

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.340.06, СОЗДАННОГО  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НИЖЕГОРОДСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 24.04.2025 г. № 9

О присуждении Савосенкову Андрею Олеговичу, гражданину России, ученой степени кандидата биологических наук.

**Диссертация** «Влияние транскраниальной магнитной стимуляции коры головного мозга на функциональные нейронные сети в задачах сенсомоторной интеграции» по специальности 1.5.5. — физиология человека и животных принята к защите 06.02.2025 г., протокол № 4, диссертационным советом 24.2.340.06, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, приказ Минобрнауки РФ от 14 октября 2016 года № 1256/нк).

**Соискатель**, Савосенков Андрей Олегович, 24.12.1995 года рождения, в 2023 г. окончил аспирантуру ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» по направлению подготовки «06.06.01 – Биологические науки». Диплом об образовании № 105204 0050299, регистрационный номер 18/37-14 выдан 02 октября 2023 года Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского». Сдал кандидатские экзамены по специальности 1.5.5. – физиология

человека и животных (биологические науки). Справка о сдаче кандидатских экзаменов №067/А от 22.10.2024 г. выдана ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского».

В период подготовки диссертации соискатель А.О. Савосенков работал с 2019 по 2024 годы в должности младшего научного сотрудника в научно-исследовательской лаборатории нейродинамики и когнитивных технологий Научно-исследовательского института Нейронаук ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского», с августа 2024 г. в должности старшего научного сотрудника центра нейроморфных вычислений автономной некоммерческой организации «Неймарк».

Диссертация Савосенкова Андрея Олеговича «Влияние транскраниальной магнитной стимуляции коры головного мозга на функциональные нейронные сети в задачах сенсомоторной интеграции» выполнена на базе кафедры нейротехнологий Института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского», и была рекомендована к защите на расширенном заседании кафедры нейротехнологий 03.12.2024г.

Научный руководитель – **Гордлеева Сусанна Юрьевна** – доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры нейротехнологий Института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского».

#### **Официальные оппоненты:**

**Тулупов Андрей Александрович** – д.м.н., профессор РАН, член-корреспондент РАН по специальности «Лучевая диагностика, ядерная медицина», доцент ВАК по специальности «Лучевая диагностика, лучевая терапия», главный научный сотрудник, заведующий лабораторией «МРТ Технологии» МТЦ СО РАН»,

**Ушаков Вадим Леонидович** – к.б.н., доцент, ведущий научный сотрудник института перспективных исследований мозга Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»

дали положительные отзывы на диссертацию.

В положительном отзыве официального оппонента д.м.н., **Тулупова Андрея Александровича**, отмечается, что тематика работы отличается высокой степенью актуальности и научной значимости, так как направлена на исследование механизмов нейропластичности, моторных и когнитивных функций, что имеет огромное значение для диагностики и реабилитации пациентов с нарушениями центральной нервной системы. Исследования в области нейровизуализации и модуляции активности головного мозга имеют большое практическое значение, так как применение современных методов анализа электроэнцефалограмм и эффективных протоколов неинвазивного воздействия на центры функциональных нейронных сетей способствует детальному пониманию взаимодействия нейрональных структур при формировании двигательного акта. В связи с этим, сформулированная автором цель исследования является чрезвычайно актуальной и современной с точки зрения физиологической науки и различных аспектов нейронаук. Отмечается, что структура и объем диссертации соответствуют требованиям, а работа производит впечатление высокопрофессионального научного исследования. В ходе выполнения работы были получены новые данные, которые, несомненно, внесут вклад в развитие современных методов нейрофизиологии.

Несмотря на то, что принципиальных замечаний к диссертационному исследованию нет, при изучении работы возник ряд вопросов, требующих пояснения и дискуссии:

1. Обращает на себя внимание неполное соответствие поставленных задач (2 шт.) полученным выводам (4 шт.), а также излишняя многословность выводов. Высказанное замечание не носит принципиальный характер.

