



Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2023. Т. 31, № 2
Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Applied Nonlinear Dynamics. 2023;31(2)

Обзорная статья
УДК 530.182

DOI: 10.18500/0869-6632-003031
EDN: ETJCBV

Методология дизайна нейрофизиологических экспериментов с предъявлением визуальных стимулов для оценки уровня владения иностранным языком

А. Н. Писарчик^{1,2}, В. С. Хорев¹, А. А. Бадарин¹✉,
В. М. Антипов¹, А. О. Бударина¹, А. Е. Храмов¹

¹Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

²Мадридский политехнический университет, Испания

E-mail: alexander.pisarchik@ctb.upm.es, khorevvs@gmail.com, ✉Badarin.a.a@mail.ru,
vantipovm@gmail.com, abudarina@kantiana.ru, aekhramov@kantiana.ru

Поступила в редакцию 5.12.2022, принята к публикации 12.12.2022,
опубликована онлайн 20.03.2023, опубликована 31.03.2023

Аннотация. Цель настоящего исследования — провести сравнение различных экспериментальных парадигм и определить параметры, пригодные для проведения нейрофизиологического эксперимента с предъявлением визуальных стимулов для оценки уровня владения иностранным языком и обеспечивающие проведение дальнейшего анализа временных рядов сигналов электрической активности нейронов головного мозга для выявления специфических биомаркеров. **Методы.** В данной работе исследуются возможности и ограничения различных экспериментальных исследований, использующих данную парадигму — метаанализ. Для определения значимости результатов применялись статистические подходы. **Результаты.** Проведён обзор современного состояния исследований в области экспериментальных работ, связанных с предъявлением визуальных стимулов и получением вербальных ответов. Были проведены обобщения и аналитические оценки экспериментальных параметров, использованных в исследованиях для формирования рекомендаций к будущим экспериментальным исследованиям. **Заключение.** В данной области прикладных исследований был разработан дизайн эксперимента, а также созданы алгоритмы, позволяющие работать с несколькими источниками данных. Кроме того, проведены экспериментальные исследования с использованием энцефалографии, которые позволили выбрать оптимальную временную структуру.

Ключевые слова: дизайн эксперимента, метаанализ, нейролингвистика, нейронаука, нелинейные системы, нейрообразование.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке программы Приоритет-2030 (Головоломка 2022), грант № 260-Л-22.

Для цитирования: Писарчик А. Н., Хорев В. С., Бадарин А. А., Антипов В. М., Бударина А. О., Храмов А. Е. Методология дизайна нейрофизиологических экспериментов с предъявлением визуальных стимулов для оценки уровня владения иностранным языком // Известия вузов. ПНД. 2023. Т. 31, № 2. С. 202–224. DOI: 10.18500/0869-6632-003031. EDN: ETJCBV

Статья опубликована на условиях Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).

Methodology of the neurophysiological experiments with visual stimuli to assess foreign language proficiency

A. N. Pisarchik^{1,2}, V. S. Khorev¹, A. A. Badarin¹✉,
V. M. Antipov¹, A. O. Budarina¹, A. E. Hramov¹

¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

²Polytechnic University of Madrid, Spain

E-mail: alexander.pisarchik@ctb.upm.es, khorevvs@gmail.com, ✉Badarin.a.a@mail.ru,
vantipovm@gmail.com, abudarina@kantiana.ru, aekhramov@kantiana.ru

Received 5.12.2022, accepted 12.12.2022, available online 20.03.2023, published 31.03.2023

Abstract. *Aim* of this study is to compare different experimental paradigms and to determine parameters suitable for conducting a neurophysiological experiment with visual stimuli to assess foreign language proficiency and providing further time series analysis of electrical brain activity to reveal specific biomarkers. *Methods.* This paper explores the possibilities and limitations of various experimental studies using the metaanalysis paradigm. Statistical approaches are used to determine significance of the results. *Results.* We review the current state of research in the field of experimental works related to visual stimulus presentation and verbal performance acquisition. Generalizations and analytical estimates of the experimental parameters used in the studies are carried out to provide recommendations for future experimental research. *Conclusion.* In this area of applied research, we have developed experimental design and algorithms for working with multiple data sources. In addition, experimental encephalographic studies have been carried out, that allowed the optimal temporal structure selection.

Keywords: experimental design, metaanalysis, neuroscience, neurolinguistics, nonlinear systems.

Acknowledgements. This work was supported by Priority-2030 grant No. 260-L-22.

For citation: Pisarchik AN, Khorev VS, Badarin AA, Antipov VM, Budarina AO, Hramov AE. Methodology of the neurophysiological experiments with visual stimuli to assess foreign language proficiency. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics.* 2023;31(2):202–224. DOI: 10.18500/0869-6632-003031

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).

Введение

Изучение принципов функционирования головного мозга для решения задач, связанных с когнитивной и эмоциональной деятельностью человека во время образовательного процесса, так называемая нейропедагогика, является весьма важным направлением современных исследований на стыке нейронауки, педагогики и информационных технологий [1–3]. Особый интерес вызывает применение подходов нейронауки в рамках развития лингвистических способностей, что имеет важное значение для повышения уровня усвоения иностранных языков студентами вузов. Исследования в этой области на основе нейрофизиологических сигналов головного мозга направлены на разработку методов анализа состояния человека и оптимизации процесса обучения иностранным языкам [4–12].

Эффективные методики усвоения иностранных языков позволяют систематизировать накопленные знания, необходимые для выполнения различных трудовых функций в рамках практической или исследовательской деятельности. Умения и навыки, например, такие: (1) грамотно систематизировать теоретические знания по методике обучения иностранному языку, (2) научиться самостоятельно ставить и решать профессиональные задачи, (3) определять пути и методы их решения, (4) быть готовым использовать приобретенные систематизированные теоретические

и практические знания для решения профессиональных задач, зависят от эффективности выбранной методики обучения, что подчеркивает актуальность данного исследования [11].

Востребованность таких исследований обусловлена необходимостью создания эффективных методов и устройств для практического внедрения в образовательный процесс, направленных на более качественное и быстрое усвоение иностранных языков, а также на объективную оценку уровня знаний тестируемого субъекта с учетом его нейрофизиологических особенностей [13–17]. Публикации в научных журналах, посвященных экспериментальному исследованию различных аспектов изучения иностранного языка, появились достаточно давно. С тех пор, благодаря усилиям ученых в области когнитивной науки, психологии и нейронауки, сложилась богатая теоретическая база, на основе которой исследователи пытаются понять природу высшей нервной деятельности при общении на неродном языке. Одним из значимых фактов, открытых в результате недавних исследований, является различное время реакции при переключении с родного языка на неродной и наоборот, что свидетельствует о наличии в мозге устойчивой нейронной сети, отвечающей за обработку и формирование речи на неродном языке. Экспериментальная работа по поиску и стимуляции этой сети представляет интерес для нейропедагогики с целью улучшения усвоения иностранного языка с использованием различных методов нейровизуализации [18–20].

Целью настоящего исследования является определение параметров, пригодных для проведения нейрофизиологического эксперимента с предъявлением зрительных стимулов с целью оценки уровня владения иностранным языком, что позволит проводить дальнейший анализ временных рядов нейрофизиологической природы для выявления специфических биомаркеров и проведения экспериментов с использованием выбранных параметров.

1. Методика

1.1. Критерии отбора. Для обзора литературы был проведен поиск опубликованных статей с использованием поисковой системы Google Scholar. Обзор состоит из двух частей, посвященных разным аспектам экспериментального исследования. При поисковом запросе использовались следующие термины: «название изображений», «нейролингвистика», «лингвистика», «перевод», «билингвы». После первичного поиска по этим терминам перепроверялись пропущенные слова и формулировки, подходящие для дальнейших поисковых запросов в текстах ранее найденных статей. После этого уточнились ранее определенные термины для более сложного поиска, посвященного исследованию нейролингвистики, и проводился поиск в базе данных. На обоих этапах поиска работы считались релевантными для рецензирования, если мы находили один из поисковых запросов или эквивалентную переформулировку в его названии, аннотации или ключевых словах.

1.2. Сбор и анализ данных. На первом этапе работы, посвященной обобщению карт областей мозга, соответствующих лингвистическим исследованиям, мы постарались избежать включения исследований с субъектами с нейрофизиологической патологией за исключением работ, где производилось исследование областей мозга, отвечающих за нарушение лингвистических функций. Хотя несколько отобранных работ содержали результаты для гетерогенных групп из-за дизайна эксперимента, для этого обзора мы извлекли информацию только о контрольных группах, то есть субъектах без патологий. Что касается части обзора, посвященной последним исследованиям и практическим приложениям, мы не применяли никаких дополнительных ограничений к протоколу эксперимента, пытаясь охватить все тенденции, которые появились в области нейролингвистики в последние годы.

Дальнейший анализ собранной литературы позволил классифицировать различные методы исследования. Большинство выбранных работ включали количественные методы исследования

с однородными результатами. Всестороннее обобщение научных подходов с учетом целей и результатов проведенных лингвистических экспериментов позволило собрать обширный материал, который мы систематизировали в Таблице. (Количество триалов обозначено N_T , длительность стимула — T_s , длительность паузы — T_p , обозначения языков приведены в соответствии с международной кодификацией ISO 639).

