ модификации понятия: 4 уровня (повторение/уточнение/обобщение/разрушение)</li> </ol>
Узнавание	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Протокол стимуляции: 3 уровня (анодный/катодный/плацебо)</li> <li>2. Группа словоформы: 8 уровней (роль словоформы: существующее слово-родитель/псевдослово-участник обучения/псевдослово-конкурент/контрольное слово × обобщенность понятия: абстрактное/конкретное)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Протокол стимуляции: 3 уровня (анодный/катодный/плацебо)</li> <li>2. Группа словоформы: 14 уровней ((псевдослова-участники обучения, модифицированные 4 разными способами + словоформы других функциональных групп: существующее слово-родитель/ псевдослово-конкурент/контрольное слово) × Обобщенность понятия: абстрактное/конкретное)</li> </ol>
Лексическое решение	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Протокол стимуляции: 3 уровня (анодный/катодный/плацебо)</li> <li>2. Группа словоформы: 8 уровней (роль словоформы: существующее слово-родитель/псевдослово-участник обучения/псевдослово-конкурент/контрольное слово × Обобщенность понятия: абстрактное/конкретное)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Протокол стимуляции: 3 уровня (анодный/катодный/плацебо)</li> <li>2. Группа словоформы: 14 уровней ((псевдослова-участники обучения, модифицированные 4 разными способами + словоформы других функциональных групп: существующее слово-родитель/ псевдослово-конкурент/контрольное слово) × Обобщенность понятия: абстрактное/конкретное)</li> </ol>

Задание	1 день	2 день
Выбор определенных	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Протокол стимуляции: 3 уровня (анодный/катодный/плацебо)</li> <li>2. Обобщенность понятия: 2 уровня (конкретное/абстрактное)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Протокол стимуляции: 3 уровня (анодный/катодный/плацебо)</li> <li>2. Обобщенность понятия: 2 уровня (конкретное/абстрактное)</li> <li>3. Способ модификации понятия: 4 уровня (повторение/уточнение/обобщение/разрушение)</li> </ol>
Формулировка определений	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Протокол стимуляции: 3 уровня (анодный/катодный/плацебо)</li> <li>2. Обобщенность понятия: 2 уровня (конкретное/абстрактное)</li> <li>3. Признак понятия: 3 уровня (категориальный/центральный/дополнительный)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Протокол стимуляции: 3 уровня (анодный/катодный/плацебо)</li> <li>2. Обобщенность понятия (конкретное/абстрактное)</li> <li>3. Признак понятия: 3 уровня (категориальный/центральный/дополнительный)</li> <li>4. Способ модификации понятия: 4 уровня (повторение/уточнение/обобщение/разрушение)</li> </ol>

При проведении ANOVA нормальность распределения показателей по исследуемым переменным не проверялась, поскольку проведенные и опубликованные ранее компьютерные симуляции свидетельствуют о том, что для успешного применения ANOVA соблюдение данного требования не является обязательным (Schmider et al., 2010; Blanca et al., 2017), а его несоблюдение не влияет на итоговые результаты анализа. При проведении *post hoc* анализа проверка гомогенности дисперсий в сравниваемых группах осуществлялась с помощью критерия Ливиня. Если предположение о гомогенности дисперсий подтверждалось, то далее для осуществления множественных сравнений использовался критерий Тьюки. Данный критерий позволяет контролировать вероятность ошибки I-го рода в допустимых пределах при соблюдении его допущений, осуществляя все возможные сравнения между группами (Kirk, 2013). Если предположение о гомогенности дисперсий не подтверждалось,

для проведения множественных сравнений использовался критерий Геймса — Хоуэлла. Далее приведены результаты статистического анализа по всем проверочным заданиям, сгруппированные по дням и анализируемым зависимым переменным.

## Результаты

### Свободное воспроизведение

В задании на свободное воспроизведение был проанализирован процент правильно указанных букв в словоформах, которые участники воспроизводили самостоятельно по памяти (далее — правильность написания). Было необходимо проверить различия по трем факторам: Протокол стимуляции, Обобщенность понятия и Способ модификации понятия (во второй день).

#### *Первый день*

Двухфакторный ANOVA не позволил выявить статистически значимых различий в правильности написания словоформ, относящихся к группам конкретных и абстрактных понятий. Также не было обнаружено значимых различий, связанных с типом использованного стимуляционного протокола. Кроме того, не было обнаружено значимого взаимодействия между факторами Протокол стимуляции и Обобщенность понятия.

#### *Второй день*

Трехфакторный ANOVA не позволил обнаружить статистически значимых различий в эффективности воспроизведения участниками стимульных словоформ, связанных с факторами Протокол стимуляции и Обобщенность понятия. Также между этими факторами не было выявлено каких-либо взаимодействий. Однако были обнаружены различия по фактору Способ модификации понятия ( $F(3, 352) = 2,57, p < 0,05$ ). *Post hoc* анализ показал, что тип модификации содержания понятия «Разрушение» приводит к меньшей эффективности ( $p = 0,03$ ) участников в самостоятельном написании словоформ ( $M = 40,13$ ) по сравнению с контрольным типом модификации «Повторение» ( $M = 55,03$ ).

## Узнавание

В задании на узнавание были проанализированы два показателя — время реакции и правильность ответов. Рассматривались различия, связанные с двумя экспериментальными факторами: Протокол стимуляции и Группа словоформы. При этом в первый день анализа фактор Группа словоформы включал в себя информацию о степени обобщенности понятия, а во второй — дополнительно отражал способ модификации его содержания (см. Таблицу 16).

### *Первый день*

Для проверки предположения о значимости различий между средними значениями экспериментальных групп по параметру правильности ответов в первый день эксперимента (после процедуры обучения) был проведен двухфакторный ANOVA (факторы: Группа словоформы и Протокол стимуляции). Был выявлен эффект факторов Протокол стимуляции ( $F(2, 352) = 4,49, p < 0,01$ ) и Группа словоформы ( $F(7, 352) = 7,21, p < 0,01$ ); статистически значимого взаимодействия между этими факторами обнаружено не было.

Множественные сравнения групп (*post hoc* анализ) по обоим факторам осуществлялись с помощью критерия Геймса — Хоуэлла. Анализ результатов, полученных в группах респондентов, различавшихся по фактору Протокол стимуляции, показал, что правильность ответов участников из группы, получавшей катодную стимуляцию (25,33 + 22,39), статически значимо выше ( $p < 0,01$ ), чем правильность ответов участников, получавших анодную стимуляцию (17,81 + 18,08). Таким образом, результаты анализа правильности ответов в задании на узнавание поддерживают гипотезу о влиянии протокола стимуляции на эффективность усвоения понятий: катодная стимуляция увеличивает ее по сравнению с анодной.

Также были проведены сравнения правильности ответов между разными группами словоформ. Ожидалось, что правильность ответов в группе конкретных псевдослов-участников обучения будет выше, чем в группе абстрактных псевдослов-участников обучения. В качестве еще одного по-

казателя успешности усвоения словоформ конкретных и абстрактных понятий мы ожидали увидеть различия между псевдословами-конкурентами (конкретных и абстрактных псевдослов-участников обучения) и контрольными-псевдословами, не предъявлявшимися в процессе обучения (поскольку, как было указано в разделе *Методы и организация исследования*, усвоение нового понятия сопровождается возникновением интерференции между псевдословом-участником обучения и псевдословом-конкурентом, в результате чего правильность ответов для псевдослов-конкурентов оказывается ниже, чем для контрольных псевдослов). Наконец, мы предполагали, что индикатором успешности усвоения словоформ конкретных и абстрактных понятий станет возникновение интерференции между словами-родителями и псевдословами-участниками обучения, которое выразится в падении количества правильных ответов в группе слов-родителей по сравнению с группой контрольных существующих слов. Однако сравнение разных групп словоформ по правильности ответов не позволило обнаружить статистически значимых различий между интересующими нас группами.

Для проверки предположения о наличии различий в скорости реакции участников, связанных с факторами Тип стимуляции и Группа словоформы, был проведен двухфакторный ANOVA. В результате были обнаружены статистически значимые различия по факторам Тип стимуляции ( $F(2, 308) = 4,43, p = 0,01$ ) и Группа словоформы ( $F(7, 308) = 2,56, p = 0,01$ ). Предположение о гомогенности дисперсий подтвердилось, в связи с чем *post hoc* анализ проводился с помощью теста Тьюки. Результаты показали, что время реакции испытуемых, получавших катодную стимуляцию ( $488,14 + 48,43$  мс), ниже ( $p < 0,01$ ), чем время реакции тех, кто получал анодную стимуляцию ( $509,53 + 56,15$  мс). Предполагаемых нами различий во времени реакции для словоформ, относящихся к разным группам, обнаружено не было.