2. Для анализа нейрональной активности в своей работе Вы использовали преимущественно метод электроэнцефалографии. Проводили ли Вы сравнение полученных результатов с данными функциональной магнитно-резонансной томографии или, например – с данными функциональной ближней инфракрасной спектроскопии (fNIRS). Если нет – то укажите как этот вопрос изучен другими группами исследователей в доступной литературе.

3. После изучения работы возник вопрос о роли и месте электроэнцефалографии в изучении нейронных сетей головного мозга среди всего спектра методов инструментальной диагностики. В настоящее время, при соответствующем уровне развития науки и техники, сможет ли ЭЭГ в каких-либо случаях полностью заменить

другие современные методики исследования функциональной активности головного мозга (фМРТ, fNIRS и др.) и остаться «золотым стандартом» при фундаментальных исследованиях головного мозга и/или при клинической диагностике различных нейропатологий?

Диссертационная работа Савосенкова А.О. на тему «Влияние транскраниальной магнитной стимуляции коры головного мозга на функциональные нейронные сети в задачах сенсомоторной интеграции» является самостоятельным законченным научно-квалификационным трудом, выполненном на высоком методическом уровне, в котором содержится решение научно-практической задачи по изучению функционального состояния вещества головного мозга при транскраниальной магнитной стимуляции, что имеет большое значение для фундаментальных и прикладных задач физиологии.

Считаю, что диссертационная работа Савосенкова Андрея Олеговича соответствует современным требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК (утв. постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 – Физиология человека и животных.

В положительном отзыве официального оппонента к.б.н., **Ушакова Вадима Леонидовича**, отмечается, что диссертационная работа А.О. Савосенкова посвящена одной из актуальных тем современных нейрокогнитивных исследований – создание неинвазивных методов реорганизации функциональных систем головного мозга, что имеет важное практическое значение в области медицины, диагностики, реабилитационных процедур, фундаментальных нейрофизиологических исследованиях и биоуправлении. В работе получены достаточно интересные данные по пластичности нейрональных систем головного мозга в задачах управления на основе метода транскраниальной магнитной стимуляцией. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, следует из выполненной на высоком уровне, согласно поставленным целям и задачам, экспериментальной работы, проведенному статистическому анализу, хорошему обсуждению полученных результатов, четкого понимания ограничений предложенных подходов.

Все поставленные в рамках темы задачи выполнены автором в полной мере. К недостаткам работы можно отнести следующее:

1. В работе проводилось вычисление индекса значения фазовой синхронизации PLV (phase locking value) для оценки синхронизации нейросетей. При предварительной обработке ЭЭГ данных применялся фильтр Баттерворта, который может вносить в фазовую составляющую некоторые искажения. Необходимо пояснение – почему для ЭЭГ данных не использовался FIR фильтр. Как проводился учет вклада в результаты объемной проводимости и сколько процентов синхронности можно было объяснить за счет этого? Как рассчитывался коэффициент PLV для тета диапазона, если в диапазон входит множество частот от 4 до 8 Гц.

2. Необходимо пояснение – почему, например, на стр. 47 в диссертации приводится погрешность с тремя значащими цифрами -  $20.93 \pm 2.14$ . Правильнее приводить одну или две. Или зачем пять значимых цифр в таблице 2.

3. Необходимо пояснение как на стр. 46 и 57 рассчитывался индекс связности между зонами на основе парцелляции с использованием атласа мозга AAL. На стр. 46 указано “Таким образом, для восстановления функциональной сети сначала определяется матрица связей между всеми узлами (диполями) в объеме мозга. Затем проводится процедура парцелляции с использованием атласа мозга AAL, в результате чего получается матрица с размерностью 116x116, которая содержит меры функциональных связей между 116 анатомическими областями мозга.” Сигнал от зоны получался усреднением по узлам? Не ясно, насколько однороден был индекс связности узлов, входящих в две зоны интереса по атласу AAL при расчетах значений ячеек в матрице 116x116.