Таблица. Лингвистические исследования с использованием зрительных стимулов и получением вербальных ответов
Table. Linguistic research using visual stimuli and receiving verbal responses

Публикация	N_T / T_s , мс/ T_p , мс	Цели и задачи	Языки	Полученные результаты
[4]	950/ 2000/ 1000	Посмотреть разницу в скорости реакции при переключения языка	es ca kr	Выявлена задержка при переключении языков
[5,6]	384/ 250/ 500	Проследить разницу во времени обработки стимула при переключении языков	nl en	Ингибирование внимания при переключении языков
[7]	108/ 1000/ 2000	Проследить разницу при предъявлении цифр или изображений	de en	Называние цифры не несет семантического наполнения
[8]	96/ 4300/ 180	Выявить различия в активации у билингвов и монолингвов	es ca	Билингвы при назывании изображения на их родном или неродном языке, имеют активацию выше по сравнению с одноязычными в 5 областях левого полушария
[9]	120/ 2000/ 8000	Изучение влияния активации на скорость реакции при переключении языков	jp en	Лексическое решение, при котором любое активированное значение слова вызывает активацию обратного ответа, приводит к отрицательной связи между количеством активации и скоростью реакции
[10]	360/ 1500/ 500	Различие между существительными во множественном числе в контекстах, где им предшествовал цветовой модификатор	en	Цветовые изменения вызывали более высокую активацию, чем аналогичные различия для множественных объектов
[12]	100/ 1500/ 250	Проследить изменение вызванных потенциалов при переключении языка	nl en	Данные вызванных потенциалов показали тенденцию к уменьшению N400, что свидетельствует о том, что участники использовали механизм постлексической проверки во время блока переключения
[13]	134/ 500/ 1000	Зафиксировать разделение существительных и глаголов	en	Задержка при предъявлении глаголов
[14]	240/ 3000/ 1500	Определить, когда и как изучающие L2 начинают аффективно и семантически обрабатывать слова L2	de nl	L1 и L2 изначально обрабатываются семантически и аффективно через относительно отдельные каналы, которые все более и более связаны с воздействием L2

[15]	124/ 600/ 2400	Анализ наименования изображений, чтобы исследовать ранние эффекты переменных, специально связанных с визуальной, семантической и фонологической обработкой	en	Активация мозга, связанная с визуальным изображением, появляется в затылочной коре примерно через 100 мс после начала представления изображения. Примерно через 150 мс семантические переменные проявляются в левых лобнотемных регионах. Доступ к фонологической информации может начаться параллельно с семантической обработкой около 150 мс
[16]	96/ 3000/ 1500	Проверка гипотезы о модуляции эффектов интерференции и торможения при использовании нового языка L2	pl en	Уровень владения L2 не модулирует эффекты интерференции и торможения
[17]	184/ 4000/ 2000	Проверка гипотезы о том, что мозговые сети, формирующие основу для владения языком L1, задействованы во время явного изучения неродного языка L2	es eu	Электрофизиологические ответы во время обработки L2, аналогичные ответам L1, можно увидеть через несколько часов тренировки
[18]	80/ 3000/ 1000	Изучение воздействия в виде действий других агентов, произвольное переключение при назывании объекта	hi en	Нерелевантные для задачи внешние сигналы могут влиять на выбор языка при произвольном именовании объектов
[19]	576/ 1500/ 1200	Проследить разницу между переключением внимания между языками	en ar	Задержка при переключении языков
[20]	48/ 3500/ 2500	Анализ функциональной связности у трехязычных	que zh en	Эффективный анализ связности выявил корково-подкорково-мозжечковую схему тормозного контроля у трехязычных
[21]	336/ 1500/ 1000	Оценка того, как билингвы выбирают слова на соответствующем языке при воспроизведении и распознавании, сводя к минимуму влияние неродного языка	nl en	Обнаружено, что переключение языка было затратным только для L1, но не для L2
[22]	550/ 5000/ 1000	Исследовать относительный вклад автоматических процессов (преобразование графемы в фонему) и процессов, требующих внимания (семантическая вовлеченность)	nl en	Показан фрактальный паттерн изменчивости для именовании слов на голландском и английском языке
[23]	300/ 1500/ 3000	Проверка гипотезы о том, что входные данные в семантической памяти задействовали определенный гетеромодальный сетевой центр, который интегрирует лексический поиск с соответствующим семантическим содержанием	en	Выявлено увеличение активности центральной части мозолистого тела

[24]	1152/ 300/ 4000	Сравнение повтора и смены языка	de en	Задержка при ожидании смены ниже, чем при простом переключении языка
[25]	96/ 2000/ 1500	Сравнение ответов при парном тестировании	zh en	Синхронизация ответных реакций для вербального и невербального ответа
[26]	384/ 3000/ 700	Проверка гипотезы о том, основано ли обучение, связанное с лексическим отбором, на ошибках, и является ли лексический отбор конкурентоспособным путем оценки последствий создания слов для последующего производства семантических конкурентов	en fr es	После вербального ответа на языке с высокой степенью ошибки (L3) затраты ответа на другом языке с высокой степенью ошибки (L2 по сравнению с L1) была выше
[27]	768/ 2000/ по ответу	Определение превосходства билингвов по сравнению с монолингвами с учетом возраста	fr it	Билингвы имеют преимущество в любой возрастной категории, но молодые справляются с задачей лучше
[28]	432/ 2000/ 1200	Сравнить затраты на переключение языка и переключение концепта	nd en zh	Затраты на переключение концепта выше, чем на переключение языка
[29]	320/ 2000/ 2000	Сравнение ингибирования языка при переключении	zh en	Неродной язык ингибируется на переключении, но не во время повторного использования
[30]	96/ 800/ 1500	Исследовать, в какой степени экспериментально индуцированные языковые режимы влияют на исполнительные функции билингвов	en de	Частота переключения языка была отрицательным предиктором производительности в условиях, активирующих альтернативный и одноязычный режимы управления
[31]	24/ 2000/ 3000	Поиск участков мозга, отвечающих за контроль языка	nd en	Выявлено изменение активности в первичной соматосенсорной коре
[32]	1448/ 2500/ 1000	Исследование взаимодействия между когнитивными и психолингвистическими факторами, лежащими в основе двуязычного производства речи	it de en zh sk	Показано, что на процесс производства отдельных слов у здоровых взрослых двуязычных людей влияет взаимодействие между когнитивными, фонологическими и семантическими факторами
[33]	224/ 500/ 3000	Сравнение эффективности при предъявлении мономорфемных и мультиморфемных слов	de	Выявлено увеличение количества ошибок при предъявлении мультиморфемных слов
[34]	156/ 2500/ 250	Исследование взаимосвязи когнитивного переключения при смене языка	zh ug	Продолжительность воздействия языка меньшинства L1 и возраст овладения языком L2 влияют на языковой контроль в процессе речепроизводства
[35]	31/ по от- вету/ 0	Исследование разности производительности изучения языка в разном возрасте	en zh	Иностранные языки изучаются с большим разрывом в производительности, и обслуживаются принципиально разными механизмами

[36]	183/ 3500/ 500	Рассмотрение модели затрат переключения и обратного эффекта доминирования языка	en zh	Асимметричная стоимость переключения с более высокими затратами на L2 в конгруэнтном контексте по сравнению с базовым и неконгруэнтным контекстами
[37]	70/ 2500/ 1000	Изучение того, влияет ли двуязычие в близких и далеких языковых парах на языковой контроль и общие когнитивные процессы	en ar fr	Более сильное участие языкового контроля и областей общего когнитивного контроля у близких языков
[38]	100/ 1500/ 1200	Изучение влияния того, в какой степени нейронная репрезентация слова одинакова, когда оно готовится к воспроизведению как отдельное слово, по сравнению с тем, когда оно готовится как часть значимой фразы	en	Обнаружена сильная асимметрия между существительными и прилагательными, при этом наименования существительных обычно лучше поддаются декодированию
[39]	144/ 2500/ 500	Исследовать различие между доступом к значению слова и сборкой его произношения	vi	Показано, что просодификация на вьетнамском аналогична германским языкам, а не китайскому
[40]	160/ 1500/ 1500	Изучение активности мозга при предъявлении захватываемых зрительных образов	en	Модуляция моторных ответов и кортикальных ритмов при обработке захватываемых зрительных образов
[41]	286/ 5000/ 3000	Исследование энтропии ответов при именовании изображений	de	Задержка в названии может быть описана энтропией частоты слов в языке
[42]	128/ 1500/ 500	Сравнение статистических показателей при распознавании различных образов	de	Показаны статистически значимые эффекты в связи между задержками и степенью знакомства со словами, визуальной сложностью изображений, психологической валентностью
[43]	96/ 2000/ 250	Исследование влияние языкового доминирования на распознавание языка	zh ug	Начальный возраст освоения L2 (но не недавнее знакомство с языком) и кросс-модальное языковое доминирование способствуют вариациям в распознавании L2
[44]	48/ 2500/ 600	Изучение влияния дополнительного языка на когнитивное восприятие времени	zh mn en	Изучение дополнительного языка может изменить когнитивные способности говорящих при наличии значительных различий между L1 и L2

1.3. Материалы экспериментальных исследований. Был проведен ряд экспериментальных исследований, в которых принимали участие 15 некурящих, без нейрофизиологических заболеваний, не подвергающихся медикаментозному лечению добровольцев в возрасте от 18 до 22 лет с различным уровнем знания английского языка, не являющиеся его носителем, что сравнимо с выборками в работах [5, 6, 19]. Всех добровольцев просили придерживаться здорового образа жизни (не менее 8 часов сна, исключить потребление алкоголя, исключить или ограничить потребление кофеин содержащих продуктов) в течение 48 часов перед каждым экспериментом. Добровольцы были заранее ознакомлены с процедурой проведения эксперимента и возможными вызванными ей неудобствами, имели возможность задать интересующие вопросы и получить на

них удовлетворительные ответы. Каждый испытуемый заполнил и подписал бланк информированного согласия на участие в эксперименте. Все экспериментальные работы были проведены в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации.

Эксперимент проводился следующим образом. Испытуемый сидел в удобном кресле, а на столе перед ним располагался монитор (расстояние от экрана до глаз 30–40 см) и микрофон. Во время эксперимента осуществлялась регистрация активности головного мозга при помощи средств электроэнцефалографии (ЭЭГ). Для этого было использовано оборудование, имеющееся в распоряжении лаборатории. Отметим, что сигналы ЭЭГ дают представление об электрической активности головного мозга. Для регистрации ЭЭГ-активности был использован электроэнцефалограф «actiCHamp» производства Brain Products, Германия. Сигналы ЭЭГ были записаны для 64 каналов в соответствии со стандартной схемой «10–10». Заземление располагалось на месте электрода «Fpz», а электрод, служивший референтом, был помещен за правым ухом. Для регистрации ЭЭГ были использованы активные Ag/AgCl электроды «ActiCAP», которые были расположены на поверхности кожи головы в гнездах специальной шапочки «EasyCAP». Для повышения качества сигналов и обеспечения лучшей проводимости кожа головы предварительно была обработана абразивным гелем «NuPrep», а затем электроды были установлены с использованием проводящего геля «SuperVisc». Во время эксперимента отслеживались значения проводимости на каждом из электродов ЭЭГ. Обычно значения составляли менее 15 кОм, что является достаточным для правильной работы активных электродов ЭЭГ.