### *Второй день*

На второй день эксперимента вместо сравнения эффективности усвоения содержания конкретных и абстрактных поня-

тий мы сравнивали *эффективность изменения их содержания* в зависимости от того или иного типа модификации. Статистически значимые различия в правильности ответов были обнаружены по факторам Протокол стимуляции ( $F(2, 352) = 13,61, p < 0,01$ ) и Группа словоформы ( $F(13, 352) = 14,46, p < 0,01$ ). Предположение о гомогенности дисперсий не подтвердилось, поэтому *post hoc* анализ выполнялся с помощью критерия Геймса — Хоуэлла.

В группе катодной стимуляции (21,71 + 24,54) процент правильных ответов оказался значимо выше, чем в группах анодной (12,03 + 17,10;  $p < 0,01$ ) и плацебо-стимуляции (15,47 + 23,90;  $p = 0,02$ ). Сравнение показателей правильности узнавания респондентами словоформ, принадлежащих к разным группам, не позволило выявить значимых различий, связанных с данным экспериментальным условием. Также мы не обнаружили различий в правильности ответов для разных типов модификации содержания понятий. Таким образом, в задании на узнавание были обнаружены отсроченные эффекты, связанные только с одним из факторов — типом стимуляции: в частности, было показано, что катодная стимуляция приводит к лучшим показателям отсроченного узнавания словоформ понятий по сравнению с анодной.

Статистически значимые различия во времени реакции были обнаружены по факторам Протокол стимуляции ( $F(2, 308) = 4,36, p < 0,05$ ) и Группа словоформы ( $F(13, 308) = 2,39, p < 0,01$ ). Предположение о гомогенности дисперсий не подтвердилось, в связи с чем *post hoc* анализ выполнялся с помощью критерия Геймса — Хоуэлла. Участники из группы, получавшей анодную стимуляцию (529,68 + 48,12 мс), реагировали медленнее ( $p = 0,03$ ), чем участники, получившие плацебо-стимуляцию (510,02 + 68,34 мс). Сравнение времени реакции испытуемых на стимулы, относящиеся к разным группам словоформ, не выявило значимых различий. Таким образом, при анализе времени реакции в задании на узнавание также было обнаружено отсроченное влияние типа стимуляции на время реакции: было показано, что анодная стимуляция приводит к менее высокой эффективности узнавания изученных словоформ, чем плацебо-стимуляция.

## Лексическое решение

В задании на лексическое решение мы так же, как и в задании на узнавание, анализировали два показателя: время реакции и правильность ответов, — предполагая обнаружить различия по двум факторам: Группа словоформы и Протокол стимуляции. Процедура анализа данных по этому заданию была аналогична процедуре, описанной для задания на узнавание.

### *Первый день*

При анализе результатов, полученных участниками в первый день эксперимента, было выявлено влияние фактора Протокол стимуляции на правильность ответов ( $F(2, 316) = 5,32$ ,  $p < 0,05$ ): *post hoc* анализ показал, что катодная стимуляция приводит к большей эффективности ( $p < 0,01$ ) респондентов в выполнении данного проверочного задания (24,41 + 24,98) по сравнению с анодной (15,75 + 18,89). Значимых различий между интересующими нас группами словоформ обнаружено не было. Взаимодействие факторов Протокол стимуляции и Группа словоформ также не было обнаружено.

### *Второй день*

Гипотеза о влиянии протокола стимуляции на правильность ответов не нашла подтверждения. Также не было обнаружено значимых различий между интересующими нас группами словоформ. Аналогично этому мы не нашли подтверждения гипотезы о различиях в скорости реакции, связанных с такими экспериментальными условиями, как протокол стимуляции и группа словоформы.

## Выбор определений

В задании на выбор определений анализировалась точность соотнесения значения понятия со словоформой. Различия в правильности выбора сравнивались по факторам Обобщенность понятия, Протокол стимуляции и Способ модификации понятия (на второй день).

### *Первый день*

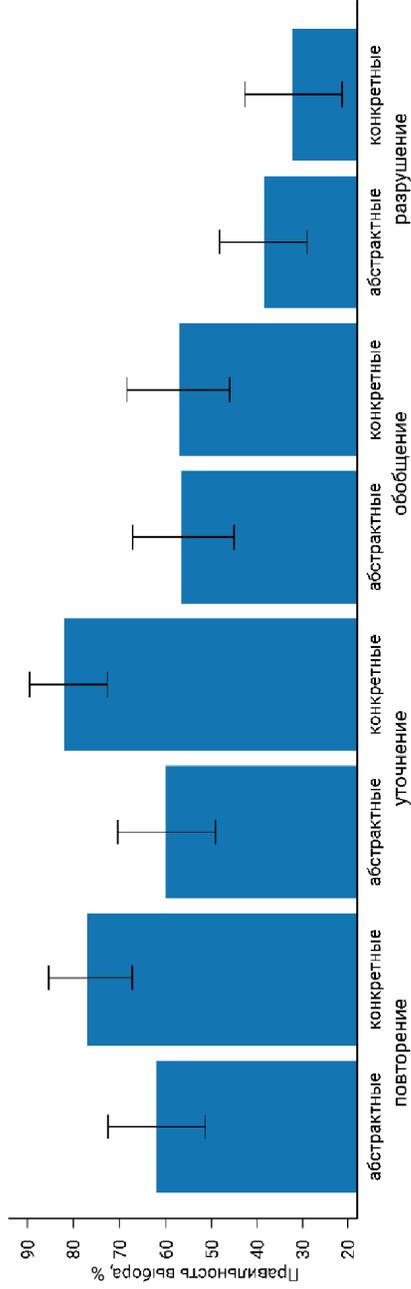
Результаты двухфакторного ANOVA не позволили обнаружить значимые различия по факторам Протокол стимуляции и Обобщенность понятия, а также значимое взаимодействие между этими факторами.

### *Второй день*

Трехфакторный ANOVA позволил выявить статистически значимые различия по факторам Обобщенность понятия ( $F(1, 368) = 4,32, p < 0,05$ ) и Способ модификации ( $F(3, 1011) = 19,71, p < 0,01$ ). Также между ними было обнаружено статистически значимое взаимодействие ( $F(3, 368) = 3,17, p < 0,05$ ; Рис. 40). Предположение о гомогенности дисперсий подтвердилось, в связи с чем *post hoc* анализ осуществлялся с помощью теста Тьюки. Было показано, что связь конкретного понятия со словоформой активизируется успешнее (61,70 + 39,67), чем связь абстрактного понятия со словоформой (53,99 + 37,96;  $p < 0,05$ ). Также было обнаружено, что хуже всего активизируется связь словоформы с понятием после использования такого типа модификации, как «Разрушение» (35,11 + 35,03; все  $p < 0,01$ ). После модификации «Уточнение» (70,74 + 36,96) активация связи происходит более эффективно ( $p = 0,04$ ), чем после модификации «Обобщение» (56,38 + 38,26). На Рис. 40 представлен график, отражающий различия между конкретными и абстрактными понятиями после использования различных типов модификации их содержания. На графике можно заметить, что модификация «Уточнение» эффективнее влияет на последующую активацию связей между словоформами и семантиками конкретных понятий, чем абстрактных.

### **Формулировка определений**

В задании на формулировку определений была проанализирована успешность активации разных признаков понятий в определениях, самостоятельно воспроизведенных испытуемыми по памяти. Оценку успешности активации



**Рисунок 40.** Влияние взаимодействия факторов Способ модификации и Обобщенность понятия на успешность выполнения испытуемыми задания на выбор определения во второй день эксперимента. Показаны средние величины (%) + доверительные интервалы

признаков в определениях испытуемых осуществляли четыре эксперта-психолога (см. раздел *Методы*). Согласованность оценок судей проверялась с помощью критерия  $\kappa$  Коэна. Расчет показателя  $\kappa$  Коэна осуществлялся следующим образом: согласно существующему для решения аналогичных задач алгоритму (Light, 1971), сначала подсчитывались величины  $\kappa$  Коэна для показателей, полученных в каждой из пар судей, после чего все значения  $\kappa$  усреднялись. В результате было получено значение, равное 0,68, которое указывает на то, что показатели согласованности экспертных оценок на 60% превышают уровень случайного совпадения. Поскольку такой показатель считается хорошим уровнем согласованности, можно судить о том, что разработанный нами инструмент, направленный на оценку успешности активации различных признаков понятий, оказался подходящим для проверки наших гипотез.