4. Контролировались ли объективно помимо записи ЭМГ микродвижения пальцев руки в задаче квазидвижений.

5. Из материалов и методов не совсем понятно, что автор подразумевает под значением коэффициента кластеризации – локальный, глобальный, средний или другой. Также нет пояснения про какой коэффициент центральности идет речь в результатах, как он рассчитывался. Что подразумевается под коэффициентом эффективности сети?

6. Необходимо пояснение на стр. 48 - какие инструкции давались испытуемому при записи фоновой активности мозга (BGR) и при записи состояния отдыха (Rest).

7. В ходе работы исследовались изменения в мощности ритмов по разным структурам мозга, не совсем понятно - почему авторы тогда не применяли метод кросс-частотных взаимодействий для анализа данных.

8. Данные, приведенные на рисунках 17 и 18, противоречат друг другу. На рисунке 17 показано увеличение альфа-ритма в лобных отделах, а на рисунке 18 показано его снижение для лобных отделов. Необходимо пояснение.

9. На стр. 84 также есть противоречие в знаке корреляции, что он положителен, поскольку далее по тексту он везде отрицателен. – “Наиболее сильная корреляция коэффициента кластеризации с ДПР была обнаружена для правой префронтальной коры, при этом она имеет положительный знак. Таким образом, полученный результат на уровне функциональной сети подтверждает правильность выбора данной зоны в качестве целевой для ТМС. Знак корреляции объясняется тем, что ДЛПФК является важным хабом сети пассивного режима работы мозга, поэтому скорость классификации неоднозначных изображений положительно коррелирует с интенсивностью деактивации данной сети, при которой коэффициент кластеризации понижается (деактивация сети приводит к ослаблению связей между ее хабами и, как следствие, к уменьшению коэффициента кластеризации). Результаты были получены для альфа-диапазона частот.”

10. Необходимо пояснение – почему в положении 2 именно в правом предклинье (Precuneus\_R) происходит изменение в тета-диапазоне мощности ЭЭГ после ТМС левой дорсолатеральной префронтальной коры. Какова роль левого предклинья (Precuneus\_L) в этих процессах. Связано ли это с ведущей или экспериментальной рукой? Или данная асимметрия связана с недостаточной статистикой? В литературном обзоре на стр. 21, 25 указано, что активация структур головного мозга при воображаемом движении в основном симметрична, при этом для левого полушария она выглядит гораздо больше на рисунке 1А. Данные на рисунке 12А свидетельствуют об эффекте в обоих полушариях мозга.

11. В положении 3 не совсем корректна формулировка - про увеличение в каком частотном диапазоне мощности ЭЭГ для правой дорсолатеральной префронтальной коре идет речь? Иногда используется термин спектральная мощность, а иногда мощность – это одно и то же?

Диссертация Савосенкова Андрея Олеговича представляет собой целостную научную работу, выполненную автором самостоятельно. Она посвящена рассмотрению

механизмов функционирования нейронной сети головного мозга человека при выполнении задач на воспроизведение моторного образа и обработку сенсорной визуальной информации и влияния, возбуждающей ритмической транскраниальной магнитной стимуляции на свойства функциональных систем. Актуальность работы не вызывает сомнений. Диссертационная работа полностью удовлетворяет критериям, установленным пунктами 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертации на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, Савосенков Андрей Олегович, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата биологических наук по научной специальности 1.5.5 – Физиология человека и животных.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук», в своем положительном отзыве, подписанном д.б.н., директором Малышевым Алексеем Юрьевичем; к.б.н., зав. Лабораторией высшей нервной деятельности человека Мартыновой Ольгой Владимировной, указывает, что диссертационная работа Савосенкова Андрея Олеговича посвящена исследованию механизмов активации функциональных сетей головного мозга человека во время когнитивных задач на сенсорное восприятие и организацию движения. Также в работе исследованы функциональные изменения нейрофизиологических характеристик двигательной активности человека, вызванные высокочастотной ритмической транскраниальной магнитной стимуляцией (рТМС) локализованных источников активности головного мозга. Диссертация затрагивает актуальную тему выявления механизмов организации функциональных нейронных сетей, формирующихся в процессе выполнения когнитивных задач и их реорганизации под внешним модулирующим воздействием. Работа дополняет знания в области нейрофизиологии о процессах обучения человека при выполнении когнитивных задач на примере задач классификации неоднозначных визуальных стимулов и формирования моторного образа, демонстрируя эффекты влияния неинвазивных методов стимуляции нейронных сетей с помощью рТМС на изменение скорости принятия решения и функциональной связности в мозге.

