

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора биологических наук
Мачинской Регины Ильиничны на диссертацию Адамовича Тимофея
Валерьевича «Топологические особенности функциональных сетей мозга как
фактор индивидуальных различий в когнитивных способностях»,
представленную на соискание ученой степени кандидата психологических наук
по специальности 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных
процессов (психологические науки)

Диссертация Т. В. Адамовича посвящена одной из наиболее актуальных для современной когнитивной нейронауки проблем – выявлению параметров функциональной организации мозга в покое и в процессе когнитивной деятельности, которые связаны с индивидуальными различиями в когнитивных способностях. Методологической основой исследования является представление о системной организации работы мозга и распределенной нейронной сети как биологической основе когнитивной деятельности. Диссертационное исследование концентрируется на двух важных как в теоретическом, так и в практическом плане аспектах изучения функциональной мозговой организации когнитивных процессов: (1) на поиске наиболее точных и валидных инструментов оценки взаимодействий в нейронных сетях, основанных на численном анализе ритмической электрической активности коры головного мозга – электроэнцефалограммы (ЭЭГ); (2) на исследовании связи между ЭЭГ параметрами функциональной сетевой организации мозга и индивидуальными характеристиками эффективности когнитивной деятельности у взрослых испытуемых. В качестве основного метода анализа сетевых взаимодействий в состоянии покоя и при когнитивной деятельности в работе используется аппарат теории графов, который позволяет количественно характеризовать такие свойства нейронных сетей как сегрегацию и интеграцию. В обзорной главе (параграф 1.3) работы подробно анализируются основные метрики аппарата теории графов с точки зрения их возможной нейрофизиологической интерпретации. Так интеграция, которая на уровне графа характеризуется параметрами глобальной эффективности, средней длиной

пути и мерой центральности, интерпретируется как показатель возможности пространственно-разнесённых регионов объединяться в слаженную систему, в которой сенсорные, моторные и когнитивные потоки *сводятся в общий контекст, без которого решение сложных задач невозможно*. Сегрегация характеризует обратную тенденцию: организацию активности в относительно замкнутые и функционально-специфичные модули, что проявляется как высокая плотность связей внутри модуля при относительно слабых связях с остальной сетью. Уровень сегрегации в графе оценивается через кластерный коэффициент, локальную эффективность и модулярность. **Эта часть обзора является не только необходимым и значимым элементом самого диссертационного исследования, но и имеет важное самостоятельное теоретическое и практическое значение для исследователей мозговых механизмов когнитивной деятельности.** Аппарат теории графов широко используется в исследованиях мозговой организации когнитивных процессов. Однако, как отмечает автор диссертации, имеющиеся данные весьма противоречивы, что связано не только с различиями в парадигмах экспериментальных исследований, но и с различиями в методах численной обработки ЭЭГ данных. **На основании анализа литературных данных автор диссертации выделил ряд факторов, которые существенно влияют на результаты экспериментальных исследований при использовании аппарата теории графов.** К ним относятся:

- использование различных мер оценки связности между источниками ЭЭГ сигналов,
- выбор пороговых значений количественных оценок функциональной – связности,
- способ получения биоэлектрических сигналов (ЭЭГ сенсоры или виртуальные корковые источники)
- собственно экспериментальные условия (состояние покоя или когнитивная деятельность).

В связи с этим безусловным достоинством работы является подробный сравнительный анализ экспериментальных данных,

полученных при применении различных мер связности с использованием различных процедур определения порога силы взаимодействий. Так при анализе функциональных сетей в состоянии покоя (раздел 3.1) сопоставляются характеристики сетей, полученные с использованием 5-ти мер: взвешенного индекса фазовой задержки (wPLI), мнимой части когерентности (imcoh), скорректированного индекса мнимой фазовой синхронизации (ciPLV), когерентности и попарной фазовой согласованности (PPC). Кроме самих мер связности варьировались пороговые характеристики и анализируемые потенциалы - сигналы от поверхностных датчиков или сигналы виртуальных корковых источников в различных частотных диапазонах ЭЭГ. Такой многоуровневый сравнительный анализ позволил получить чрезвычайно полезные для исследователей экспериментально подтвержденные **новые сведения о возможных расхождениях в результатах оценок связности при применении сравниваемых мер, преимуществах и ограничениях различных параметров оценки сетей мозга в различных экспериментальных условиях.**

Сравнительный анализ различных мер фазовой синхронизации позволил автору выбрать две меры (wPLI и imcoh) для использования в эмпирическом исследовании, направленном на анализ связи различных параметров графа с когнитивными способностями. Валидность полученных в этих исследованиях результатов обеспечивалась дополнительными условиями: эффект считался значимым только при его воспроизведении с использованием обеих мер.

В работе получены **новые эмпирические данные о различиях сетевой функциональной организации, ассоциированных с уровнем невербального интеллекта (раздел 3.2).** Причем показано, что значительный вклад в корреляции сетевых параметров и оценок невербального интеллекта вносят относительно слабые связи. Результаты этой части исследования в целом показали, что высокий невербальный интеллект ассоциирован с более интегрированной и распределённой организацией функциональной сети, требующей бóльших метаболических затрат. Интересно, что значимые

корреляции сетевых параметров и уровня невербального интеллекта выявлены для характеристик в диапазоне альфа-частот, что согласуется с представлениями о роли альфа-ритма в формировании оптимального фона для реализации когнитивной деятельности.

В разделе 3.3. представлены результаты анализа связи функциональной сетевой организации коры с индивидуальной эффективностью выполнения когнитивных задач – задачи Стенберга, решение которой включает удержание эталонной информации в рабочей памяти (РП), и задачи Фланкера, включающей торможение нерелевантных действий (тормозный контроль).