При анализе результатов выполнения испытуемыми данного задания оценивалась успешность активации значения (семантики) понятия. Мы планировали сравнить успешность усвоения и активации признаков понятий в зависимости от факторов Протокол стимуляции, Обобщенность понятия и Признак понятия. Для данных, полученных на второй день эксперимента, в матрицу ANOVA был добавлен еще один фактор — Способ модификации. Анализ осуществлялся по тому же принципу, что и в предшествующих проверочных заданиях.

### *Первый день*

Результаты трехфакторного ANOVA позволяют говорить о том, что статистически значимые различия в успешности активации признаков понятий обнаруживаются по факторам Обобщенность понятия ( $F(1, 267) = 17,35, p < 0,01$ ) и Признак понятия ( $F(2, 267) = 14,32, p < 0,01$ ). Между этими факторами также было выявлено статистически значимое взаимодействие ( $F(2, 267) = 3,05, p < 0,05$ ).

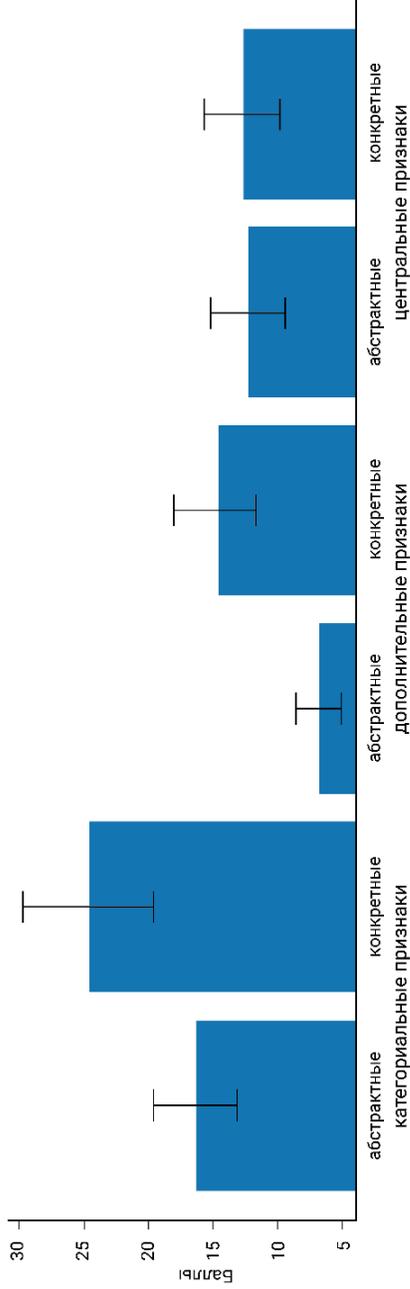
Было показано, что семантика абстрактных понятий активируется хуже ( $M = 11,3$ ), чем семантика конкретных ( $M = 17,1; p < 0,05$ ). Также в результате *post hoc* анализа с ис-

пользованием теста Тьюки было обнаружено, что та часть семантики, которая описывает категориальную принадлежность понятия, активируется успешнее ( $M = 20,5$ ), чем дополнительные ( $M = 10,3$ ) и центральные ( $M = 12,2$ ) признаки понятия (все  $p < 0,01$ ), вне зависимости от того, к какой группе принадлежит стимульная словоформа. На Рис. 41 графически представлено взаимодействие факторов Признак понятия и Обобщенность понятия. По доверительным интервалам (95%) на графике видно, что дополнительные признаки конкретных понятий активируются значимо эффективнее, чем дополнительные признаки абстрактных понятий.

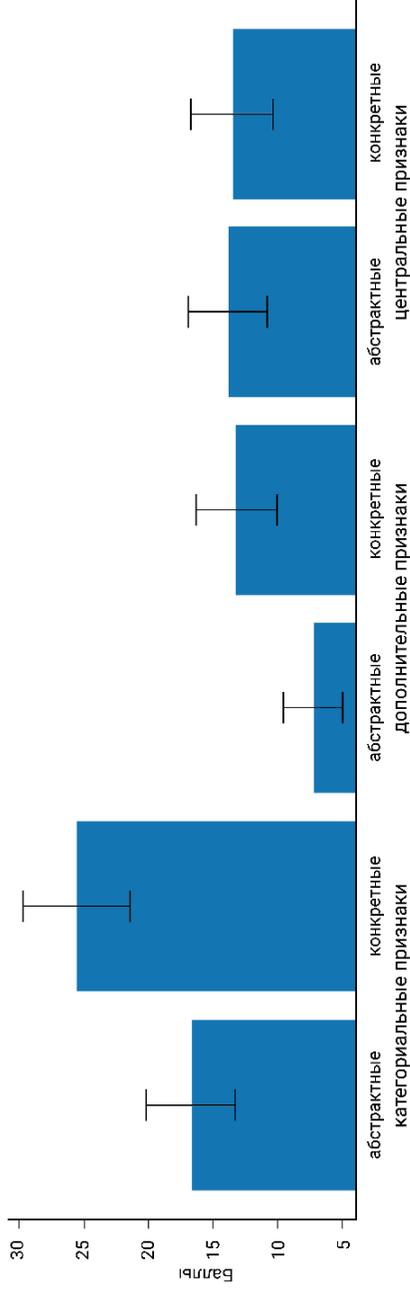
### *Второй день*

Результаты статистического анализа показали, что на второй день (после процедуры переобучения) обнаруживаются статистически значимые различия, обусловленные как влиянием отдельных факторов, включая Обобщенность понятия, Признак понятия и Способ его модификации, так и их взаимодействием. В частности, статистически значимое взаимодействие было выявлено между факторами Признак понятия и Обобщенность понятия ( $F(2, 1011) = 2,46, p < 0,05$ ) и факторами Способ модификации и Признак понятия ( $F(6, 1011) = 11,84, p < 0,05$ ). На Рис. 42 представлен график взаимодействия факторов Признак понятия и Обобщенность понятия по показателю успешности активации признаков. На Рис. 43 отображено взаимодействие факторов Признак понятия и Способ модификации.

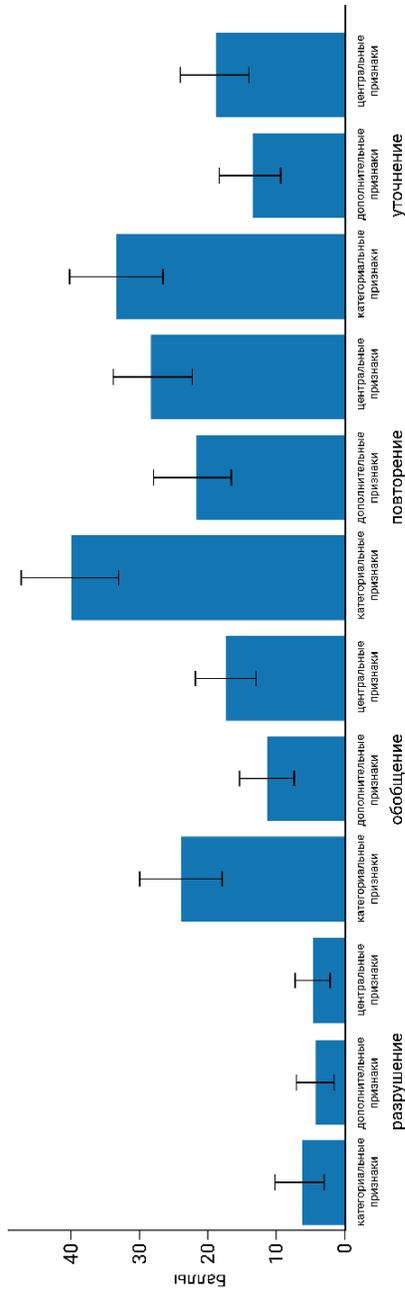
После переобучения были обнаружены те же различия, что и в первый день эксперимента (после обучения). Так, было показано, что семантика конкретных понятий ( $21,17 + 29,27$ ) активируется лучше, чем семантика абстрактных ( $15,35 + 24,56; p < 0,01$ ), а признаки понятий, обозначающие категории ( $25,57 + 31,81$ ), активируются лучше дополнительных ( $12,55 + 22,16$ ) и центральных ( $16,67 + 25,03$ ) признаков (все  $p < 0,01$ ). Наименее эффективно происходит активация семантических признаков понятий при типе модификации «Разрушение» ( $4,83 + 14,12$ ), а наиболее эффек-



**Рисунок 41.** Влияние взаимодействия факторов Признак понятия и Обобщенность понятия на успешность выполнения испытуемыми задания на формулировку определений в первый день эксперимента. Показаны средние величины (в баллах)  $\pm$  доверительные интервалы



**Рисунок 42.** Влияние взаимодействия факторов Признак понятия и Обобщенность понятия на успешность выполнения испытуемыми задания на формулировку определений во второй день эксперимента. Показаны средние величины (в баллах)  $\pm$  доверительные интервалы



**Рисунок 43.** Влияние взаимодействия факторов Признак понятия и Способ модификации на успешность выполнения испытуемыми задания на формулировку определений во второй день эксперимента. Показаны средние величины (в баллах)  $\pm$  доверительные интервалы

тивно — при типе «Повторение» (29,86 + 31,18). При сравнении названных типов с остальными во всех случаях были получены значимые различия (все  $p < 0,01$ ). Также результаты свидетельствуют о том, что для конкретных понятий активация дополнительных и категориальных признаков (т. е. обозначающих принадлежность к тому или иному логическому классу) происходит успешнее, чем для абстрактных понятий. Однако центральные признаки активируются с одинаковой успешностью для понятий любого уровня обобщенности (см. Рис. 42).