2. Результаты

2.1. Количество используемых триалов. При разработке дизайна эксперимента с участием человека экспериментаторы должны решить, сколько триалов совершит каждый участник, а также количество участников. Большинство обсуждений статистической мощности сосредоточено на размере выборки и предполагает достаточное количество испытаний [45]. Исследование влияния обоих факторов на статистическую мощность особенно важно, когда дисперсия внутри групп участников является значительной по сравнению с дисперсией между участниками. Существующие наборы данных для экспериментальных парадигм и методологий должны включать время реакции, сенсорные пороговые значения для функциональной магнито-резонансной томографии, МЭГ, ЭЭГ и оценки дисперсии внутри и между участниками для каждого метода. Тем не менее даже в статьях, опубликованных в престижных журналах, мы не всегда находим достаточное количество испытуемых, что значительно снижает статистическую мощность в использованных парадигмах.

На рис. 1 представлено процентное распределение количества статей по числу испытаний. Хорошо видно, что примерно половина работ ограничилась количеством триалов меньше 100, что могло оказать негативное влияние на значимость и воспроизводимость результатов. Стоит отметить относительно малое количество работ с числом испытаний выше 500. Это косвенно указывает

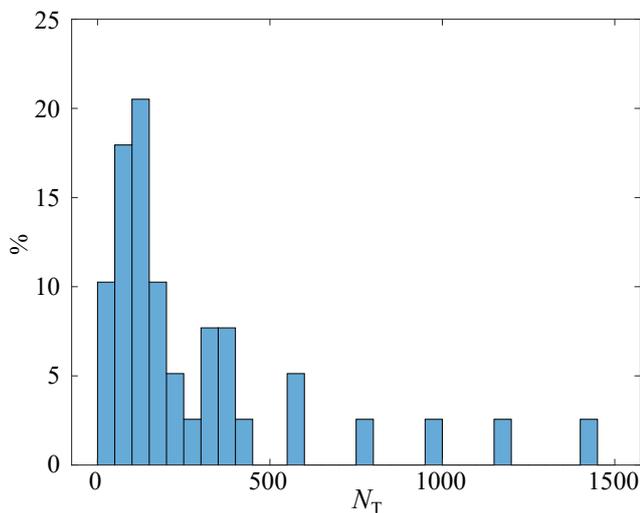


Рис. 1. Процентное распределение количества исследований по числу испытаний

Fig. 1. Percentage of the number of papers versus the number of trials used

на то, что нет необходимости проводить слишком много испытаний, так как это может привести к негативным последствиям вследствие накопления умственной и физической усталости [46]. Принимая во внимание всё вышесказанное, можно заключить, что использование от 100 до 500 испытаний является оптимальным с точки зрения чистоты эксперимента и статистической мощности.

2.2. Длительность стимула. С одной стороны, длительность стимула ограничена скоростью передачи и обработки визуальной информации, что обуславливает нижний порог в 200 мс [45, 46]. С другой, слишком длительное предъявление стимула приводит к увеличению затрат на проведение эксперимента и утомлению испытуемого. Кроме того, зрительное восприятие адаптируется к своей недавней истории. С этим связано явление подавления повторения, снижение нервных реакций на повторные предъявления визуальной информации по сравнению со спонтанным визуальным вводом. Временной масштаб, в течение которого происходит подавление всей визуальной иерархии, настроен для улучшения временной статистики визуальных входных функций, которые быстро меняются в областях низкого уровня, но более стабильны в областях более высокого уровня [47–49].

На рис. 2, *a* представлено процентное распределение количества статей в зависимости от длительности стимула. Легко видеть, что данное распределение имеет холмообразный вид. Расчет критерия согласия χ^2 [50] не опровергает гипотезу о том, что данные прибывают из

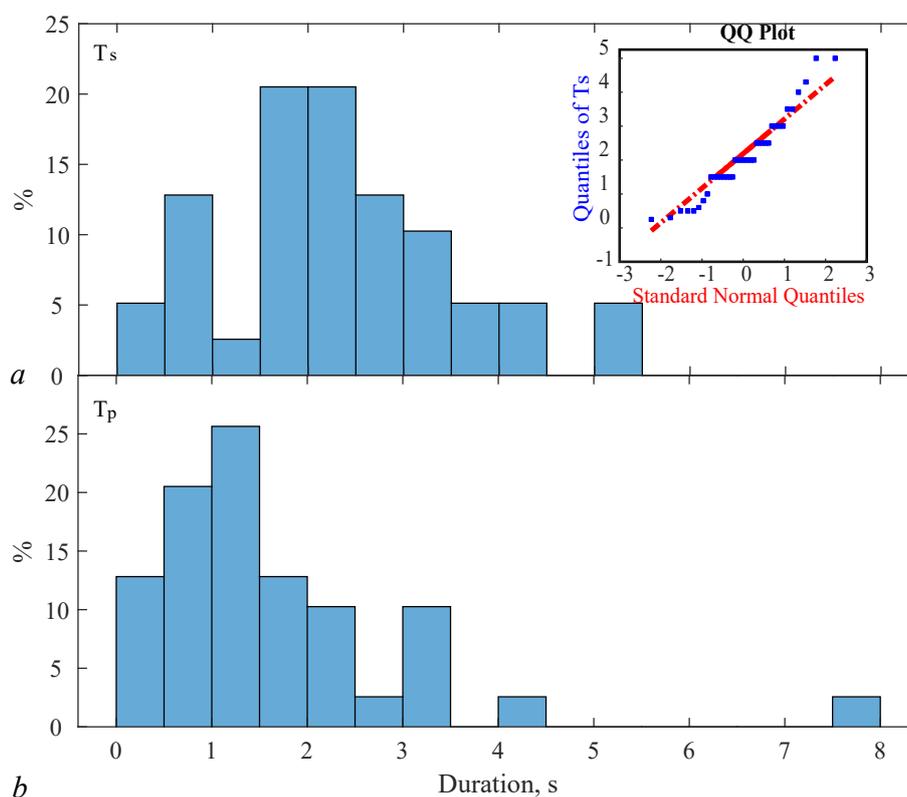


Рис. 2. *a* — Процентное распределение количества исследований по отношению к длительности стимула. График «квантиль–квантиль» для длительности стимула и нормального распределения. *b* — Процентное распределение количества исследований по отношению к длительности стимула и продолжительности паузы между испытаниями (цвет онлайн)

Fig. 2. *a* — Percentage of the number of papers versus stimulus duration. QQ-plot for the stimulus vs normal distribution. *b* — Percentage of the number of papers versus stimulus and inter-trial pause duration (color online)

нормального распределения со средним значением и отклонением, оцененным по всему набору на уровне значимости $p < 0.05$. Для экспериментального исследования имеет смысл ограничиться половиной распределения в окрестности максимума распределения. Принимая во внимание всё вышесказанное, можно заключить, что желательно использование стимулов длительностью от 1000 до 3000 мс.

2.3. Длительность паузы. Длительность паузы между стимулами очень сильно сказывается на концентрации внимания испытуемых во время экспериментов с предъявлением изображений [51]. Исследования с использованием моделей когнитивных наборов для простых невербальных визуальных стимулов определили особенности динамики электрических колебаний в диапазоне α -ритма в коре головного мозга в периоды времени между предупреждением и целевыми стимулами или между целевыми и побуждающими стимулами [52]. В обоих случаях известны явления десинхронизации ритма в ответ на представление первого стимула, но в средней части паузы, наоборот, наблюдается синхронизация, которая затем заметно уменьшается или изменяется на десинхронизацию непосредственно перед представлением следующего стимула, как можно наблюдать на рис. 3. Отметим, что данные для иллюстрации на рис. 3 были взяты из эксперимента, который более подробно описан в разделе «Дизайн эксперимента». Такое поведение объясняется реакцией, индуцированной нисходящими потоками, обусловленными длительностью временных интервалов между целевыми стимулами в префронтальной коре во время проведения учебного процесса [53–57].

На рис. 2, *b* представлено процентное распределение количества статей по длительности паузы между стимулами. Данное распределение не имеет четкой конфигурации, соответствующей какому-либо из известных распределений. По всей видимости, исследователи не имеют чёткого представления о времени, необходимом для переключения на новый стимул и достаточном

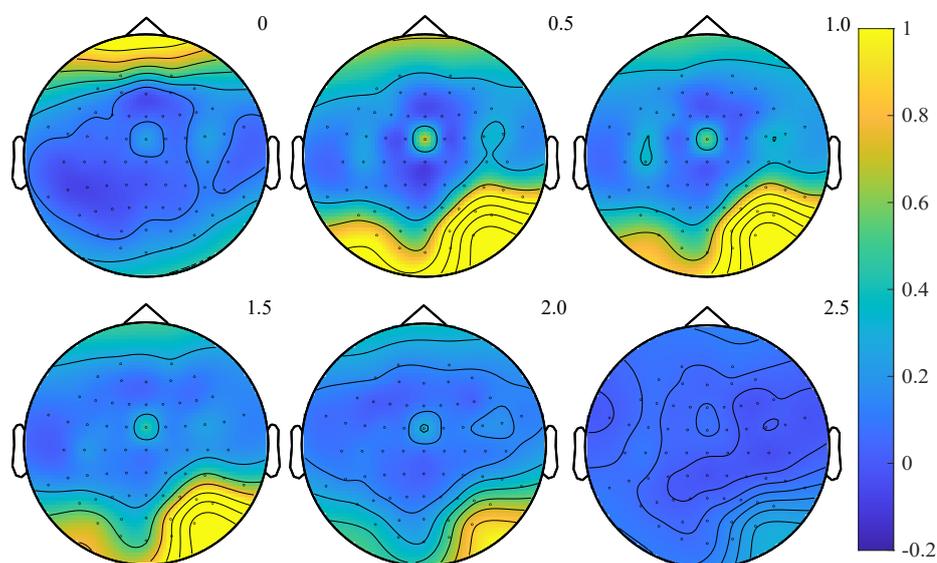


Рис. 3. Топограммы средней по всем триалам активности, связанной с действием синхронизации/десинхронизации в альфа-диапазоне для паузы. Последовательные поверхности соответствуют моментам 0–2.5 с относительно момента исчезновения стимула. Единицы цветовой шкалы нормированы относительно базового уровня до предъявления стимула (цвет онлайн)

Fig. 3. Topogram of average trial activity in alpha band at the event-related synchronization/desynchronization for the pause. The plots refer to fixed latencies at 0–2.5 s with respect to the end of the stimulus. Colormap levels are presented in arbitrary units relative to the prestimulus baseline (color online)

для поддержания внимания испытуемого на осуществлении задачи. Для экспериментального исследования имеет смысл рассматривать часть распределения для промежутков, включающих как минимум несколько работ. Принимая во внимание всё вышесказанное, можно заключить, что желательно использование длительности паузы от 500 до 3000 мс.

