

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук Орлова Вячеслава Андреевича**  
**на тему: «Построение модели когнитивного пространства человека по**  
**данным функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ)»**  
**по специальности 03.01.02 – «Биофизика», 03.01.08 – «Биоинженерия»**

Диссертация Орлова В.А. является самостоятельным, оригинальным и законченным исследованием, объединяющим методы биофизики, нейрофизиологии, нейровизуализации и машинного обучения. Полученные автором результаты представляют фундаментальный интерес, хотя прикладной характер работы более выражен в тексте. Актуальность работы вытекает, во-первых, из потребности изучения нейрофизиологических механизмов и особенностей обработки стимулов и решения когнитивных задач различного типа. Во-вторых, автором предложен алгоритм обработки фМРТ-изображений, который, безусловно будет полезен исследователям, работающим с данными, полученным с помощью функциональной и структурной магнитно-резонансной томографии.

Для исследования особенностей решения когнитивных задач автором были выбраны задания с разной степенью образности, пространственности и вербальности. На основании результатов, полученных ранее другими исследователями с использованием методики электроэнцефалографии, было сделано предположение, что и гемодинамическую активность мозга, регистрируемую при помощи фМРТ во время решения когнитивных задач различного типа, можно описать в терминах т.н. когнитивного пространства, т.е. отобразить паттерны активации в пространство малой размерности, в котором расстояние между полученными точками будет зависеть от степени различия между когнитивными задачами. Литературный обзор дает полное обоснование экспериментальной методики и методов анализа, выбранных для проверки выдвинутой гипотезы.

Из описания предложенной методики обработки МРТ и фМРТ изображений видно, что автор досконально разобрался в применяемых методах и алгоритмах, оценил их достоинства и, главное, понял их возможные ограничения и степень применимости к данным, полученным при помощи разработанного им протокола. Свободное владение различными методами анализа данных фМРТ и их вдумчивое применение, продемонстрированное в работе Орлова В.А., к сожалению, не всегда встречается в исследованиях, использующих магнитно-резонансную томографию, когда зачастую шаблонно используются методы анализа, не вполне подходящие для полученных данных. Детальное описание примененных алгоритмов, с другой стороны, приводит к некоторой перегруженности раздела, описывающего предобработку данных, формулами, трудно понимаемыми без детального вывода. По мнению оппонента, количество уравнений в этом разделе могло быть уменьшено без ущерба для понимания сути методов.

Важно отметить, что автор не только понимает математические основы применяемых методов и смысл их параметров, но и природу регистрируемого сигнала и физические основы методики регистрации. Еще одной сильной стороной работы Орлова В.А. является то, что он сам проводил эксперименты с регистрацией фМРТ, являясь сертифицированным оператором томографа. Таким образом, автор мог самостоятельно контролировать весь ход исследования. Возможно, это следовало бы сильнее подчеркнуть в описании вклада автора. В общем, разделы, описывающие природу регистрируемого сигнала, методику его обработки и экспериментальную парадигму дают достаточное обоснование выбранных методов и созданного протокола исследования.

В результате применения предложенной методики автором были получены карты достоверных активаций головного мозга при решении пространственных, образных и вербальных когнитивных задач. Эти карты были получены при помощи статистического анализа с использованием обобщенной линейной модели. Далее, автором была предложена

оригинальная методика преобразования полученных объемных карт активации в пространство малой размерности за счет применения метода многомерного шкалирования на основе оригинальной меры различия между картами различных испытуемых, а также алгоритм стандартизации результатов отображения в случае, когда целевым пространством является двумерная плоскость. Было показано, что варьирование в разумных пределах порога достоверности для расчета карт активации практически не влияет на результаты отображения, что является дополнительным обоснованием корректности примененной методики.

Важной частью работы была проверка и оценка схожести когнитивных пространств, построенных на основе данных ЭЭГ и фМРТ. Автор показал их идентичность. Это, если принять во внимание различия методов регистрации активности мозга вплоть до природы сигнала, является сильным аргументом в пользу того, что полученный результат не является артефактом предложенной методики, а является отражением реальных особенностей активности мозга при решении когнитивных задач разного типа. Тем более, что дополнительная проверка, проведенная автором, показала, что структура построенного пространства теряется при случайной перестановке меток выполняемых заданий. С точки зрения нейрофизиологии представляется желательным более детальный анализ и обсуждение полученного набора активаций. Также представляется интересным изучение когнитивного пространства в случае большего числа градаций выполняемых задач, поскольку в данной работе наборы и типы задач выбирались, чтобы согласовать полученные результаты с результатами более ранних исследований с использованием ЭЭГ.

Таким образом, Орловым В.А. была сформулирована научная гипотеза, разработан протокол исследований и алгоритм обработки полученных данных с обоснованием каждого этапа, были получены новые результаты, показывающие возможность построения когнитивного пространства по данным фМРТ, которые, вместе с тем, хорошо согласуются с результатами более ранних исследований с использованием ЭЭГ.

Замечания к работе можно резюмировать следующим образом:

1. Следовало бы более явно указать на самостоятельное проведение автором фМРТ-исследований.
2. Описание предложенной меры сходства между картами активации, а также алгоритма стандартизации результатов многомерного шкалирования следовало бы выделить в отдельный раздел.
3. Из текста раздела, описывающего предобработку фМРТ-изображений следовало бы убрать уравнения, требующие детального вывода.
4. Было бы желательно привести или отобразить в графическом виде пример матрицы дизайна, использовавшейся при расчете карт активации.
5. По мнению оппонента требуется интерпретация и подробное обсуждение карт активаций, полученных при решении когнитивных задач разных типов.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспортам специальностей 03.01.02 – «Биофизика», 03.01.08 – «Биоинженерия» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Орлов Вячеслав Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 03.01.02 – «Биофизика», 03.01.08 – «Биоинженерия».

Официальный оппонент:

кандидат биологических наук,

заведующий лабораторией математической нейробиологии обучения

Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН

ОРГ. \_ПРАВ.ФОРМА « 7 51 03 Федеральные государственные бюджетные учреждения»

Бобров Павел Дмитриевич

27.05.21

Контактные данные:

тел.: 7(495)3347000, e-mail: bobrov.pavel@ihna.ru.

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация:

03.03.01 – Физиология

Адрес места работы:

117485, г. Москва, ул Бутлерова д. 5А.

Институт Высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,

лаборатория математической нейробиологии обучения

Тел.: 7(495)3347000.; e-mail: admin@ihna.ru