На Рис. 43 представлены различия в успешности активации разных категорий признаков понятий после использования нескольких типов модификации их содержания. Для всех типов модификации, кроме «Разрушения», категориальные признаки понятий активируются лучше, чем дополнительные, а для типа переобучения «Уточнение» категориальные признаки активируются лучше, чем центральные признаки. При этом для типа модификации «Разрушение» статистически значимых различий между эффективностью активации признаков разных уровней обнаружено не было.

Обобщая результаты формулировки определений испытуемыми, можно заключить, что ни в один из дней не было обнаружено значимых различий в активации семантики между различными типами ТЭС. Однако семантика конкретных понятий активируется лучше, чем семантика абстрактных, при этом категориальные признаки понятий обоих типов активируются лучше, чем дополнительные и центральные. В первый день дополнительные признаки активировались лучше для конкретных понятий, чем для абстрактных. Во второй день к этим различиям добавилось еще одно: категориальные признаки активировались лучше для конкретных понятий, чем для абстрактных. При этом по центральным признакам различий между конкретными и абстрактными понятиями не наблюдалось. Во второй день для типа модификации «Разрушение» не было выявлено различий в эффективности активации различных признаков. Для всех остальных типов модификации четко прослеживалось улучшение активации категориальных признаков по сравнению с дополнительными.

## Обсуждение

Полученные нами данные позволяют говорить о том, что гипотеза о существовании значимых различий в успешности усвоения и последующей активации новых понятий в зависимости от использованного протокола транскраниальной электрической стимуляции нашла частичное подтверждение. Основные эффекты ТЭС были обнаружены для задания «Узнавание»; также различия в правильности ответов испытуемых проявились в результатах задания «Лексическое решение», однако в данном случае эффект оказался менее стабильным и был обнаружен только при тестировании в первый день эксперимента. Последнее обстоятельство имеет, как минимум, два возможных объяснения. Первое связано с усталостью испытуемых, которая могла быть обусловлена повышением когнитивной нагрузки во второй день проведения эксперимента вследствие необходимости перестройки сформированных ранее концептов. Вероятно, такая задача требовала актуализации больших интеллектуальных ресурсов и неблагоприятно сказывалась на результатах выполнения участниками задания «Лексическое решение», которому предшествовали два других проверочных теста. Второй вариант интерпретации связан с предположением о том, что, поскольку «Лексическое решение» направлено на проверку более глубокого (по сравнению с «Узнаванием») уровня усвоения словоформы, на котором она превращается в сознании испытуемого из ничего не значащей последовательности звуков в слово, обладающее смыслом, возможно, стимуляция влияет исключительно на поверхностный уровень усвоения понятий. Если это действительно так, то закономерно встает вопрос о механизмах такого точечного влияния ТЭС на формирование мнемической репрезентации словоформы на самом первом (досмысловом и, более того, долексическом) уровне, который необходимо будет осветить в будущих исследованиях.

Обсуждая вопрос о положительном влиянии ТЭС на усвоение понятий на поверхностном уровне, необходимо подчеркнуть, что этот фасилитирующий эффект был обнаружен нами только в случае использования катодной стимуляции: при использовании стимуляции анодного типа, напротив, было за-

фиксировано ее ингибирующее воздействие. Интересно, что оба этих эффекта сохранялись и на второй день эксперимента, т. е. проявляли себя уже после процедуры переобучения. Мы склонны рассматривать такие отсроченные эффекты стимуляции как проявление пластичности нейрональных контуров, лежащих в основе формирования репрезентаций новых понятий. Другими словами, мы полагаем, что ТЭС влияет на свойства проводимости нервной ткани таким образом, что возникновение и/или сохранение новых репрезентаций происходит более эффективно. Интересным представляется также тот факт, что катодная стимуляция, которая, как было показано в ряде работ (Nitsche, Paulus, 2000; Nitsche et al., 2003), приводит к ингибирующим эффектам, в данном случае вызвала обратное — фасилитирующее — воздействие. Эти противоречия в экспериментальных данных могут объясняться использованием различных парадигм и параметров стимуляции, поэтому для их прояснения также потребуются дальнейшие исследования, учитывающие особенности конкретных экспериментальных процедур.

Следующий блок полученных нами результатов связан с обнаружением различий в успешности усвоения понятий разного уровня обобщенности: в соответствии с нашим исходным предположением было показано, что конкретные понятия усваиваются лучше, чем абстрактные. Так, в задании «Выбор определений» на второй день (после переобучения) испытуемые успешнее активировали связь между словоформами и соответствующими им семантиками, когда последние были представлены конкретными понятиями. В проверочном задании «Формулировка определений» аналогичные результаты были получены как в первый, так и во второй день. Эти данные становятся в ряд с результатами многочисленных предшествующих исследований, в которых был обнаружен «эффект конкретности» (Kuiper, Paivio, 1977; Paivio, 1990; Palmer et al., 2013; Ding et al., 2017; Martin, Tokowicz, 2020), уже обсуждавшийся подробно в *Главе 4*.

Далее перейдем к обсуждению той группы результатов, которая связана с центральным вопросом настоящего исследования — вопросом о характере трансформаций понятийных структур под воздействием целенаправленной модификации их содержания. Прежде всего, отметим, что, согласно полу-

ченным нами данным, в задании «Свободное воспроизведение» словоформы понятий, значение которых было разрушено, активировались с меньшей эффективностью по сравнению со словоформами понятий, модифицированных посредством повторения. Этот — на первый взгляд, ожидаемый — результат хорошо согласуется с классическими постулатами психологии памяти о той роли, которую играет осмысленность информации в успешности ее сохранения и последующей активации (Зинченко, 1961; Смирнов, 1966). Вероятно, новые понятия, семантика которых была сперва усвоена испытуемыми в процессе обучения, а затем — за счет намеренно созданной смысловой интерференции — разрушена в процессе переобучения, оказались лишены какого-либо внутренне согласованного или опирающегося на образные структуры содержания, превратившись в бессмысленную последовательность знаков. Поэтому неудивительно, что в результате подобных манипуляций самостоятельное воспроизведение словоформы по памяти оказалось затруднено. Это обстоятельство представляет особый интерес в свете того, что в задании «Свободное воспроизведение» было обнаружено именно влияние типа переобучения, — но не эффект стимуляции как таковой. Другими словами, возможность осмыслить содержание нового понятия и сформировать его непротиворечивую семантическую репрезентацию оказалась более весомым фактором, влияющим на устойчивость его сохранения в памяти, чем воздействие с помощью ТЭС непосредственно на нейрофизиологический субстрат процессов консолидации.

Если тип модификации «Разрушение» ухудшает эффективность активации связи между семантикой и словоформой, то «Уточнение», напротив, способствует этой активации. Интересно, что при этом «Обобщение» хуже, чем «Уточнение», активует связи между семантикой и словоформой. Можно предположить, что помещение понятия в процессе переобучения по типу «Уточнение» в более детализированный (по сравнению с тем, что был использован в ходе предшествующего обучения) контекст позволяет активировать его признаки на всех уровнях: категориальном, центральном и дополнительном. Похоже, что эта всесторонняя активация признаков разных уровней обобщенности больше всего

способствует актуализации связи между словоформой и семантикой понятий, увеличивая вероятность ее произвольного извлечения из памяти. При этом расширение контекста в процессе переобучения и превращение его в более абстрактный по сравнению с тем, который был задействован при обучении (как в результате типа модификации «Обобщение»), скорее всего, связаны с преимущественной активацией категориальных признаков понятия, которых оказывается недостаточно для его успешного воспроизведения. Отметим, однако, что описанные эффекты типа модификации «Уточнение» в большей степени обнаруживают себя при работе с конкретными понятиями, чем с абстрактными. Это можно интерпретировать как проявление большей инвариантности и устойчивости абстрактных понятийных образований, обладающих определенным «запасом прочности», который защищает их от кратковременных интерферирующих воздействий. Возможно, именно это свойство абстрактных понятий обеспечивает их особую роль в понятийном мышлении как интеграторе индивидуального интеллекта (Веккер, 1976; Холодная, 2012). Эта логика рассуждений косвенно подкрепляется и тем интересным обстоятельством, что, согласно результатам содержательного анализа ответов испытуемых, в процессе свободного воспроизведения лучше всего активировались не дополнительные, как можно было бы ожидать, а именно категориальные признаки понятий. Возможно, категория как ядро понятия является отправной точкой его формирования, в результате чего она оказывается наиболее устойчивой к помехам и в последующем активирована эффективнее, чем другие признаки. Такая интерпретация хорошо согласуется с данными, полученными нами ранее на ином материале (Щербакова, Новиковская, 2019).