Впервые обнаружены специфические параметры сетевой организации активности мозга, коррелирующие с индивидуальными поведенческими оценками эффективности РП (задача Стенберга) и тормозного контроля (задача Фланкера). Различия, связанные с когнитивными задачами, касаются как частотных, так и топологических характеристик сетей. Значимые корреляции с эффективностью РП обнаружены в диапазонах альфа- и высокого бета-частот, с эффективностью тормозного контроля – в диапазонах альфа и тета-частот. Наибольший интерес среди результатов этого раздела представляют данные о положительной корреляции параметров кластеризации и модулярности в период запоминания с точностью РП, в то время как более высокая степень модулярности с точностью тормозного контроля связана отрицательно. Это говорит об особенностях мозговой организации двух исследованных форм когнитивной деятельности. Различия в мозговом обеспечении РП и тормозного контроля проявились и при сравнении параметров функциональных сетей в покое и в процессе деятельности: сравнение параметров графа в этих экспериментальных ситуациях позволило обнаружить существенные различия для задачи Стенберга и, что связано с активной перестройкой сети при переходе от покоя к выполнению. В то же время показано, что задача Фланкера в большей степени опирается на свойства базовой сетевой архитектуры. **Существенный интерес как в плане выбора параметров анализа сети, так и в плане получения новых знаний о функциональной организации мозга при когнитивной**

деятельности представляют результаты корреляций характеристик графа и эффективности решения когнитивных задач при учете слабых связей (раздел 3.4.). В диссертационной работе показано, что включение сравнительно слабых связей позволяет выявить дополнительные корреляции между характеристиками сети и когнитивными показателями, которые не обнаруживаются при учете только сильных связей. **Важный теоретический вывод** о связи между архитектурой сети в целом и индивидуальными свойствами когнитивных процессов состоит в том, что **оптимальной для реализации когнитивной деятельности оказывается не наиболее экономная сеть с минимальными метаболическими затратами, а сеть, использующая сравнительно слабые связи для поддержки межмодульной интеграции, сопряженная с более высокой энергетической стоимостью.**

Некоторые представленные ниже замечания и вопросы не снижают высокой оценки методического и теоретического уровня диссертационного исследования Т.В. Адамовича.

К недостаткам аналитического обзора, не снижающим его роли в диссертационном исследовании, и в целом его теоретической и практической значимости, можно отнести:

- Несколько расплывчатый и временами избыточный текст, что привело к повторам сходных по смыслу фрагментов в самой главе. При этом важная часть литературных данных, касающихся проблемы выбора порога силы и/или количества взаимодействий при оценке свойств сети, помещена в раздел Результаты (3.1). Это представляется не совсем логичным и затрудняет чтение и понимание диссертации.

- Анализ литературных данных о возможной связи индивидуальных различий когнитивных функций с функциональной сетевой организацией мозга занимает непропорционально мало места в обзоре, учитывая цель исследования
- *определить топологические особенности функциональных сетей мозга, ассоциированные с индивидуальными различиями в когнитивных способностях*

Замечания методического характера

- Не указано значение фильтра высоких частот при первичном анализе ЭЭГ

- Пропущено описание расчета взвешенного индекса PLI $wPLI$ после фразы *$wPLI$ рассчитывается следующим образом (стр.92):*

- В методическом разделе ничего не сказано об анализе связей между областями интереса (ОИ), никак не описана методика определения характеристических показателей сигнала в ОИ, поэтому появление в тексте раздела 3.1.6. указаний на области коры требует разъяснений: *Это несоответствие масштабированных вероятностей сохраняется в сетевом анализе исходных данных, например, связь между парагиппокампальной областью левого полушария и латеральной орбитофронтальной областью правого полушария в сети, полученной методом *itcoh*, сильнее при пороге 0.5, чем при порогах 0.3 и 0.7.*

Вопросы:

1. Как было выбрано количество источников (503 для каждого полушария) ЭЭГ сигнала при решении обратной задачи ЭЭГ?
2. Связность рассчитывалась во всех экспериментальных условиях, как между сенсорами, так и между источниками?
3. Чем можно объяснить более надежные (повторяющиеся в тестовой и контрольной выборках) показатели корреляционного анализа (сравнение метрик графа и показателей невербального интеллекта) при использовании анализа сигналов в пространстве сенсоров, чем при анализе сигналов в пространстве источников?

Заключение

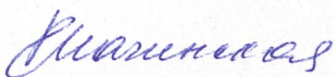
Диссертация Адамовича Тимофея Валерьевича «Топологические особенности функциональных сетей мозга как фактор индивидуальных различий в когнитивных способностях», представленная на соискание ученой степени кандидата психологических наук по специальности 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов (психологические

науки) является законченным самостоятельным научным исследованием, выполненным на высоком методическом и теоретическом уровне. Выводы и основные положения диссертации полностью обоснованы глубоким теоретическим анализом проблемы, использованием адекватных исследовательской задаче методов сбора и анализа данных, полученными результатами. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

По своему содержанию, актуальности и научной новизне, объему проведенного исследования, теоретической и практической значимости полученных результатов диссертационная работа Т.В. Адамовича соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждении ученых степеней» от 24.09.2013 № 842, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Автор диссертации Т.В. Адамович заслуживает присуждения ученой степени кандидата психологических наук по специальности 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов (психологические науки)

Официальный оппонент:

 Мачинская Р.И.
д. биол. наук, профессор, член—корр. РАО,
зав. лабораторией
нейрофизиологии когнитивного развития
ФГБНУ «Институт развития,
здоровья и адаптации ребенка»

19.08.2026

Контакты организации:

Адрес: 115191, г. Москва, ул. Городская, д.8

Телефоны: +7 (916) 950-11-63, +7 (499) 245-04-33

Email: info@irzar.ru