2.4. Локализация участков активности мозга, вовлекаемых в обработку стимулов и формирования вербального ответа на иностранном языке. В работах [8, 58] в поиске синаптических решений после коррекции для множественного сравнения по всему мозгу найдено, что активированные путем наименования визуального образа и вербального ответа области включали прецентральные и постцентральные извилины, височно-теменные доли, прецентральные и постцентральные борозды, мозжечок, левый таламус и дополнительная моторная кора. Кроме того, отмечалось вовлечение левой передней доли, передней поясничной извилины, дорсальной премоторной коры, левой верхней височной извилины, левой лобной доли и мозжечка. В работе [15] основные изменения наблюдались также в левых лобно-теменных регионах, а в работе [20] — в корково-подкорково-мозжечковой сети.

2.5. Дизайн эксперимента. В связи с вышесказанным для оценки психофизиологического состояния студентов во время выполнения упражнений по ходу экспериментальных исследований рекомендуется использовать промежуточное тестирование. В одной из наиболее хорошо зарекомендовавших себя методик — оценки текущего уровня усталости — используется субъективная шкала многомерной оценки утомляемости (MFI-20) [59], состоящая из 20 пунктов и позволяющая оценить усталость по пяти шкалам: общая астения, физическая астения, снижение мотивации, пониженная активность, психическая астения. MFI-20 дает комплексную оценку утомляемости испытуемых.

Хорошей альтернативой является тест для оценки субъективных критериев физического и психического состояния, базирующийся на оценке состояния с помощью визуальной аналоговой шкалы [60]. Данный тест вполне подходит для количественного определения взаимосвязи различных аспектов усталости во время проведения экспериментов по регистрации ЭЭГ при выполнении различных задач [61]. Кроме того, представляется перспективным использование теста NASA TLX (Task Load Index) [62] для субъективной многофакторной оценки рабочей нагрузки в ходе выполнения задания. При этом оценка производится по следующим направлениям: умственная нагрузка, физическая нагрузка, нехватка времени, усилия, эффективность, уровень недовольства [63, 64].

В результате обобщения и анализа экспериментальных и теоретических научных исследований, связанных с предъявлением визуальных стимулов и получением вербальных ответов, в лингвистике был предложен дизайн нейрофизиологического эксперимента. Временная структура эксперимента представлена на рис. 4.

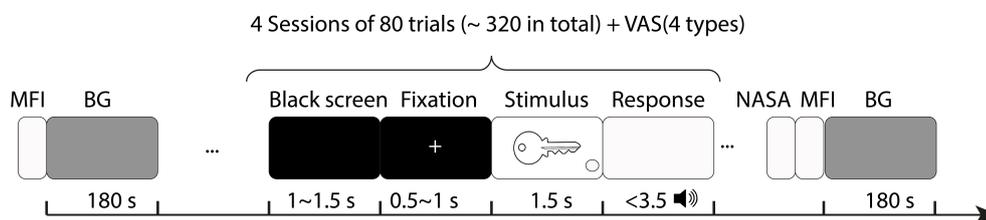


Рис. 4. Временная структура эксперимента. MFI обозначает тест утомляемости, BG — регистрацию фоновой активности, Black screen — черный экран, Fixation — фиксационный крест, Stimulus — предъявление стимула, Response — время на ответ, NASA — тест оценки нагрузки

Fig. 4. Time structure of the experiment

1. Исследование начинается с оценки текущего уровня усталости с использованием субъективной шкалы многомерной оценки утомляемости (MFI-20), состоящей из 20 пунктов и позволяющей оценить усталость по пяти шкалам: общая астения, физическая астения, снижение мотивации, пониженная активность, психическая астения. Для прохождения теста испытуемому необходимо дать ответ от 1 до 5, где 1 — «Да, это правда», а 5 — «Нет, это неправда», на каждое из предъявленных утверждений. MFI-20 дает комплексную оценку утомляемости с особым вниманием к усталости, испытываемой субъектами [59].
2. Далее следует 3-минутная запись фоновой активности, в течение которой испытуемому предлагается расслабиться и не фокусировать внимание на чём-либо.
3. Далее следует четыре блока/сессии по 80 триалов с предъявлением визуальных образов.
 - (a) Состав каждого триала включает:
 - i. показ черного экрана в течение 1–1.5 с;
 - ii. показ креста для фиксации в течение 0.5–1 с;
 - iii. предъявление стимула в виде визуального образа/картинки, сопровождающейся световой индикацией в правом нижнем углу в течение 1.5 с;
 - iv. ожидание вербального ответа испытуемого, сопровождаемое белым фоном в течение времени до 3.5 с, при этом переход к следующему триалу может осуществляться ранее в случае фиксации вербального ответа.
 - (b) По окончании блока, состоящего из 80 триалов, испытуемый каждый раз проходит тест для оценки субъективных критериев физического и психического состояния, базирующийся на оценке состояния с помощью визуальной аналоговой шкалы [60]. В состав входят 4 (четыре) характеристики с соответствующими шкалами:
 - i. физическая усталость;
 - ii. ментальная усталость;
 - iii. усилие — оценка количества усилий, прилагаемых для сохранения высокой эффективности выполнения задания;
 - iv. уровень интереса — оценка заинтересованности испытуемого в выполняемом задании.
 - (c) По завершении четырех блоков (320 триалов) испытуемый проходит тест NASA TLX (Task Load Index), используемый для субъективной многофакторной оценки рабочей нагрузки в ходе выполнения задания [64]. Оценка производится по следующим направлениям: умственная нагрузка, физическая нагрузка, нехватка времени, усилия, эффективность, уровень недовольства.
 - (d) Далее испытуемый повторно проходит тест оценки утомляемости (MFI-20).
 - (e) Завершение эксперимента сопровождается 3-минутной записью фоновой активности.

2.6. Результаты эксперимента. Полученные в ходе экспериментального исследования наборы триалов ЭЭГ проходили предварительную обработку, включающую удаление глазодвигательных артефактов и высокочастотных шумов. Данные были усреднены для каждого испытуемого в отдельности по всем триалам. Средний для всех испытуемых триал представлен на рис. 5, а. Вертикальной линией показан момент предъявления стимула. Участок, соответствующий моменту времени 1450–1500 мс после предъявления стимула, потенциально может быть наиболее интересным с точки зрения оценки лингвистических способностей человека к усвоению иностранных языков. Время, соответствующее положению максимума сигнала в данном диапазоне можно считать временем задержки между предъявлением стимула и обработкой информации для формирования вербального ответа. В частности, задержка положения максимума абсолютного значения

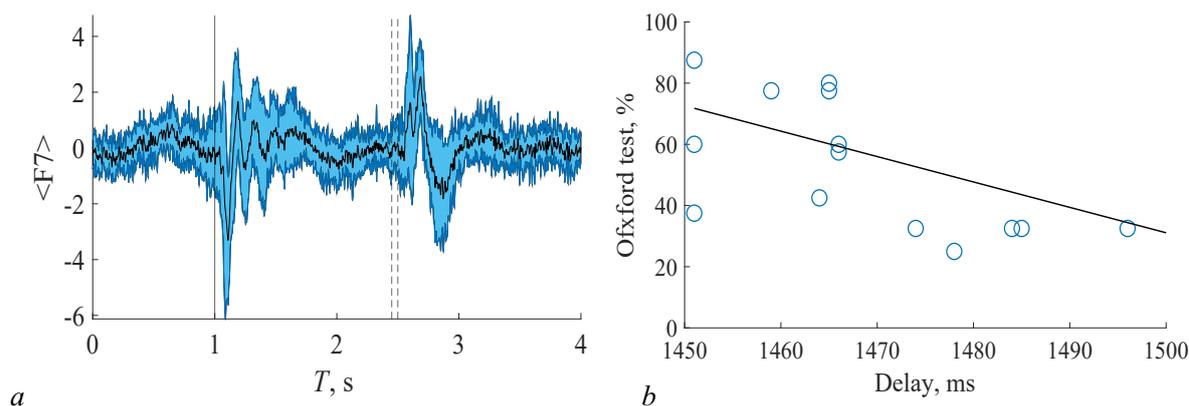


Рис. 5. *a* — ЭЭГ паттерн канала F7, усредненный для всех испытуемых в формате среднее \pm среднеквадратичное отклонение, пунктирные линии обрамляют участок для выявления задержки. *b* — Линейное приближение зависимости процента успешности прохождения теста Oxford от задержки максимума сигнала ЭЭГ (цвет онлайн)

Fig. 5. *a* — Mean EEG response pattern from the F7 channel averaged over subjects, dash lines confine the delay interest interval. Mean \pm SD. *b* — Linear fit of the dependence Oxford test % on the EEG delay (color online)

сигнала ЭЭГ с канала F7 в этом диапазоне отрицательно коррелирует (коэффициент взаимной корреляции Пирсона $r = -0.5187$, уровень значимости коэффициента $p = 0.0476$, рис. 5, *b*) с оценкой уровня знаний тестируемого, полученной в ходе прохождения теста на словарный запас [65]. Отведение F7 соответствует зоне Брока, которая является двигательным центром речи, ответственным за воспроизведение речи [66].