Интересно, что центральные признаки понятий активировались лучше прочих признаков после использования всех типов модификации, кроме разрушения, после которого признаки всех трех уровней активировались одинаково плохо. Можно предположить, что тип модификации «Разрушение» обладает своего рода уравнивающим эффектом: если разрушаются центральные признаки понятия, то вся его структура оказывается дестабилизирована, а более частные компо-

ненты значения становятся недостаточными для полноценной активизации содержания.

В целом полученные нами результаты позволяют сделать вывод о том, что транскраниальная электрическая стимуляция положительно влияет на усвоение и активацию соответствующей новому понятию словоформы. При этом успешность последних не зависит от степени обобщенности стимульных понятий (абстрактные/конкретные). Что касается типа модификации содержания понятия, то он оказывает влияние на эффективность усвоения не только словоформы, но и ее семантического наполнения. Это позволяет предположить, что нейрокогнитивные механизмы, опосредующие усвоение и активацию словоформ, отличаются от механизмов, которые обеспечивают обработку и усвоение соответствующей этим словоформам семантической информации. Тем не менее, между ними существуют связи, принципы функционирования которых еще только предстоит выяснить.

В завершение отметим ряд особенностей нашей работы. Как и в других экспериментах, результаты которых представлены в настоящей монографии, в данном исследовании применялась комплексная оценка степени сформированности новых понятий после обучения и — далее — переобучения, адресованная к различным их компонентам и тем самым позволяющая проверить полноту усвоения нового языкового материала на разных уровнях. Так, задания «Узнавание», «Лексическое решение» и «Свободное воспроизведение» были направлены на разностороннюю проверку усвоения словоформ, соответствующих новым понятиям: задание «Узнавание» давало возможность протестировать качество усвоения и активации словоформ на наиболее поверхностном уровне, за счет простого узнавания последовательности букв; задание «Лексическое решение» было направлено на оценку успешности усвоения и активации словоформ на лексическом уровне — как последовательности знаков, обозначающих существующее слово; задание «Свободное воспроизведение» позволяло протестировать более глубокий уровень усвоения лексической информации, предполагающий возможность самостоятельной и произвольной активации словоформы. Еще два задания — «Выбор определений» и «Формулировка определений» — были на-

правлены на оценку усвоения семантических свойств новых понятий: задание «Выбор определений» предполагало оценку прочности связи между словоформой и содержанием соответствующего понятия на уровне узнавания, а задание «Формулировка определений» — оценку усвоения и активации семантики понятия на более глубоком уровне, включающем в себя возможность активировать ее самостоятельно и произвольно.

Отдельным достоинством нашего исследования стало то, что в нем был использован качественно-количественный подход к обработке эмпирического материала. В частности, в задании «Формулировка определений» применялась экспертная оценка данных испытуемыми определений только что усвоенных понятий на основе специально разработанных критериев (см. раздел *Поведенческая оценка результатов научения*). Этот метод является крайне трудоемким, однако именно его применение позволило нам выявить тонкие, но значимые смысловые различия в ответах испытуемых, что было бы невозможно в случае использования в качестве альтернативы каких-либо автоматизированных алгоритмов. Именно благодаря работе экспертов-психологов мы смогли проверить предположение о наличии различных путей трансформации содержания понятий, соответствующих разным способам его модификации.

Наконец, разработанный нами экспериментальный дизайн был выстроен таким образом, что при контекстном предъявлении испытуемым новых понятий они всегда находились в конце стимульных предложений, выведившихся на монитор компьютера пословно. Использование созданной нами экспериментальной парадигмы в будущих работах позволит параллельно с предъявлением понятий осуществлять регистрацию электрической активности мозга испытуемых, возникающей в ответ на это предъявление, без риска ее контаминации последующими вербальными стимулами. Это даст техническую возможность сопоставить между собой не только поведенческие результаты выполнения испытуемыми различных типов проверочных заданий, оценивающих усвоение новых понятий после обучения и переобучения, но также соотнести их с паттернами нейрональной активации, подлежащей обработке конкретных и абстрактных понятий, подвергнутых различным типам модификации. Такое совмещение поведен-

ческих, нейровизуализационных и нейростимуляционных инструментов в рамках одного эксперимента может стать принципиально новым подходом в нейро- и психолингвистике, а также привести к более глубокому пониманию динамических свойств понятийной системы человека.

## Заключение

Подведем итоги. Настоящая работа продолжает и развивает линию исследований, подробно описанных в других главах данной монографии и показывающих, что успешное усвоение новых вербальных понятий на разных уровнях возможно во взрослом возрасте при весьма ограниченном числе их предъявлений (см. *Главы 1–4*). Отличительной чертой нашего эксперимента стало то, что, наряду с использованием техники транскраниальной электрической стимуляции, уже зарекомендовавшей себя в качестве удобного инструмента изучения нейрональных основ вербального научения, в нем впервые был поставлен вопрос о «судьбе» ментальных репрезентаций только что сформированных понятий после того, как они были усвоены и начали испытывать на себе воздействие нового опыта — в частности, подвергаться намеренной модификации их содержания, осуществляемой различными способами.

Полученные нами к настоящему моменту данные являются уникальными и пока не имеют аналогов. Они открывают новые перспективы для изучения пластических свойств понятийной системы человека и подлежащих им нейрокогнитивных механизмов. Понимание психологических и нейрофизиологических основ перестройки понятийных репрезентаций и — шире — всего процесса переобучения становится крайне актуальным в связи с нарастающим темпом изменений в окружающем мире, где технологии сменяют друг друга с головокружительной скоростью, а сложные профессиональные знания, для приобретения которых требуются немалые временные и трудовые затраты, устаревают все быстрее и быстрее (Баканова, Силкина, 2015; Dubin, 1972). Под воздействием этих факторов необходимость в разработке технологий эффективного усвоения новых знаний и своевременной модификации уже имеющихся становится все более острой. Немалую пользу

наши результаты могут принести и в клинической практике, где они могут быть использованы для разработки комплексных программ, направленных на компенсацию различных речевых патологий и способствующих повышению интеллектуальной продуктивности человека. Мы убеждены, что всестороннее изучение речевого научения, основанное на уже имеющихся данных и сделанных на их базе теоретических обобщениях, позволит существенно обогатить наши представления о возможностях и механизмах человеческого познания.

## Список литературы

1. Александров Ю. И., Горкин А. Г., Созинов А. А., Сварник О. Е., Кузина Е. А., Гаврилов В. В. Консолидация и реконсолидация памяти: психофизиологический анализ // Вопросы психологии. — 2015. — № 3. — С. 133–144.
2. Баканова С. А., Силкина Г. Ю. Эволюция знаний: моделирование и прикладной анализ // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. — 2015. — № 6(233). — С. 173–182.
3. Биренбаум Г. В. К вопросу об образовании переносных и условных значений слова при патологических изменениях мышления // Новое в учении об апраксии, агнозии и афазии. — М.: Медгиз, 1934. — С. 147–164.
4. Блейлер Э. Руководство по психиатрии. — Берлин: Изд-во товарищества «Врач», 1920.
5. Веккер Л. М. Психические процессы. Том 2. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1976.
6. Выготский Л. С. Мышление и речь // Л. С. Выготский. Психология. — М.: ЭКСМО-пресс, 2002. — С. 262–511.
7. Выготский Л. С. Нарушение понятий при шизофрении // Избранные психологические исследования: Мышление и речь. Проблемы психологического развития ребенка / Под ред. А. Н. Леонтьева, А. Р. Лурия. — М.: Изд-во Акад. пед. наук РСФСР, 1956. — С. 481–496.
8. Гальперин П. Я., Талызина Н. Ф. Формирование начальных геометрических понятий на основе организованного действия учащихся // Вопросы психологии. — 1957. — № 1. — С. 23–44.
9. Глозман Ж. М. Иерархическая организация понятий при поражении правого и левого полушарий мозга // Нейропсихология сегодня / Под ред. Е. Д. Хомской. — М.: Изд-во МГУ, 1995. — С. 81–90.
10. Забродин Ю. М., Похилько В. И. Теоретические истоки и значение репертуарных личностных методик. Предисловие //