Достоверность представленных данных подтверждается использованием стандартных методов регистрации электрофизиологической активности и апробированных протоколов стимуляции рТМС, а также современных и подтвержденных

методик нейровизуализации и статистической обработкой результатов. Основные результаты работы были апробированы в ходе участия в международных конференциях. Также, по материалам диссертации, опубликовано 15 печатных работ. Таким образом, диссертация представляет собой значимый вклад в области нейрофизиологии, предлагая новые подходы к улучшению когнитивных и моторных функций человека.

Несколько замечаний к описанию методов и результатов исследований в рамках диссертационной работы:

1. Так как основные результаты показаны по диапазону 8-14 (10-14 Гц), в работе нет четкого определения сенсомоторного ритма, десинхронизация которого связывается с совершением движения и/или представлением движения – а именно, мю-ритма в ЭЭГ. Автор несколько раз в методике упоминает про мю-ритм, но в литературном обзоре и в результатах большей частью пишет про альфа-диапазон. Хотя альфа и мю-ритмы пересекаются по частотам, существуют различные подходы по выделению мю-ритма из альфа-диапазона, которые можно было бы учесть или хотя бы обсудить в ограничениях исследования.

2. В выборе областей интереса для определения выявленных эффектов изменения мощности, вызванных ТМС, хотелось бы видеть более детальное обоснование выбора правого предклинья (precuneus R). Область выбиралась как локальных максимум (минимум) t-значения разницы мощности сигнала на уровне источника в престоимом интервале между первой и второй задачами воспроизведения двигательного образа для рТМС, однако исходя из рисунка 12 можно предположить, что достоверные различия наблюдались практически во всей затылочной коре с минимальной межполушарной асимметрией.

3. В главе методы недостаточно детально прописаны параметры пермутационного кластерного теста, например, сколько пермутаций- перестановок было, как подбирался кластерный порог и p-value – статистическая вероятность достоверных различий.

4. Также рисунки с результатами пермутационного теста отражают t-значения, но не отражают распределение p-value. Вероятнее всего выделенные каналы проходят порог по вероятности ошибки перового рода, однако в подписях к рисункам это не указано.

Указанные замечания не ставят под сомнение достоверность полученных Савосенковым А.О. результатов и не опровергают основных положений диссертации.



На основании вышесказанного можно заключить, что диссертация Савосенкова Андрея Олеговича соответствует требованиям, предъявленным к кандидатским диссертациям по действующему «Положению о порядке присуждения учёных степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 – Физиология человека и животных.

**Соискатель** имеет 15 опубликованных научных работ по теме диссертации: 4 статьи в рецензируемых журналах, индексируемых аналитическими базами Scopus, Web of Science и RSCI, 2 патента на изобретение, 3 свидетельства на программу ЭВМ и 6 тезисов в сборниках докладов научных конференций.

Опубликованные работы посвящены исследованию процессов сенсомоторной интеграции, выявлению функциональных нейронных сетей в задачах принятия решения, выявлению сетевых характеристик после воздействия высокочастотной транскраниальной магнитной стимуляции. Опубликованные работы в полной мере отражают результаты диссертационного исследования.

Недостовверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, в диссертации А.О. Савосенкова отсутствуют.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Drapkina O., Savosenkov A., Gordleeva S., Kurkin S., Badarin A., Grigorev N., Udoratina A., Kiselev A., Kazantsev V. & Hramov A. Characteristics of the specific brain functional network correlate with the latency of motor imagery //The European Physical Journal Special Topics. – 2023. – С. 1-10.
2. Kurkin S., Gordleeva S., Savosenkov A., Grigorev N., Smirnov N., Grubov V. V., Udoratina A., Maksimenko V., Kazantsev V. & Hramov A. E. Transcranial magnetic stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex increases posterior theta rhythm and reduces latency of motor imagery //Sensors. – 2023. – Т. 23. – №. 10. – С. 4661.
3. Kuc A., Maksimenko V., Savosenkov A., Grigorev N., Grubov V., Badarin A., Gordleeva S.Yu., Kazantsev V. & Hramov A. Studying perceptual bias in favor of the from-above Necker cube perspective in a goal-directed behavior //Frontiers in Psychology. – 2023. – Т. 14. – С. 1160605.

4. Batmanova A., Kuc A., Maksimenko V., Savosenkov A., Grigorev N., Gordleeva S., Kazantsev V., Korchagin S. & Hramov A. E. Predicting perceptual decision-making errors using EEG and machine learning //Mathematics. – 2022. – Т. 10. – №. 17. – С. 3153.

**На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов, все положительные.** В отзывах указывается, что представляемая работа характеризуется высоким теоретическим и экспериментальным уровнем, по своей новизне и актуальности имеет большое научное и практическое значение, соответствует требованиям Высшей аттестационной комиссии. Отзывы получены из:

1. Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации от к.м.н., доцента кафедры неврологии и нейрохирургии **Захарова Александра Владимировича**. В отзыве отмечается, что продемонстрирована методологическая и экспериментальная состоятельность автора, а также значительный научный вклад в понимание механизмов нейрофизиологических процессов, лежащих в основе сенсомоторной интеграции и когнитивного контроля. Использование автором современных методов анализа ЭЭГ и высокоточной навигационной ТМС, а также количественные методы анализа данных подтверждают достоверность полученных выводов. В отзыве присутствуют некоторые замечания и вопросы:

1. В автореферате упоминается использование метода eLORETA для решения обратной задачи локализации источников нейронной активности. Насколько чувствителен данный метод к индивидуальным анатомическим особенностям мозга и насколько значимо это может повлиять на общие результаты исследования?

2. Как была проведена верификация отсутствия артефактов, связанных с индивидуальными физиологическими особенностями испытуемых, помимо применения анализа независимых компонент?

3. Автором показано значительное влияние ТМС на скорость принятия решений. Как долго сохраняется данный эффект после окончания стимуляции и проводились ли оценки долговременных изменений в активности мозга?

4. Планируется ли дальнейшее исследование выявленных функциональных сетей на других когнитивных задачах с целью подтверждения универсальности полученных результатов?

В отзыве указывается, что на основании автореферата диссертационная работа производит положительное впечатление и характеризуется высоким уровнем научной новизны, методологической проработанностью и практической значимостью полученных результатов. Выводы обоснованы достаточным количеством экспериментальных данных и статистическим анализом. Автор работы заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 - физиология человека и животных.

2. Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», от д.б.н., профессора, зав. Лабораторией нейрофизиологии и нейрокомпьютерных интерфейсов биологического факультета **Каплана Александра Яковлевича**. В отзыве отмечается, что работа имеет высокую научно-практическую значимость работы, так как ее результаты определенно могут использоваться при разработке нейрокогнитивных тренажеров, а также в области медицинской реабилитации, а также для диагностики нарушений когнитивно- эмоциональной сферы. Помещенные в автореферат выводы по диссертации вытекают из результатов исследования и соответствуют положениям, вынесенным на защиту. В отзыве указано, что диссертационная работа Савосенкова Андрея Олеговича «Влияние транскраниальной магнитной стимуляции коры головного мозга на функциональные нейронные сети в задачах сенсомоторной интеграции», является завершенной научно квалификационной работой, которая по своей актуальности, методическому обеспечению, новизне, научному и практическому значению, степени апробации и полноте изложения в рецензируемых научных изданиях полностью отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5. - физиология человека и животных.

3. Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», от д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой динамического моделирования и биомедицинской инженерии **Каравая Анатолия Сергеевича**. В отзыве указывается, что достоинством работы является тщательное рассмотрение актуальных вопросов нейрофизиологии и нейропсихологии, связанных с управлением функциональными нейронными сетями. Автореферат подробно

описывает эксперименты, проведенные для выявления конкретных областей мозга, отвечающих за различные аспекты сенсомоторной интеграции, и предлагает инновационные методы для их модификации с помощью ТМС. Автореферат написан ясным и понятным языком, соответствие тематики и результатов работы заявленной специальности не вызывает сомнений. На основании представленного автореферата диссертационная работа Андрея Олеговича Савосенкова является законченным и целостным научным исследованием, выполненным на актуальную тематику. Считаю, что диссертация Андрея Олеговича Савосенкова удовлетворяет всем требованиям пп. 9-11, 13-14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013, № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 – Физиология человека и животных.

4. Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», от д.ф.-м.н., главного научного сотрудника ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» **Куркина Семена Андреевича** и д.ф.-м.н., главного научного сотрудника ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» **Хрямова Александра Евгеньевича**. В отзыве отмечается, что значимость работы заключается в использовании современных математических методов и эффективных протоколов неинвазивного воздействия на головной мозг человека для последующей разработки практических нейрореабилитационных подходов. Также в отзыве указывается, что Савосенковым А.О. было проведено цельное исследование и получены важные для области знаний результаты, а автор диссертационной работы заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 - Физиология человека и животных.

5. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, от д.б.н., профессора, главного научного сотрудника лаборатории нейротехнологий **Лебедева Михаила Альбертовича**. В отзыве указывается, что работа вносит значимый вклад в понимание динамики функциональных нейронных сетей при выполнении когнитивных и моторных задач, что критически важно для разработки протоколов неинвазивной стимуляции, направленной на улучшение реабилитационных процедур для

пациентов с двигательными нарушениями и создания универсальных методов нейростимуляции для операторов сложных систем (пилотов, авиадиспетчеров и т.д.). Вопросы и замечания к работе:

1. В автореферате не полностью раскрыты ограничения исследования, такие как возможные индивидуальные различия в реакции на ТМС у испытуемых.

2. Возникает вопрос о долгосрочности эффектов ТМС: сохраняются ли изменения в функциональных сетях после прекращения стимуляции?

3. Необходимо уточнить, как результаты работы могут быть адаптированы для пациентов с нейродегенеративными заболеваниями или последствиями инсульта.

Тем не менее, на основании автореферата диссертационная работа производит положительное впечатление. Автор продемонстрировал глубокое понимание темы, владение современными методами исследования и умение интерпретировать полученные результаты. Работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её результаты имеют значительный потенциал для практического применения. Савосенков Андрей Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 – Физиология человека и животных.

6. Института когнитивных нейронаук Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», от Ph.D, директора центра нейроэкономики и когнитивных исследований **Шестаковой Анны Николаевны**. В отзыве упоминается, что работа обусловлена комплексным подходом к изучению нейродинамических процессов, связанных с формированием моторных образов и обработкой сенсорной информации. Автореферат составлен на высоком профессиональном уровне, отличается четкостью изложения и логичной структурой. В отзыве также указывается, что диссертационное исследование Савосенкова А.О. представляет собой завершённую научную работу, соответствующую всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Полученные результаты полностью соответствуют паспорту заявленной специальности и обладают хорошим заделом для дальнейших исследований в данной области. В связи с чем, Савосенков Андрей Олегович заслуживает присвоения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 – Физиология человека и животных.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их соответствием критериям требований, изложенных в пп. 22 и 24 «Положения о

присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842: являются компетентными по заявленной в диссертации соискателя специальности, имеют профильные публикации по проблеме диссертационного исследования и способны объективно оценивать актуальность темы диссертации, а также достоверность, теоретическую значимость и научно-практическую ценность полученных в работе результатов (сведения о них размещены на официальном сайте ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»: <https://diss.unn.ru/1524>).