Заключение

Проведен детальный обзор литературы современного состояния исследований в области экспериментальных научных исследований, связанных с предъявлением визуальных стимулов и получением вербальных ответов. На основе анализа имеющейся литературы разработан дизайн эксперимента по нейролингвистике и созданы алгоритмы, позволяющие работать с несколькими источниками данных. Проведенные экспериментальные исследования позволили определить оптимальную временную структуру и разработать программное обеспечение для проведения ЭЭГ экспериментов и последующей обработки данных.

Кроме того, обобщения полученных результатов и аналитические оценки экспериментальных параметров позволили сформировать рекомендации к будущим экспериментам. В частности, показано, что использование от 100 до 500 испытаний является оптимальным с точки зрения чистоты эксперимента и статистической мощности. Желательно использование стимулов длительностью от 1000 до 3000 мс с паузами между ними от 500 до 3000 мс. При этом крайне желательно варьировать интервалы для предотвращения негативных эффектов в альфа-ритме, связанных с ритмическим повторением. В ходе проведенных экспериментальных испытаний были выявлены перспективные показатели для оценки лингвистических способностей. Также была обнаружена значимая отрицательная корреляция между задержкой пиковой активности в зоне Брока с отведения F7 и оценкой уровня знаний теста на словарный запас у испытуемого.

Список литературы

1. Feiler J. B., Stabio M. E. Three pillars of educational neuroscience from three decades of literature // Trends in Neuroscience and Education. 2018. Vol. 13. P. 17–25. 10.1016/j.tine.2018.11.001.

2. *Jolles J., Jolles D.D.* On neuroeducation: Why and how to improve neuroscientific literacy in educational professionals // *Front. Psychol.* 2021. Vol. 12. P. 752151. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.752151.
3. *Букина Т. В., Храмова М. В., Куркин С. А.* Современные исследования функционирования мозга детей младшего школьного возраста в процессе обучения: обзор // *Известия вузов. ПНД.* 2021. Т. 29, № 3. С. 449–456. DOI: 10.18500/0869-6632-2021-29-3-449-456.
4. *Costa A., Santesteban M.* Lexical access in bilingual speech production: Evidence from language switching in highly proficient bilinguals and L2 learners // *Journal of Memory and Language.* 2004. Vol. 50, no 4. P. 491–511. DOI: 10.1016/j.jml.2004.02.002.
5. *Verhoef K., Roelofs A., Chwilla D.J.* Role of inhibition in language switching: Evidence from event-related brain potentials in overt picture naming // *Cognition.* 2009. Vol. 110, no. 1. P. 84–99. DOI: 10.1016/j.cognition.2008.10.013.
6. *Roelofs A., Piai V., Rodriguez G.G.* Attentional inhibition in bilingual naming performance: evidence from delta-plot analyses // *Front. Psychol.* 2011. Vol. 2. P. 184. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00184.
7. *Declerck M., Koch I., Philipp A.M.* Digits vs. pictures: The influence of stimulus type on language switching // *Bilingualism: Language and Cognition.* 2012. Vol. 15, no. 4. P. 896–904. DOI: 10.1017/S1366728912000193.
8. *Parker J. O., Green D. W., Grogan A., Pliatsikas C., Filippopolitis K., Ali N., Lee H. L., Ramsden S., Gazarian K., Prejawa S., Seghier M. L., Price C.J.* Where, when and why brain activation differs for bilinguals and monolinguals during picture naming and reading aloud // *Cereb. Cortex.* 2012. Vol. 22, no. 4. P. 892–902. DOI: 10.1093/cercor/bhr161.
9. *Allen D. B., Conklin K.* Cross-linguistic similarity and task demands in Japanese-English bilingual processing // *PLoS ONE.* 2013. Vol. 8, no. 8. P. e72631. DOI: 10.1371/journal.pone.0072631.
10. *Del Prado P., Pylkkänen L.* MEG evidence for conceptual combination but not numeral quantification in the left anterior temporal lobe during language production // *Front. Psychol.* 2014. Vol. 5. P. 524. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.00524.
11. *Чхолок П., Табару Ф., Писарчик А. Н.* Выявление нейронной сети, лежащей в основе парадигмы скрытого наименования изображений, с помощью магнитоэнцефалографии // *Известия вузов. ПНД.* 2022. Т. 30, № 1. С. 76–95. DOI: 10.18500/0869-6632-2022-30-1-76-95.
12. *Lensink S.E., Verdonschot R.G., Schiller N.O.* Morphological priming during language switching: an ERP study // *Front. Hum. Neurosci.* 2014. Vol. 8. P. 995. DOI: 10.3389/fnhum.2014.00995.
13. *Conner C.R., Chen G., Pieters T.A., Tandon N.* Category specific spatial dissociations of parallel processes underlying visual naming // *Cereb. Cortex.* 2014. Vol. 24, no. 10. P. 2741–2750. DOI: 10.1093/cercor/bht130.
14. *Sianipar A., Middelburg R., Dijkstra T.* When feelings arise with meanings: How emotion and meaning of a native language affect second language processing in adult learners // *PLoS ONE.* 2015. Vol. 10, no. 12. P. e0144576. DOI: 10.1371/journal.pone.0144576.
15. *Miozzo M., Pulvermüller F., Hauk O.* Early parallel activation of semantics and phonology in picture naming: Evidence from a multiple linear regression MEG study // *Cereb. Cortex.* 2015. Vol. 25, no. 10. P. 3343–3355. DOI: 10.1093/cercor/bhu137.
16. *Durlík J., Szewczyk J., Muszyński M., Wodniecka Z.* Interference and inhibition in bilingual language comprehension: Evidence from Polish-English interlingual homographs // *PLoS ONE.* 2016. Vol. 11, no. 3. P. e0151430. DOI: 10.1371/journal.pone.0151430.
17. *Bastarrika A., Davidson D.J.* An event related field study of rapid grammatical plasticity in adult second-language learners // *Front. Hum. Neurosci.* 2017. Vol. 11. P. 12. DOI: 10.3389/fnhum.2017.00012.
18. *Bhatia D., Prasad S.G., Sake K., Mishra R.K.* Task irrelevant external cues can influence language selection in voluntary object naming: Evidence from Hindi-English bilinguals // *PLoS ONE.* 2017. Vol. 12, no. 1. P. e0169284. DOI: 10.1371/journal.pone.0169284.

19. *Blanco-Elorrieta E., Pykkänen L.* Bilingual language switching in the laboratory versus in the wild: The spatiotemporal dynamics of adaptive language control // *J. Neurosci.* 2017. Vol. 37, no. 37. P. 9022–9036. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0553-17.2017.
20. *Mosca M., de Bot K.* Bilingual language switching: Production vs. recognition // *Front. Psychol.* 2017. Vol. 8. P. 934. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.00934.
21. *Yang J., Ye J., Wang R., Zhou K., Wu Y.J.* Bilingual contexts modulate the inhibitory control network // *Front. Psychol.* 2018. Vol. 9. P. 395. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00395.
22. *Plat R., Lowie W., de Bot K.* Word naming in the L1 and L2: A dynamic perspective on automatization and the degree of semantic involvement in naming // *Front. Psychol.* 2018. Vol. 8. P. 2256. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.02256.
23. *Forseth K.J., Kadipasaoglu C.M., Conner C.R., Hickok G., Knight R.T., Tandon N.* A lexical semantic hub for heteromodal naming in middle fusiform gyrus // *Brain.* 2018. Vol. 141, no. 7. P. 2112–2126. DOI: 10.1093/brain/awy120.
24. *Lavric A., Clapp A., East A., Elchlepp H., Monsell S.* Is preparing for a language switch like preparing for a task switch? // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition.* 2019. Vol. 45, no. 7. P. 1224–1233. DOI: 10.1037/xlm0000636.
25. *Liu H., Zhang M., Pérez A., Xie N., Li B., Liu Q.* Role of language control during interbrain phase synchronization of cross-language communication // *Neuropsychologia.* 2019. Vol. 131. P. 316–324. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2019.05.014.
26. *Runnqvist E., Strijkers K., Costa A.* Error-based learning and lexical competition in word production: Evidence from multilingual naming // *PLoS ONE.* 2019. Vol. 14, no. 3. P. e0213765. DOI: 10.1371/journal.pone.0213765.
27. *Massa E., Köpke B., El Yagoubi R.* Age-related effect on language control and executive control in bilingual and monolingual speakers: Behavioral and electrophysiological evidence // *Neuropsychologia.* 2020. Vol. 138. P. 107336. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2020.107336.
28. *Zhang Y., Cao N., Yue C., Dai L., Wu Y.J.* The interplay between language form and concept during language switching: A behavioral investigation // *Front. Psychol.* 2020. Vol. 11. P. 791. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.00791.
29. *Zhu J.D., Seymour R.A., Szakay A., Sowman P.F.* Neuro-dynamics of executive control in bilingual language switching: An MEG study // *Cognition.* 2020. Vol. 199. P. 104247. DOI: 10.1016/j.cognition.2020.104247.
30. *Hofweber J., Marinis T., Treffers-Daller J.* Experimentally induced language modes and regular code-switching habits boost bilinguals' executive performance: Evidence from a within-subject paradigm // *Front. Psychol.* 2020. Vol. 11. P. 542326. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.542326.
31. *Tabassi Mofrad F., Jahn A., Schiller N.O.* Dual function of primary somatosensory cortex in cognitive control of language: Evidence from resting state fMRI // *Neuroscience.* 2020. Vol. 446. P. 59–68. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2020.08.032.
32. *Schramm S., Tanigawa N., Tussis L., Meyer B., Sollmann N., Krieg S.M.* Capturing multiple interaction effects in L1 and L2 object-naming reaction times in healthy bilinguals: a mixed-effects multiple regression analysis // *BMC Neurosci.* 2020. Vol. 21, no. 1. P. 3. DOI: 10.1186/s12868-020-0549-x.
33. *Weiss Lucas C., Pieczewski J., Kochs S., Nettekoven C., Grefkes C., Goldbrunner R., Jonas K.* The cologne picture naming test for language mapping and monitoring (CoNaT): An open set of 100 black and white object drawings // *Front. Neurol.* 2021. Vol. 12. P. 633068. DOI: 10.3389/fneur.2021.633068.
34. *Wu R., Struys E.* Language dominance and sociolinguistic experience are related to language control and domain-general monitoring control: An investigation in bilinguals who live in a minority/majority sociolinguistic setting // *Front. Psychol.* 2021. Vol. 12. P. 594648. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.594648.