- Франселла Ф., Баннистер Д. Новый метод исследования личности. Руководство по репертуарным личностным методикам / Пер. с англ. / Общ. ред. и предисл. д. пс. н. Ю.М. Забродина и к. пс. н. В.И. Похилько. — М.: Прогресс, 1987.
11. Зейгарник Б.В. Патология мышления. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962.
  12. Зинченко П.И. Непроизвольное запоминание. — М.: Изд-во Акад. пед. наук РСФСР, 1961.
  13. Калмыкова З.И. Зависимость уровня усвоения знаний от активности учащихся в обучении // Советская педагогика. — 1959. — № 7. — С. 115–126.
  14. Крепелин Э. Учебник психиатрии: для врачей и студентовъ. — М.: Изд. А.А. Карцева, 1910.
  15. Критская В.П., Мелешко В.П., Поляков В.Ф. Патология психической деятельности при шизофрении: мотивация, общение, познание. — М.: Изд-во МГУ, 1991.
  16. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека и их нарушение при локальных поражениях мозга. — М.: Изд-во МГУ, 1962.
  17. Обухова Л.Ф. Формирование системы физических понятий в применении к решению задач // Зависимость обучения от типа ориентировочной деятельности / Под ред. П.Я. Гальперина, Н.Ф. Талызиной. — М.: Изд-во МГУ, 1968. — С. 153–186.
  18. Поляков Ю.Ф. Патология познавательной деятельности при шизофрении. — М.: Медицина, 1974.
  19. Рубинштейн С.Я. Экспериментальные методики патопсихологии и опыт их применения в клинике. — М.: Апрель-Пресс, 2004.
  20. Смирнов А.А. Проблемы психологии памяти. — М.: Просвещение, 1966.
  21. Тигранова Л.И. Психологические особенности усвоения существенных признаков понятий (На материале изучения физики в VI–VII классах). Автореферат дисс. ... канд. пед. наук. — М., 1956.
  22. Франселла Ф., Баннистер Д. Новый метод исследования личности. Руководство по репертуарным личностным методикам / Пер. с англ. / Общ. ред. и предисл. д. пс. н. Ю.М. Забродина и к. пс. н. В.И. Похилько. — М.: Прогресс, 1987.
  23. Холодная М.А. Когнитивные стили: о природе индивидуального ума: Учеб. пособие. — М.: ПЕР СЭ, 2002.
  24. Холодная М.А. Психология понятийного мышления: от концептуальных структур к понятийным способностям. — М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2012.
  25. Холодная М.А., Трифонова А.В., Волкова Н.Э., Сиповская Я.И. Методики диагностики понятийных способностей // Экспериментальная психология. — 2019. — Т. 12(3). — С. 105–118.
  26. Цветкова Л.С. Нарушение анализа литературного текста у больных с поражением лобных и теменно-затылочных отде-

- лов мозга // Лобные доли и регуляция психических процессов / Под ред. А.Р. Лурия и Е.Д. Хомской. — М.: Изд-во МГУ, 1966. — С. 664–677.
27. Чередникова Т.В. Различия нарушений мышления при шизофрении и органических заболеваниях головного мозга // Сибирский вестник психиатрии и наркологии. — 2014. — № 2(83). — С. 22–25.
  28. Чередникова Т.В. Структура и механизмы нарушений мышления при шизофрении и экзогенно-органических заболеваниях головного мозга с позиций информационной теории психики. Дисс. ... д-ра психол. наук. — СПб., 2016.
  29. Щербакова О.В., Новиковская Н.А. «Как вы яхту назовете, так она и поплывет»? Роль вербальных компонентов мышления в актуализации образной структуры абстрактных и конкретных понятий // Психологические исследования. — 2019. — Т. 13(74). — 6.
  30. Besnard A., Caboche J., Laroche S. Reconsolidation of memory: A decade of debate // *Progress in Neurobiology*. — 2012. — V. 99(1). — P. 61–80.
  31. Björkstrand J., Agren T., Frick A., Engman J., Larsson E.-M., Furmark T., Fredrikson M. Disruption of memory reconsolidation erases a fear memory trace in the human amygdala: An 18-month follow-up // *PLoS One*. — 2015. — V. 10(7). — e0129393.
  32. Blagovechtchenski E., Gnedykh D., Kurmakaeva D., Mkrtychian N., Kostromina S., Shtyrov Y. Transcranial direct current stimulation (tDCS) of Wernicke's and Broca's areas in studies of language learning and word acquisition // *Journal of Visualized Experiments*. — 2019. — V. 149. — e59159.
  33. Blanca M.J., Alarcón R., Arnau J., Bono R., Bendayan R. Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? // *Psicothema*. — 2017. — V. 29(4). — P. 552–557.
  34. Cardinali L., Frassinetti F., Brozzoli C., Urquizar C., Roy A.C., Farnè A. Tool-use induces morphological updating of the body schema // *Current Biology*. — 2009. — V. 19(12). — R478 — R479.
  35. Clarke J.R., Cammarota M., Gruart A., Izquierdo I., Delgado-García J.M. Plastic modifications induced by object recognition memory processing // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2010. — V. 107(6). — P. 2652–2657.
  36. Coutanche M.N., Solomon S.H., Thompson-Schill S.L. Conceptual Combination // *The Cognitive Neurosciences*, 6th edition / Ed. by D. Poeppel, G.R. Mangun, M.S. Gazzaniga. — Boston, MA: MIT Press, 2020. — P. 827–834.
  37. Coutanche M.N., Thompson-Schill S.L. Fast mapping rapidly integrates information into existing memory networks // *Journal of Experimental Psychology: General*. — 2014. — V. 143(6). — P. 2296–2303.

38. Ding J., Liu W., Yang Y. The influence of concreteness of concepts on the integration of novel words into the semantic network // *Frontiers in Psychology*. — 2017. — V. 8. — 2111.
39. Dubin S.S. Obsolescence or lifelong education: A choice for the professional // *American Psychologist*. — 1972. — V. 27. — P. 486–498.
40. Dumay N., Gaskell M.G. Sleep-associated changes in the mental representation of spoken words // *Psychological Science*. — 2007. — V. 18(1). — P. 35–39.
41. Ecker B. Memory reconsolidation understood and misunderstood // *International Journal of Neuropsychotherapy*. — 2015. — V. 3(1). — P. 2–46.
42. Ecker B., Ticio R., Hulley L. *Unlocking the emotional brain: Eliminating symptoms at their roots using memory reconsolidation*. — NY: Routledge, 2012.
43. Gray R., Budden-Potts D., Bourke F. Reconsolidation of traumatic memories for PTSD: A randomized controlled trial of 74 male veterans // *Psychotherapy Research*. — 2019. — V. 29(5). — P. 621–639.
44. Halberda J. Is this a dax which I see before me? Use of the logical argument disjunctive syllogism supports word-learning in children and adults // *Cognitive Psychology*. — 2006. — V. 53(4). — P. 310–344.
45. Haubrich J., Nader K. Memory reconsolidation // *Behavioral Neuroscience of Learning and Memory. Current Topics in Behavioral Neurosciences*. — V. 37 / Ed. by Martin S., Clark R.E. — Cham: Springer, 2016. — P. 151–176.
46. Hodges J.R., Patterson K., Oxbury S., Funnell E. Semantic dementia. Progressive fluent aphasia with temporal lobe atrophy // *Brain*. — 1992. — V. 115(6). — P. 1783–1806.
47. Hoenig K., Müller C., Herrnberger B., Sim E.J., Spitzer M., Ehret G., Kiefer M. Neuroplasticity of semantic representations for musical instruments in professional musicians // *NeuroImage*. — 2011. — V. 56(3). — P. 1714–1725.
48. Hupbach A., Gomez R., Hardt O., Nadel L. Reconsolidation of episodic memories: A subtle reminder triggers integration of new information // *Learning & Memory*. — 2007. — V. 14(1–2). — P. 47–53.
49. Hupbach A., Hardt O., Gomez R., Nadel L. The dynamics of memory: Context-dependent updating // *Learning & Memory*. — 2008. — V. 15(8). — P. 574–579.
50. Inda M.C., Muravieva E.V., Alberini C.M. Memory retrieval and the passage of time: From reconsolidation and strengthening to extinction // *The Journal of Neuroscience*. — 2011. — V. 31(5). — P. 1635–1643.
51. Kelly G.A. A brief introduction to personal construct theory // *Construttivismi*. — 2017. — V. 4. — P. 3–25.