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** экспериментальная методика оценки динамики функциональных нейронных сетей мозга при формировании моторного образа и классификации неоднозначных изображений с использованием методов ЭЭГ, ТМС и математического анализа, обогащающая подходы к исследованию функциональных нейронных сетей головного мозга человека, позволившая выявить новые закономерности взаимодействия в различных фазах выполнения задачи и в ответ на внешнее модулирующее воздействие;

**предложен** оригинальный подход к оценке изменений топологии функциональных сетей после возбуждающей ритмической ТМС;

**доказана** возможность использования возбуждающей ритмической транскраниальной магнитной стимуляции как инструмента модуляции когнитивных сетей в задаче классификации неоднозначных изображений, а также устойчивых связей между динамикой альфа/тета ритмов и временными характеристиками принятия решения в задачах моторного воображения;

**введены** новые трактовки функционального значения префронтально-париетальных взаимодействий при выполнении когнитивных задач.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны** методики, расширяющие представления о временной и пространственной динамике функциональных связей в мозге человека при выполнении двигательных и когнитивных задач. А также эффективные методики нейростимуляции с использованием ритмической ТМС;

**Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс методов:** восстановления источников активности (на примере методов

eLORETA и PCC) по ЭЭГ-записям, PLV-анализ, вейвлет-преобразование Морле, парцелляция по AAL и статистика на основе перестановочных кластерных тестов;

**изложены** положения о влиянии возбуждающей ритмической ТМС на участки дорсолатеральной префронтальной коры головного мозга, влиянии локального увеличения мощности ЭЭГ-сигнала на скорость принятия решения в задаче обработки сенсорной информации и формирования двигательного образа;

**раскрыты** особенности взаимодействия кортикальных структур головного мозга человека до и после воздействия высокочастотной ритмической ТМС;

**изучены** изменения в функциональных связях нейронных сетей головного мозга человека, после воздействия высокочастотной ритмической транскраниальной магнитной стимуляции;

**проведена модернизация** процедур анализа электрической активности мозга на уровне источников и адаптация сетевого анализа для когнитивных задач.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** новые универсальные методики управления функциональными сетями в головном мозге человека, формирующихся при выполнении когнитивных задач с возможностью последующего применения для тренировки операторов, выполняющих рутинные задачи, требующие высокой концентрации, разработки эффективных интерфейсов мозг-компьютер для постинсультной реабилитации, а также интерфейсов, позволяющих в реальном времени осуществлять мониторинг и управление когнитивной активностью человека;

**определены** пределы и перспективы практического использования предложенных подходов по изучению механизмов функционирования нейронной сети головного мозга человека при выполнении задач на воспроизведение моторного образа и обработку сенсорной информации;

**представлены** методические рекомендации по использованию показателей фазовой синхронности и графовых метрик в когнитивных и клинических исследованиях.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** результаты получены на сертифицированном ЭЭГ-оборудовании, с использованием валидированных алгоритмов восстановления

источников активности (eLORETA), воспроизводимость результатов подтверждена межсубъектной устойчивостью эффектов;

**теория** построена на проверяемых, опубликованных данных о функциональной архитектуре мозга, согласуется с экспериментальными данными других исследований, проведенных с применением методов fMPT и fNIRS в когнитивные исследования;

**идея базируется** на анализе мировой практики и обобщении передового опыта о закономерностях взаимодействия функциональных нейронных сетей, особенностях неинвазивного воздействия на головной мозг человека;

**использованы** применительно к изучаемой проблематике диссертации стандартные базовые методы регистрации и обработки ЭЭГ, а также статистического анализа экспериментальных данных;

**установлено**, что результаты работы согласуются с данными других авторов, представленных в независимых источниках по исследуемой тематике, дополняют и расширяют их, объем исследования достаточен для получения детальной и объективной информации, необходимой для обоснования выводов.