35. Kang X., Matthews S., Yip V., Wong P. C. M. Language and nonlanguage factors in foreign language learning: evidence for the learning condition hypothesis // npj Science of Learning. 2021. Vol. 6, no. 1. P. 28. DOI: 10.1038/s41539-021-00104-9.
36. Liu C., Li L., Jiao L., Wang R. Bilingual language control flexibly adapts to cultural context // Front. Psychol. 2021. Vol. 12. P. 744289. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.744289.
37. Radman N., Jost L., Dorood S., Mancini C., Annoni J.-M. Language distance modulates cognitive control in bilinguals // Sci. Rep. 2021. Vol. 11, no. 1. P. 24131. DOI: 10.1038/s41598-021-02973-x.
38. Honari-Jahromi M., Chouinard B., Blanco-Elorrieta E., Pylkkänen L., Fyshe A. Neural representation of words within phrases: Temporal evolution of color-adjectives and object-nouns during simple composition // PLoS ONE. 2021. Vol. 16, no. 3. P. e0242754. DOI: 10.1371/journal.pone.0242754.
39. Verdonschot R. G., Phudng H. T. L., Tamaoka K. Phonological encoding in Vietnamese: An experimental investigation // Quarterly Journal of Experimental Psychology. 2022. Vol. 75, no. 7. P. 1355–1366. DOI: 10.1177/17470218211053244.
40. Visani E., Sebastiano D. R., Duran D., Garofalo G., Magliocco F., Silipo F., Buccino G. The semantics of natural objects and tools in the brain: A combined behavioral and MEG study // Brain Sci. 2022. Vol. 12, no. 1. P. 97. DOI: 10.3390/brainsci12010097.
41. Busch J. L., Haeussler F. S., Domahs F., Timmermann L., Weber I., Oehrn C. R. German normative data with naming latencies for 283 action pictures and 600 action verbs // Behavior Research Methods. 2022. Vol. 54, no. 2. P. 649–662. DOI: 10.3758/s13428-021-01647-w.
42. Krautz A. E., Keuleers E. LinguaPix database: A megastudy of picture-naming norms // Behavior Research Methods. 2022. Vol. 54, no. 2. P. 941–954. DOI: 10.3758/s13428-021-01651-0.
43. Wu R., Struys E. A domain-general monitoring account of bilingual language control in recognition: The role of language dominance and bilingual experience // Front. Psychol. 2022. Vol. 13. P. 854898. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.854898.
44. Yang W., Gu Y., Fang Y., Sun Y. Mental representations of time in English monolinguals, Mandarin monolinguals, and Mandarin–English bilinguals // Front. Psychol. 2022. Vol. 13. P. 791197. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.791197.
45. Baker D. H., Vilidaite G., Lygo F. A., Smith A. K., Flack T. R., Gouws A. D., Andrews T. J. Power contours: Optimising sample size and precision in experimental psychology and human neuroscience // Psychological Methods. 2021. Vol. 26, no. 3. P. 295–314. DOI: 10.1037/met0000337.
46. Walker G. M., Basilakos A., Fridriksson J., Hickok G. Beyond percent correct: Measuring change in individual picture naming ability // Journal of Speech, Language, and Hearing Research. 2022. Vol. 65, no. 1. P. 215–237. DOI: 10.1044/2021_JSLHR-20-00205.
47. Welford A. T. Choice Reaction Time: Basic Concepts. New York: Academic Press, 1980. 128 p.
48. Jain A., Bansal R., Kumar A., Singh K. D. A comparative study of visual and auditory reaction times on the basis of gender and physical activity levels of medical first year students // International Journal of Applied and Basic Medical Research. 2015. Vol. 5, no. 2. P. 124–127. DOI: 10.4103/2229-516X.157168.
49. Fritsche M., Lawrence S. J. D., de Lange F. P. Temporal tuning of repetition suppression across the visual cortex // J. Neurophysiol. 2020. Vol. 123, no. 1. P. 224–233. DOI: 10.1152/jn.00582.2019.
50. Боровков А. А. Математическая статистика. Оценка параметров. Проверка гипотез: учебное пособие для мат. и физ. спец. вузов. М.: Наука, 1984. 472 с.
51. Kostandov E. A., Cheremushkin E. A., Yakovenko I. A., Petrenko N. E. Induced synchronization of the alpha rhythm during the pauses between visual stimuli with different levels of cognitive set plasticity // Neuroscience and Behavioral Physiology. 2015. Vol. 45, no. 2. P. 154–163. DOI: 10.1007/s11055-015-0053-4.
52. Babiloni C., Miniussi C., Babiloni F., Carducci F., Cincotti F., Del Percio C., Sirello G., Fracassi C., Nobre A. C., Rossini P. M. Sub-second “temporal attention” modulates alpha rhythms. A high-resolution EEG study // Cognitive Brain Research. 2004. Vol. 19, no. 3. P. 259–268. DOI: 10.1016/j.cogbrainres.2003.12.010.

53. *Coull J. T., Nobre A. C.* Where and when to pay attention: The neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI // *J. Neurosci.* 1998. Vol. 18, no. 18. P. 7426–7435. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.18-18-07426.1998.
54. *D'Esposito M.* From cognitive to neural models of working memory // *Phil. Trans. R. Soc. B.* 2007. Vol. 362, no. 1481. P. 761–772. DOI: 10.1098/rstb.2007.2086.
55. *Gazzaley A., Nobre A. C.* Top-down modulation: bridging selective attention and working memory // *Trends Cogn. Sci.* 2012. Vol. 16, no. 2. P. 129–135. DOI: 10.1016/j.tics.2011.11.014.
56. *Ivry R. B., Schlerf J. E.* Dedicated and intrinsic models of time perception // *Trends Cogn. Sci.* 2008. Vol. 12, no. 7. P. 273–280. DOI: 10.1016/j.tics.2008.04.002.
57. *Alavash M., Tune S., Obleser J.* Dynamic large-scale connectivity of intrinsic cortical oscillations supports adaptive listening in challenging conditions // *PLoS Biol.* 2021. Vol. 19, no. 10. P. e3001410. DOI: 10.1371/journal.pbio.3001410.
58. *Liu H., Hu Z., Guo T., Peng D.* Speaking words in two languages with one brain: Neural overlap and dissociation // *Brain Research.* 2010. Vol. 1316. P. 75–82. DOI: 10.1016/j.brainres.2009.12.030.
59. *Smets E. M. A., Garssen B., Cull A., De Haes J. C. J. M.* Application of the multidimensional fatigue inventory (MFI-20) in cancer patients receiving radiotherapy // *British Journal of Cancer.* 1996. Vol. 73, no. 2. P. 241–245. DOI: 10.1038/bjc.1996.42.
60. *Lee K. A., Hicks G., Nino-Murcia G.* Validity and reliability of a scale to assess fatigue // *Psychiatry Research.* 1991. Vol. 36, no. 3. P. 291–298. DOI: 10.1016/0165-1781(91)90027-M.
61. *Sato S. D., Choi J. T.* Corticospinal drive is associated with temporal walking adaptation in both healthy young and older adults // *Front. Aging Neurosci.* 2022. Vol. 14. P. 920475. DOI: 10.3389/fnagi.2022.920475.
62. *Hoonakker P., Carayon P., Gurses A. P., Brown R., Khunlertkit A., McGuire K., Walker J. M.* Measuring workload of ICU nurses with a questionnaire survey: the NASA Task Load Index (TLX) // *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering.* 2011. Vol. 1, no. 2. P. 131–143. DOI: 10.1080/19488300.2011.609524.
63. *Mouzé-Amady M., Raufaste E., Prade H., Meyer J.-P.* Fuzzy-TLX: using fuzzy integrals for evaluating human mental workload with NASA-Task Load index in laboratory and field studies // *Ergonomics.* 2013. Vol. 56, no. 5. P. 752–763. DOI: 10.1080/00140139.2013.776702.
64. *Said S., Gozdzik M., Roche T. R., Braun J., Rössler J., Kaserer A., Spahn D. R., Nöthiger C. B., Tscholl D. W.* Validation of the raw National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA-TLX) questionnaire to assess perceived workload in patient monitoring tasks: Pooled analysis study using mixed models // *J. Med. Internet Res.* 2020. Vol. 22, no. 9. P. e19472. DOI: 10.2196/19472.
65. English Vocabulary Level Test [Electronic resource]. Oxford Online English, 2011. Available from: <https://www.oxfordonlineenglish.com/english-level-test/vocabulary>.
66. *Gentilucci M., Bernardis P., Crisi G., Dalla Volta R.* Repetitive transcranial magnetic stimulation of Broca's area affects verbal responses to gesture observation // *Journal of Cognitive Neuroscience.* 2006. Vol. 18, no. 7. P. 1059–1074. DOI: 10.1162/jocn.2006.18.7.1059.