52. Kelly G.A. *The Psychology of Personal Constructs*. — New York: Norton, 1955.
53. Kiefer M., Pulvermüller F. Conceptual representations in mind and brain: Theoretical developments, current evidence and future directions // *Cortex*. — 2012. — V. 48(7). — P. 805–825.
54. Kiefer M., Sim E.J., Herrnberger B., Grothe J., Hoenig K. The sound of concepts: Four markers for a link between auditory and conceptual brain systems // *Journal of Neuroscience*. — 2008. — V. 28(47). — P. 12224–12230.
55. Kiefer M., Sim E.J., Liebich S., Hauk O., Tanaka J. Experience-dependent plasticity of conceptual representations in human sensory-motor areas // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2007. — V. 19(3). — P. 525–542.
56. Kirk R.E. *Experimental design: Procedures for the behavioral sciences*, 4th edition. — Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2013.
57. Kuiper N.A., Paivio A. Incidental recognition memory for concrete and abstract sentences equated for comprehensibility // *Bulletin of the Psychonomic Society*. — 1977. — V. 9(4). — P. 247–249.
58. Kurmakaeva D., Blagovechtchenski E., Gnedykh D., Mkrtychian N., Kostromina S., Shtyrov Y. Acquisition of concrete and abstract words is modulated by tDCS of Wernicke's area // *Scientific Reports*. — 2021. — V. 11(1). — 1508.
59. Light R.J. Measures of response agreement for qualitative data: Some generalizations and alternatives // *Psychological Bulletin*. — 1971. — V. 76(5). — P. 365–377.
60. Martin K.I., Tokowicz N. The grammatical class effect is separable from the concreteness effect in language learning // *Bilingualism: Language and Cognition*. — 2020. — V. 23(3). — P. 554–569.
61. McKenzie S., Eichenbaum H. Consolidation and reconsolidation: Two lives of memories? // *Neuron*. — 2011. — V. 71(2). — P. 224–233.
62. Mestres-Missé A., Münte T.F., Rodriguez-Fornells A. Mapping concrete and abstract meanings to new words using verbal contexts // *Second Language Research*. — 2014. — V. 30(2). — P. 191–223.
63. Nader K. *Reconsolidation and the Dynamic Nature of Memory // Novel Mechanisms of Memory / Ed. by Giese K., Radwanska K.* — Cham: Springer, 2016. — P. 1–20.
64. Nader K., Schafe G.E., Le Doux J.E. Fear memories require protein synthesis in the amygdala for reconsolidation after retrieval // *Nature*. — 2000. — V. 406(6797). — P. 722–726.
65. Nitsche M.A., Liebetanz D., Antal A., Lang N., Tergau F., Paulus W. Modulation of cortical excitability by weak direct current stimulation — technical, safety and functional aspects // *Supplements to Clinical Neurophysiology*. — 2003. — V. 56. — P. 255–276.

66. Nitsche M.A., Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation // *The Journal of Physiology*. — 2000. — V. 527(3). — P. 633–639.
67. Oldfield R.C. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory // *Neuropsychologia*. — 1971. — V. 9(1). — P. 97–113.
68. Paivio A. Dual coding theory // *Mental Representations* / Ed. by A. Paivio. — NY: Oxford University Press, 1990. — P. 53–83.
69. Palmer S.D., MacGregor L. J., Havelka J. Concreteness effects in single-meaning, multi-meaning and newly acquired words // *Brain Research*. — 2013. — V. 1538. — P. 135–150.
70. Patterson K., Nestor P., Rogers T. Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain // *Nature Reviews Neuroscience*. — 2007. — V. 8(12). — P. 976–987.
71. Piaget J. *The Psychology of Intelligence*. — London: Routledge, 2003.
72. Sara S.J. Retrieval and reconsolidation: Toward a neurobiology of remembering // *Learning & Memory*. — 2000. — V. 7(2). — P. 73–84.
73. Schmider E., Ziegler M., Danay E., Beyer L., Bühner M. Is it really robust? Reinvestigating the robustness of ANOVA against violations of the normal distribution assumption // *Methodology*. — 2010. — V. 6(4). — P. 147–151.
74. Shcherbakova O.V., Makarova D.N., Nikiforova E.A. “Concept Synthesis” test for intelligence research: Qualitative analysis and conceptual commentaries // *Vestnik SPbSU. Psychology and Education*. — 2017. — V. 7(2). — P. 128–136.
75. Shtyrov Y., Filippova M., Blagovechchenski E., Kirsanov A., Nikiforova E., Shcherbakova O. Electrophysiological evidence of dissociation between explicit encoding and fast mapping of novel spoken words // *Frontiers in Psychology*. — 2021. — V. 12. — 571673.
76. Vasilyeva M.J., Knyazeva V.M., Aleksandrov A.A., Shtyrov Y. Neurophysiological correlates of fast mapping of novel words in the adult brain // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2019. — V. 13. — 304.
77. Vermes J.S., Ayres R., Goés A.S., Del Real N., Araújo Á.C., Schiller D., Neto F.L., Corchs F. Targeting the reconsolidation of traumatic memories with a brief 2-session imaginal exposure intervention in post-traumatic stress disorder // *Journal of Affective Disorders*. — 2020. — V. 276. — P. 487–494.
78. Yee E., Chrysikou E. G., Hoffman E., Thompson-Schill S. L. Manual experience shapes object representations // *Psychological Science*. — 2013. — V. 24(6). — P. 909–919.
79. Yee E., Thompson-Schill S.L. Putting concepts into context // *Psychonomic Bulletin & Review*. — 2016. — V. 23(4). — P. 1015–1027.

## Об авторах

---

**Штыров Юрий Юрьевич** — PhD, профессор; создатель, главный научный сотрудник и заведующий лабораторией поведенческой нейродинамики СПбГУ. Имеет многолетний международный опыт изучения нейрокогнитивных функций человека, в частности нейробиологических основ речевых процессов. Автор нескольких сотен научных работ (в т. ч. более 130 статей в ведущих мировых журналах), посвященных ранним автоматическим этапам обработки языковых стимулов, локализации соответствующих им процессов в мозге и особенностям мозговых систем быстрого речевого научения. Эксперт в области использования методов нейровизуализации — ЭЭГ и МЭГ — для изучения когнитивных функций человека в норме и при различных видах нейродегенеративных заболеваний. Создатель и руководитель научной программы по комплексному изучению нейрокогнитивных основ речевого научения, которая была успешно реализована коллективом лаборатории в 2017–2021 гг.

**Щербакова Ольга Владимировна** — кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры общей психологии СПбГУ, руководитель ООП магистратуры «Общая и когнитивная психология». Автор более 180 научных работ по проблемам взаимодействия мышления и речи, понимания многозначных текстов, психологических и психофизиологических основ интеллектуальной эффективности и экспертного знания, метакогнитивной регуляции и образных репрезентаций. Работает в лаборатории с 2017-го года в составе научной группы, занимающейся изучением нейрокогнитивных основ эксплицитно-

го и имплицитного усвоения новых слов, а также пластических свойств концептуальной системы человека, с помощью методов ЭЭГ и ТЭС. Председатель организационного комитета Международной научной конференции “Neurobiology of Speech and Language”, которая ежегодно проводится силами лаборатории с 2017-го года.

**Перикова Екатерина Игоревна** — кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории поведенческой нейродинамики СПбГУ. Автор научных работ в области исследования познавательных процессов, метапознания, речевой функции человека, а также индивидуальных различий в стратегиях и способах саморегуляции деятельности в ситуациях неопределенности. Работает в лаборатории с 2017-го года в составе научной группы, занимающейся изучением нейрокогнитивных основ эксплицитного и имплицитного усвоения новых слов с использованием таких методов неинвазивной стимуляции мозга, как ТЭС и ТМС.

**Филиппова Маргарита Георгиевна** — кандидат психологических наук, научный сотрудник кафедры общей психологии СПбГУ. Занимается проблемой восприятия многозначной информации (в частности, двойственных изображений), проявляющегося как на поведенческом, так и на психофизиологическом уровне, и влияния неосознаваемых значений стимула на сознательно принимаемые решения. Является членом научного коллектива лаборатории с 2017-го года. Входит в состав группы, деятельность которой направлена на изучение нейрокогнитивных основ эксплицитного и имплицитного усвоения новых слов, где занимается разработкой дизайнов экспериментов, проведением исследований и статистической обработкой данных.