**Личный вклад соискателя состоит** в непосредственном участии в проведении работы на всех этапах её выполнения, включая разработку экспериментального протокола, постановку задач, планирование и проведение экспериментальных исследований, статистическую обработку данных, анализ и обобщение результатов, подготовку и публикацию статей и докладов, представлении результатов работы на российских и международных конференциях.

Диссертация является целостным, законченным научным исследованием, охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критериям внутреннего единства, что подтверждается четкой логикой и соответствующей содержанию работы структурой исследования, формулировками цели работы и выводов на основании полученных результатов. Диссертация соответствует требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Одной из задач было извлечение из памяти кинестетического образа. Каким образом это можно было верифицировать?



2. В работе был использован магнитный стимулятор стандартных габаритов. Не пробовали ли Вы использовать устройство, которое дает более узкое или широкое поле и насколько это может повлиять на результаты?

3. Проводили ли в работе анализ дельта ритма? Сравнивали ли Вы левополушарных и правополушарных людей и разграничивали ли выборку по этому показателю?

4. Применяется ли ТМС еще для каких-либо целей?

Соискатель Савосенков А.О. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, указав, что:

1. Единственным способом, который был использован для оценки того, что человек выполнял формирование кинестетического образа, была оценка уровня десинхронизации мю-ритма. А именно сравнение амплитуд ритма в престоимом интервале задачи и во время выполнения задачи воображения движений. Десинхронизация наблюдалась на контралатеральных электродах, относительно выполняемого движения.

2. Если говорить о способах стимуляции с узким полем, то из неинвазивных методик – транскраниальная магнитная стимуляция, благодаря возможности применения разных индукторов, которые фокусируют поле, является самым перспективным методом для локальной стимуляции, поскольку стимулируется группа нейронов в объеме 2-3 кубических миллиметров. Более локальными могут быть только инвазивные методы. К методам, которые могут быть использованы для стимуляции более широкого поля, относится, например, транскраниальная электрическая стимуляция. Эффективность данной методики стимуляции продемонстрирована в разнообразных задачах и научных работах, но в нашей применялась только транскраниальная магнитная стимуляция.

3. В данной работе анализ дельта ритма не проводили, поскольку он ассоциирован с фазами сна. Что касается разделения выборки по полушарной асимметрии, то такой подход не применялся. Также стоит заметить, что концепция правополушарных и левополушарных людей достаточно спорная и в научных исследованиях не применяется, поэтому в данной работе также не осуществлялось разделения на группы.

4. Транскраниальная магнитная стимуляция применяется как способ лечения различных неврологических заболеваний и психических состояний. Данный метод был впервые одобрен в США, а также применяется в медицинских центрах России как метод

лечения медикаментозно-резистентной депрессии. Лечение включает курс из нескольких сеансов, иногда до 30 и после завершения терапии постэффект может сохраняться до года.

На заседании 24 апреля 2025 года диссертационный совет принял решение за исследование влияния транскраниальной магнитной стимуляции коры головного мозга на функциональные нейронные сети в задачах сенсомоторной интеграции, что имеет важное значение для развития физиологии, присудить Савосенкову Андрею Олеговичу ученую степень кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 – физиология человека и животных.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.5.5 – физиология человека и животных, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета; дополнительно введены на разовую защиту 0 человек; проголосовали: за 15, против 1, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета



Воденеев Владимир Анатольевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Черкасова Елена Игоревна

24 апреля 2025 года