References

1. Feiler JB, Stabio ME. Three pillars of educational neuroscience from three decades of literature. *Trends in Neuroscience and Education.* 2018;13:17–25. DOI: 10.1016/j.tine.2018.11.001.
2. Jolles J, Jolles DD. On neuroeducation: Why and how to improve neuroscientific literacy in educational professionals. *Front. Psychol.* 2021;12:752151. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.752151.
3. Bukina TV, Khramova MB, Kurkin SA. Modern research on primary school children brain functioning in the learning process: Review. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics.* 2021;29(3):449–456. DOI: 10.18500/0869-6632-2021-29-3-449-456.
4. Costa A, Santesteban M. Lexical access in bilingual speech production: Evidence from language

- switching in highly proficient bilinguals and L2 learners. *Journal of Memory and Language*. 2004;50(4):491–511. DOI: 10.1016/j.jml.2004.02.002.
5. Verhoef K, Roelofs A, Chwilla DJ. Role of inhibition in language switching: Evidence from event-related brain potentials in overt picture naming. *Cognition*. 2009;110(1):84–99. DOI: 10.1016/j.cognition.2008.10.013.
 6. Roelofs A, Piai V, Rodriguez GG. Attentional inhibition in bilingual naming performance: evidence from delta-plot analyses. *Front. Psychol.* 2011;2:184. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00184.
 7. Declerck M, Koch I, Philipp AM. Digits vs. pictures: The influence of stimulus type on language switching. *Bilingualism: Language and Cognition*. 2012;15(4):896–904. DOI: 10.1017/S1366728912000193.
 8. Parker JO, Green DW, Grogan A, Pliatsikas C, Filippopolitis K, Ali N, Lee HL, Ramsden S, Gazarian K, Prejawa S, Seghier ML, Price CJ. Where, when and why brain activation differs for bilinguals and monolinguals during picture naming and reading aloud. *Cereb. Cortex*. 2012;22(4):892–902. DOI: 10.1093/cercor/bhr161.
 9. Allen DB, Conklin K. Cross-linguistic similarity and task demands in Japanese-English bilingual processing. *PLoS ONE*. 2013;8(8):e72631. DOI: 10.1371/journal.pone.0072631.
 10. Del Prato P, Pykkänen L. MEG evidence for conceptual combination but not numeral quantification in the left anterior temporal lobe during language production. *Front. Psychol.* 2014;5:524. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.00524.
 11. Chholak P, Tabari F, Pisarchik AN. Revealing the neural network underlying covert picture-naming paradigm using magnetoencephalography. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 2022;30(1):76–95. DOI: 10.18500/0869-6632-2022-30-1-76-95.
 12. Lensink SE, Verdonchot RG, Schiller NO. Morphological priming during language switching: an ERP study. *Front. Hum. Neurosci.* 2014;8:995. DOI: 10.3389/fnhum.2014.00995.
 13. Conner CR, Chen G, Pieters TA, Tandon N. Category specific spatial dissociations of parallel processes underlying visual naming. *Cereb. Cortex*. 2014;24(10):2741–2750. DOI: 10.1093/cercor/bht130.
 14. Sianipar A, Middelburg R, Dijkstra T. When feelings arise with meanings: How emotion and meaning of a native language affect second language processing in adult learners. *PLoS ONE*. 2015;10(12):e0144576. DOI: 10.1371/journal.pone.0144576.
 15. Miozzo M, Pulvermüller F, Hauk O. Early parallel activation of semantics and phonology in picture naming: Evidence from a multiple linear regression MEG study. *Cereb. Cortex*. 2015;25(10):3343–3355. DOI: 10.1093/cercor/bhu137.
 16. Durlík J, Szewczyk J, Muszyński M, Wodniecka Z. Interference and inhibition in bilingual language comprehension: Evidence from Polish-English interlingual homographs. *PLoS ONE*. 2016;11(3):e0151430. DOI: 10.1371/journal.pone.0151430.
 17. Bastarrika A, Davidson DJ. An event related field study of rapid grammatical plasticity in adult second-language learners. *Front. Hum. Neurosci.* 2017;11:12. DOI: 10.3389/fnhum.2017.00012.
 18. Bhatia D, Prasad SG, Sake K, Mishra RK. Task irrelevant external cues can influence language selection in voluntary object naming: Evidence from Hindi-English bilinguals. *PLoS ONE*. 2017;12(1):e0169284. DOI: 10.1371/journal.pone.0169284.
 19. Blanco-Elorrieta E, Pykkänen L. Bilingual language switching in the laboratory versus in the wild: The spatiotemporal dynamics of adaptive language control. *J. Neurosci.* 2017;37(37):9022–9036. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0553-17.2017.
 20. Mosca M, de Bot K. Bilingual language switching: Production vs. recognition. *Front. Psychol.* 2017;8:934. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.00934.
 21. Yang J, Ye J, Wang R, Zhou K, Wu YJ. Bilingual contexts modulate the inhibitory control network. *Front. Psychol.* 2018;9:395. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00395.

22. Plat R, Lowie W, de Bot K. Word naming in the L1 and L2: A dynamic perspective on automatization and the degree of semantic involvement in naming. *Front. Psychol.* 2018;8:2256. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.02256.
23. Forseth KJ, Kadipasaoglu CM, Conner CR, Hickok G, Knight RT, Tandon N. A lexical semantic hub for heteromodal naming in middle fusiform gyrus. *Brain.* 2018;141(7):2112–2126. DOI: 10.1093/brain/awyl20.
24. Lavric A, Clapp A, East A, Elchlepp H, Monsell S. Is preparing for a language switch like preparing for a task switch? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition.* 2019;45(7):1224–1233. DOI: 10.1037/xlm0000636.
25. Liu H, Zhang M, Pérez A, Xie N, Li B, Liu Q. Role of language control during interbrain phase synchronization of cross-language communication. *Neuropsychologia.* 2019;131:316–324. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2019.05.014.
26. Runnqvist E, Strijkers K, Costa A. Error-based learning and lexical competition in word production: Evidence from multilingual naming. *PLoS ONE.* 2019;14(3):e0213765. DOI: 10.1371/journal.pone.0213765.
27. Massa E, Köpke B, El Yagoubi R. Age-related effect on language control and executive control in bilingual and monolingual speakers: Behavioral and electrophysiological evidence. *Neuropsychologia.* 2020;138:107336. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2020.107336.
28. Zhang Y, Cao N, Yue C, Dai L, Wu YJ. The interplay between language form and concept during language switching: A behavioral investigation. *Front. Psychol.* 2020;11:791. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.00791.
29. Zhu JD, Seymour RA, Szakay A, Sowman PF. Neuro-dynamics of executive control in bilingual language switching: An MEG study. *Cognition.* 2020;199:104247. DOI: 10.1016/j.cognition.2020.104247.
30. Hofweber J, Marinis T, Treffers-Daller J. Experimentally induced language modes and regular code-switching habits boost bilinguals' executive performance: Evidence from a within-subject paradigm. *Front. Psychol.* 2020;11:542326. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.542326.
31. Tabassi Mofrad F, Jahn A, Schiller NO. Dual function of primary somatosensory cortex in cognitive control of language: Evidence from resting state fMRI. *Neuroscience.* 2020;446:59–68. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2020.08.032.
32. Schramm S, Tanigawa N, Tussis L, Meyer B, Sollmann N, Krieg SM. Capturing multiple interaction effects in L1 and L2 object-naming reaction times in healthy bilinguals: a mixed-effects multiple regression analysis. *BMC Neurosci.* 2020;21(1):3. DOI: 10.1186/s12868-020-0549-x.
33. Weiss Lucas C, Pieczewski J, Kochs S, Nettekoven C, Grefkes C, Goldbrunner R, Jonas K. The cologne picture naming test for language mapping and monitoring (CoNaT): An open set of 100 black and white object drawings. *Front. Neurol.* 2021;12:633068. DOI: 10.3389/fneur.2021.633068.
34. Wu R, Struys E. Language dominance and sociolinguistic experience are related to language control and domain-general monitoring control: An investigation in bilinguals who live in a minority/majority sociolinguistic setting. *Front. Psychol.* 2021;12:594648. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.594648.
35. Kang X, Matthews S, Yip V, Wong PCM. Language and nonlanguage factors in foreign language learning: evidence for the learning condition hypothesis. *npj Science of Learning.* 2021;6(1):28. DOI: 10.1038/s41539-021-00104-9.
36. Liu C, Li L, Jiao L, Wang R. Bilingual language control flexibly adapts to cultural context. *Front. Psychol.* 2021;12:744289. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.744289.
37. Radman N, Jost L, Dorood S, Mancini C, Annoni JM. Language distance modulates cognitive control in bilinguals. *Sci. Rep.* 2021;11(1):24131. DOI: 10.1038/s41598-021-02973-x.
38. Honari-Jahromi M, Chouinard B, Blanco-Elorrieta E, Pykkänen L, Fyshe A. Neural representation

- of words within phrases: Temporal evolution of color-adjectives and object-nouns during simple composition. *PLoS ONE*. 2021;16(3):e0242754. DOI: 10.1371/journal.pone.0242754.
39. Verdonschot RG, Phudng HTL, Tamaoka K. Phonological encoding in Vietnamese: An experimental investigation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2022;75(7):1355–1366. DOI: 10.1177/17470218211053244.
 40. Visani E, Sebastiano DR, Duran D, Garofalo G, Magliocco F, Silipo F, Buccino G. The semantics of natural objects and tools in the brain: A combined behavioral and MEG study. *Brain Sci*. 2022;12(1):97. DOI: 10.3390/brainsci12010097.
 41. Busch JL, Haeussler FS, Domahs F, Timmermann L, Weber I, Oehrn CR. German normative data with naming latencies for 283 action pictures and 600 action verbs. *Behavior Research Methods*. 2022;54(2):649–662. DOI: 10.3758/s13428-021-01647-w.
 42. Krautz AE, Keuleers E. LinguaPix database: A megastudy of picture-naming norms. *Behavior Research Methods*. 2022;54(2):941–954. DOI: 10.3758/s13428-021-01651-0.
 43. Wu R, Struys E. A domain-general monitoring account of bilingual language control in recognition: The role of language dominance and bilingual experience. *Front. Psychol*. 2022;13:854898. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.854898.
 44. Yang W, Gu Y, Fang Y, Sun Y. Mental representations of time in English monolinguals, Mandarin monolinguals, and Mandarin–English bilinguals. *Front. Psychol*. 2022;13:791197. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.791197.
 45. Baker DH, Vilidaite G, Lygo FA, Smith AK, Flack TR, Gouws AD, Andrews TJ. Power contours: Optimising sample size and precision in experimental psychology and human neuroscience. *Psychological Methods*. 2021;26(3):295–314. DOI: 10.1037/met0000337.
 46. Walker GM, Basilakos A, Fridriksson J, Hickok G. Beyond percent correct: Measuring change in individual picture naming ability. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2022;65(1):215–237. DOI: 10.1044/2021_JSLHR-20-00205.
 47. Welford AT. *Choice Reaction Time: Basic Concepts*. New York: Academic Press; 1980. 128 p.
 48. Jain A, Bansal R, Kumar A, Singh KD. A comparative study of visual and auditory reaction times on the basis of gender and physical activity levels of medical first year students. *International Journal of Applied and Basic Medical Research*. 2015;5(2):124–127. DOI: 10.4103/2229-516X.157168.
 49. Fritsche M, Lawrence SJD, de Lange FP. Temporal tuning of repetition suppression across the visual cortex. *J. Neurophysiol*. 2020;123(1):224–233. DOI: 10.1152/jn.00582.2019.
 50. Borovkov AA. *Mathematical Statistics*. New York: Gordon & Breach; 1998. 570 p.
 51. Kostandov EA, Cheremushkin EA, Yakovenko IA, Petrenko NE. Induced synchronization of the alpha rhythm during the pauses between visual stimuli with different levels of cognitive set plasticity. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2015;45(2):154–163. DOI: 10.1007/s11055-015-0053-4.
 52. Babiloni C, Miniussi C, Babiloni F, Carducci F, Cincotti F, Del Percio C, Sirello G, Fracassi C, Nobre AC, Rossini PM. Sub-second “temporal attention” modulates alpha rhythms. A high-resolution EEG study. *Cognitive Brain Research*. 2004;19(3):259–268. DOI: 10.1016/j.cogbrainres.2003.12.010.
 53. Coull JT, Nobre AC. Where and when to pay attention: The neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI. *J. Neurosci*. 1998;18(18):7426–7435. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.18-18-07426.1998.
 54. D’Esposito M. From cognitive to neural models of working memory. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 2007;362(1481):761–772. DOI: 10.1098/rstb.2007.2086.
 55. Gazzaley A, Nobre AC. Top-down modulation: bridging selective attention and working memory. *Trends Cogn. Sci*. 2012;16(2):129–135. DOI: 10.1016/j.tics.2011.11.014.