**Костромина Светлана Николаевна** — доктор психологических наук, профессор, профессор кафедры психологии личности СПбГУ, руководитель ООП аспирантуры «Психология». Автор более 180 научных работ, в т. ч. по проблемам нейрообразования: психологическим и психофизиологическим основам усвоения информации, роли метакогнитивного опыта в учебной деятельности, эффективности когнитивной

работы в условиях экзаменационного стресса. Работает в лаборатории с 2017-го года в составе научной группы, занимающейся изучением нейрокогнитивных основ усвоения новых конкретных и абстрактных понятий с помощью ЭЭГ и ТЭС, а также анализом взаимодействия психологических и нейрофизиологических факторов при формировании понятийной системы человека. Президент Санкт-Петербургского психологического общества и член рабочей группы по вопросам психологического образования Европейской федерации психологических ассоциаций (EFPA).

**Благовещенский Евгений Дмитриевич** — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории поведенческой нейродинамики СПбГУ. Специалист по использованию современных неинвазивных технологий изучения мозга (ТЭС, ТМС, ЭЭГ и др.) и нейрокомпьютерным интерфейсам. Работает в лаборатории с 2017-го года, входит в состав групп, занимающихся изучением нейрокогнитивных основ имплицитного и эксплицитного усвоения новых слов и усвоения абстрактных и конкретных понятий, где принимает участие в разработке дизайна экспериментов, программировании парадигм и обработке данных.

**Кирсанов Александр Сергеевич** — аспирант кафедры общей психологии СПбГУ, младший научный сотрудник лаборатории поведенческой нейродинамики СПбГУ с 2017-го года. В область научных интересов входят психосемантика, семантические системы мозга, современные методы исследования и моделирования процессов семантического кодирования у человека. Член организационного комитета Международной научной конференции “Neurobiology of Speech and Language”.

**Гнедых Дарья Сергеевна** — кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии образования и педагогики СПбГУ. Автор более 50 научных работ, посвященных психологическим факторам и психофизиологическим механизмам усвоения учебной информации, компьютерной психодиагностике в сфере образования, психологии электронного обучения. Является сотрудником лаборатории с 2017-го года, где

входит в состав научной группы, которая занимается изучением нейрокогнитивных основ усвоения абстрактных и конкретных понятий с применением методов ЭЭГ и ТЭС.

**Мкртычян Надежда Андреевна** — выпускник аспирантуры кафедры психологии личности СПбГУ, инженер-исследователь лаборатории поведенческой нейродинамики СПбГУ. Автор научных работ по проблемам усвоения конкретной и абстрактной семантики и его психологических и психофизиологических основ. Работает в лаборатории поведенческой нейродинамики с 2017-го года в составе научной группы, занимающейся изучением нейрокогнитивных основ усвоения новых конкретных и абстрактных слов с применением методов ЭЭГ и ТЭС.

**Цветова Диана Маратовна** — аспирант кафедры психологии личности СПбГУ, младший научный сотрудник лаборатории поведенческой нейродинамики СПбГУ. Работает в лаборатории с 2017-го года в составе научной группы, изучающей нейрональные и поведенческие аспекты контекстного усвоения абстрактной и конкретной семантики с помощью методов ЭЭГ и ТЭС. Автор пяти научных статей, посвященных изучению данной проблематики.

**Блинова Екатерина Николаевна** — магистр психологии, аспирант кафедры общей психологии СПбГУ, инженер-исследователь лаборатории поведенческой нейродинамики СПбГУ. Научные интересы сосредоточены в области изучения психологических и психофизиологических (в частности, окуломоторных) механизмов понимания читателями вербальных и иконических текстов. С 2019-го года является членом научного коллектива лаборатории, где принимает участие в реализации исследовательских проектов, посвященных проблемам специфики эксплицитной и имплицитной стратегий речевого научения, пластических свойств концептуальной системы и роли моторного опыта человека в усвоении им семантики новых слов.

**Васильева Марина Юрьевна** — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры высшей нервной

деятельности и психофизиологии биологического факультета СПбГУ. Автор более 80 научных публикаций по вопросам психофизиологии детского возраста и раннего когнитивного развития, влияния биосоциальных факторов на формирование когнитивных функций на ранних этапах онтогенеза, механизмов внимания, памяти, научения. Входит в коллектив лаборатории с 2018-го года, где работает в составе научной группы, занимающейся изучением нейрофизиологических механизмов усвоения языка в детском возрасте. Это включает в себя анализ нейрональной динамики и источников активации в парадигме мгновенного семантического научения, а также поиск взаимосвязи нейрофизиологических и поведенческих индексов при овладении новой лексикой у детей.

**Князева Вероника Михайловна** — кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры высшей нервной деятельности и психофизиологии биологического факультета СПбГУ. Автор более 60 научных публикаций, посвященных изучению параметров вызванных потенциалов мозга человека и животных, связанных с процессами внимания и памяти, а также механизмов развития центрального мышечного утомления. С 2018-го года работает в лаборатории в составе научной группы, занимающейся изучением нейрофизиологических механизмов научения и усвоения языка в детском возрасте. Осуществляет создание акустических и визуальных стимулов, обработку ЭЭГ-данных, анализ источников нейрональной активации, проводит статистический анализ данных с использованием различных моделей и широкого спектра программного обеспечения.

**Александров Александр Алексеевич** — доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей нервной деятельности и психофизиологии биологического факультета СПбГУ. Автор более 200 научных публикаций, посвященных изучению процессов внутрикортикального торможения и их роли в переработке сенсорной информации и механизмах нейропластичности, нейробиологии внимания, памяти, восприятия речи и языка, нейрофизиологических маркеров патологических состояний и их использования для лечения различных

заболеваний. В лаборатории работает с 2018-го года, курирует разработку моделей экспериментальных исследований и анализ нейрофизиологических механизмов усвоения новой лексики в развивающемся и взрослом мозге.

**Новиковская Надежда Александровна** — аспирант кафедры общей психологии СПбГУ, инженер-исследователь лаборатории поведенческой нейродинамики СПбГУ. К сфере научных интересов относятся процессы усвоения абстрактных и конкретных понятий и динамические характеристики понятийных образований. Входит в состав коллектива лаборатории с 2017-го года, работает в группе, занимающейся изучением нейрокогнитивных основ имплицитного и эксплицитного усвоения новых слов и пластических свойств концептуальной системы человека с помощью ЭЭГ и ТЭС.

**Андрющенко Екатерина Александровна** — бакалавр психологии, магистрант кафедры психического здоровья и раннего сопровождения детей и родителей СПбГУ. Является автором научных работ в области исследования взаимодействия эмоциональной и когнитивной сфер, понимания многозначных текстов, регуляции эмоций и феномена кросс-модального соответствия. Сотрудник лаборатории с 2018-го года, входит в состав научной группы, изучающей эксплицитное и имплицитное усвоение новых слов, а также пластические свойства концептуальной системы человека. Член организационного комитета Международной научной конференции “Neurobiology of Speech and Language”.

**Наследов Андрей Дмитриевич** — кандидат психологических наук, доцент, заведующий кафедрой педагогики и педагогической психологии СПбГУ. Автор широко известных учебников и руководств по математико-статистическому анализу эмпирических данных в психологии и смежных науках. Работает в лаборатории с 2021-го года в составе научной группы, занимающейся изучением нейрокогнитивных основ эксплицитного и имплицитного усвоения новых слов с помощью методов ЭЭГ и ТЭС, консультирует по вопросам применения методов статистического анализа данных.

From Word to Representation: Neurocognitive Underpinnings of Verbal Learning / Edited by O.V. Shcherbakova. — St. Petersburg: Skifia-print, 2022. — 358 pages.

This monograph presents the results of a large-scale interdisciplinary research program carried out in 2017–2021 at the Laboratory of Behavioural Neurodynamics (St. Petersburg State University, Russia) and focussed on investigating the brain mechanisms of word acquisition. The book describes the results of a series of experiments performed using various behavioural techniques and paradigms in combination with high-density electroencephalography and transcranial electrical (direct current) stimulation. These studies were aimed at addressing the neurocognitive foundations of (1) implicit and explicit acquisition of new language elements by children and adults, (2) acquisition of novel abstract and concrete concepts, and (3) dynamic properties of the human conceptual system. This publication is intended for cognitive scientists, psychologists, biologists, linguists.

*Научное издание*

ОТ СЛОВА — К РЕПРЕЗЕНТАЦИИ

Нейрокогнитивные основы вербального научения

Под редакцией

*О. В. Щербаковой*

Корректоры — *О. В. Щербакова, Е. Н. Блинова*

Технический редактор — *Е. Н. Блинова*

Графический редактор — *А. С. Кирсанов*

Менеджмент и координация — *Е. И. Перикова*

---

Подписано к публикации 25.11.2021. Заказ №7448

Формат 60×90 1/16.

Усл. печ. л. 22,5.

Издательство Скифия-принт.

Санкт-Петербург, ул. Большая Пушкарская, д. 10