56. Ivry RB, Schlerf JE. Dedicated and intrinsic models of time perception. *Trends Cogn. Sci.* 2008;12(7):273–280. DOI: 10.1016/j.tics.2008.04.002.
57. Alavash M, Tune S, Obleser J. Dynamic large-scale connectivity of intrinsic cortical oscillations supports adaptive listening in challenging conditions. *PLoS Biol.* 2021;19(10):e3001410. DOI: 10.1371/journal.pbio.3001410.
58. Liu H, Hu Z, Guo T, Peng D. Speaking words in two languages with one brain: Neural overlap and dissociation. *Brain Research.* 2010;1316:75–82. DOI: 10.1016/j.brainres.2009.12.030.
59. Smets EMA, Garssen B, Cull A, De Haes JCJM. Application of the multidimensional fatigue inventory (MFI-20) in cancer patients receiving radiotherapy. *British Journal of Cancer.* 1996;73(2): 241–245. DOI: 10.1038/bjc.1996.42.
60. Lee KA, Hicks G, Nino-Murcia G. Validity and reliability of a scale to assess fatigue. *Psychiatry Research.* 1991;36(3):291–298. DOI: 10.1016/0165-1781(91)90027-M.
61. Sato SD, Choi JT. Corticospinal drive is associated with temporal walking adaptation in both healthy young and older adults. *Front. Aging Neurosci.* 2022;14:920475. DOI: 10.3389/fnagi.2022.920475.
62. Hoonakker P, Carayon P, Gurses AP, Brown R, Khunlertkit A, McGuire K, Walker JM. Measuring workload of ICU nurses with a questionnaire survey: the NASA Task Load Index (TLX). *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering.* 2011;1(2):131–143. DOI: 10.1080/19488300.2011.609524.
63. Mouzé-Amady M, Raufaste E, Prade H, Meyer JP. Fuzzy-TLX: using fuzzy integrals for evaluating human mental workload with NASA-Task Load index in laboratory and field studies. *Ergonomics.* 2013;56(5):752–763. DOI: 10.1080/00140139.2013.776702.
64. Said S, Gozdzik M, Roche TR, Braun J, Rössler J, Kaserer A, Spahn DR, Nöthiger CB, Tscholl DW. Validation of the raw National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA-TLX) questionnaire to assess perceived workload in patient monitoring tasks: Pooled analysis study using mixed models. *J. Med. Internet Res.* 2020;22(9):e19472. DOI: 10.2196/19472.
65. English Vocabulary Level Test [Electronic resource]. Oxford Online English; 2011. Available from: <https://www.oxfordonlineenglish.com/english-level-test/vocabulary>.
66. Gentilucci M, Bernardis P, Crisi G, Dalla Volta R. Repetitive transcranial magnetic stimulation of Broca's area affects verbal responses to gesture observation. *Journal of Cognitive Neuroscience.* 2006;18(7):1059–1074. DOI: 10.1162/jocn.2006.18.7.1059.



Писарчик Александр Николаевич — кандидат физико-математических наук, профессор. Ведущий научный сотрудник Центра биомедицинских технологий Политехнического университета Мадрида, руководитель проекта по нейролингвистике Балтийского федерального университета. Научные интересы – нейронаука, теория хаоса, синхронизация, мультистабильность, стохастические процессы и перемежаемость, с приложениями к электронным, оптическим и биомедицинским системам. Автор 5 монографий, 17 глав книг, 10 патентов и более 280 статей в рецензируемых научных журналах. Под его руководством успешно защищено 10 диссертаций (Ph.D.) и завершено 30 научно-исследовательских проектов, в том числе Российского научного фонда. Является членом правления Международного общества физики и контроля (IPACS), Консорциума биомедицинских исследований в сети (CYBER, Испания), а также Европейского, Итальянского и Мексиканского физических обществ.

Россия, 236016 Калининград, ул. А. Невского, 14
 Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
 España, 28040 Madrid, P Juan XXIII, 11
 Universidad Politécnica de Madrid
 E-mail: alexander.pisarchik@ctb.upm.es
 ORCID: 0000-0003-4228-9124
 AuthorID (eLibrary.Ru): 651344

Хорев Владимир Сергеевич — родился в Гомеле (1987). Окончил факультет нано- и биомедицинских технологий Саратовского государственного университета по направлению «Биомедицинская инженерия» (2011). Защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук на тему «Оценка запаздывания и связи между колебательными системами по временным рядам в задачах радиофизики и биофизики» по специальностям «Биофизика» и «Радиофизика» (2015, СГУ). С 2019 года работает в лаборатории нейронауки и когнитивных технологий университета Иннополис в должности старшего научного сотрудника, с 2022 года — в Балтийском федеральном университете им. И. Канта. Научные интересы — анализ временных рядов, нейронаука, математическое моделирование. Опубликовал свыше 30 научных статей по указанным направлениям.



Россия, 236016 Калининград, ул. А. Невского, 14
Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
E-mail: khorevvs@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6613-8940
AuthorID (eLibrary.Ru): 679618

Бадарин Артем Александрович — окончил с отличием магистратуру факультета нелинейных процессов СГУ (2017). Защитил кандидатскую диссертацию по специальностям «Радиофизика» и «Физическая электроника» (2020). Область научных интересов — математическое моделирование, нейронаука, нейронные сети, нелинейная динамика. Автор более 50 научных публикаций в центральных реферируемых отечественных и зарубежных научных журналах, индексируемых в Scopus/Web of Science (в том числе Sensors, Results in Physics, IEEE Transactions on Electron Devices, Physics of Plasmas и др.), ряда свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и патентов.



Россия, 236016 Калининград, ул. А. Невского, 14
Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
E-mail: badarin93@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3212-5890
AuthorID (eLibrary.Ru): 898302

Антипов Владимир Михайлович — окончил с отличием магистратуру Естественно научного факультета ЮЗГУ (2019). Научные интересы: исследование различных видов взаимодействия человека и экзоскелетных систем, взаимодействия стопы человека с опорной поверхностью с помощью тензорезистивных матриц давления, вопросов движения роботов по неровным опорным поверхностям; моделирование и симуляции различных робототехнических систем в программном пакете V-REP. Опубликовал более 15 работ. Является победителем в конкурсной программе «Умник — Цифровая Россия».



Россия, 236016 Калининград, ул. А. Невского, 14
Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
E-mail: vantipovm@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3212-5890
AuthorID (eLibrary.Ru): 1033158

Бударина Анна Олеговна — с отличием окончила филологический факультет Калининградского государственного университета с присвоением квалификации «Филолог. Преподаватель английского языка. Переводчик» (1996). Кандидат педагогических наук (2001), доктор педагогических наук (2011), профессор (2018). В настоящее время — руководитель образовательно-научного кластера «Институт образования и гуманитарных наук» Балтийского федерального университета имени И. Канта. Научные интересы — теория и методика профессионального лингвистического образования, межкультурная коммуникация, проектирование образовательных сред, проблемы лингводидактического тестирования. Автор 5 монографий и более 80 публикаций в рецензируемых научных журналах. Под ее руководством успешно защищено 6 кандидатских и 1 докторская диссертации.



Россия, 236016 Калининград, ул. А. Невского, 14
Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
E-mail: ABudarina@kantiana.ru
ORCID: 0000-0001-8878-7183
AuthorID (eLibrary.Ru): 281132



Храмов Александр Евгеньевич — окончил физический факультет Саратовского государственного университета (кафедра электроники и волновых процессов, 1996). Кандидат физико-математических наук (1999), доктор физико-математических наук (2005), профессор. В настоящее время главный научный сотрудник Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта Балтийского федерального университета имени И. Канта. Научные интересы — нейронаука, теория сложных сетей, математическое моделирование нейронных сетей, искусственный интеллект. Автор 7 монографий, более 30 патентов и 200 статей в рецензируемых научных журналах. Под его руководством успешно защищено 16 кандидатских и 3 докторские диссертации, завершено более 25 научно-исследовательских проектов. Является членом правления Международного общества физики и контроля (IPACS), членом Японского нейронаучного сообщества, IEEE.

Россия, 236016 Калининград, ул. А. Невского, 14
Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
E-mail: hramovae@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2787-2530
AuthorID (eLibrary.Ru): 34834