



ИССЛЕДОВАНИЯ В ПАРАДИГМЕ СОКРЫТИЯ ИНФОРМАЦИИ: ОЦЕНКА ФМРТ-ДАННЫХ НА ГРУППОВОМ УРОВНЕ

ОРЛОВ В.А.

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
(ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4840-4499>, e-mail: orlov_VA@nrcki.ru*

КАРТАШОВ С.И.

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
(ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0181-3391>, e-mail: kartashov_si@nrcki.ru*

МАЛАХОВ Д.Г.

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
(ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7073-374X>, e-mail: malakhov_dg@nrcki.ru*

КОВАЛЬЧУК М.В.

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
(ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8255-7993>, e-mail: koval@nrcki.ru*

АЛЕКСАНДРОВ Ю.И.

*Институт психологии Российской академии наук (ФГБУН ИП РАН),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2644-3016>, e-mail: yuraalexandrov@yan-dex.ru*

ХОЛОДНЫЙ Ю.И.

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
(ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5201-519X>, e-mail: kholodny@yandex.ru*

В работе представлены результаты оценки фМРТ-данных на групповом уровне. Показаны некоторые факторы, влияющие на формирование таких оценок. На базе экспериментальных данных, полученных в криминалистических тестах парадигмы сокрытия информации, обращено внимание на необходимость критической оценки результатов и методики (дизайна) исследований, по итогам которых приведены результаты анализа фМРТ-данных на групповом уровне.

Ключевые слова: фМРТ, оценка фМРТ-данных, групповой уровень, парадигма сокрытия информации, криминалистическая диагностика.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» с использованием вычислительных ресурсов федерального центра коллективного пользования «Комплекс моделирования и обработки данных исследовательских установок мега-класса НИЦ «Курчатовский институт»».



Для цитаты: Орлов В.А., Карташов С.И., Малахов Д.Г., Ковальчук М.В., Александров Ю.И., Холодный Ю.И. Исследования в парадигме сокрытия информации: оценка фМРТ-данных на групповом уровне // Экспериментальная психология. 2024. Том 17. № 1. С. 86–107. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2024170106>

RESEARCH IN THE INFORMATION CONCEALMENT PARADIGM: ASSESSMENT OF FMRI-DATA AT THE GROUP LEVEL

VYACHESLAV A. ORLOV

National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4840-4499>, e-mail: orlov_VA@nrcki.ru

SERGEY I. KARTASHOV

National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0181-3391>, e-mail: kartashov_si@nrcki.ru

DENIS G. MALAKHOV

National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7073-374X>, e-mail: malakhov_dg@nrcki.ru

MIKHAIL V. KOVALCHUK

National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8255-7993>, e-mail: koval@nrcki.ru

YURI I. ALEXANDROV

Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2644-3016>, e-mail: yuraalexandrov@yandex.ru

YURI I. KHOLODNY

National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5201-519X>, e-mail: kholodny@yandex.ru

This work presents the results of studying the evaluation of fMRI data at the group level. Some factors influencing the formation of such estimates are shown. On the basis of experimental data obtained in forensic tests in the information concealment paradigm, attention is drawn to the need for a critical assessment of the results and methodology (design) of research, based on the results of which the outcome of the analysis of fMRI data at the group level are presented.

Keywords: fMRI, evaluation of fMRI data, group level, conceal information paradigm, forensic diagnostics.

Funding. The research was performed within the framework of the state task of the Kurchatov Institute Research Center using the computing resources of the Federal Center for Collective Use «Complex of modeling and data processing of research facilities of the mega-class of the Kurchatov Institute Research Center».

For citation: Orlov V.A., Kartashov S.I., Malakhov D.G., Kovalchuk M.V., Alexandrov Y.I., Kholodny Y.I. Research in the Information Concealment Paradigm: Assessment of fMRI-Data at the Group Level. *Экспериментальная психология = Experimental Psychology (Russia)*, 2024. Vol. 17, no. 1, pp. 86–107. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2024170106> (In Russ.).



Введение

Известно, что магнитно-резонансная томография (МРТ) базируется на феномене нейроваскулярного взаимодействия (т.е. регионального изменения кровотока в ответ на активацию близлежащих нейронов), который отражает гемодинамический ответ, вызванный активностью нейронов, и позволяет опосредованно, через локальное изменение кровотока, осуществить нейровизуализацию процессов, происходящих в мозге человека в состоянии покоя или при решении им каких-либо когнитивных задач.

МРТ и ее разновидность — функциональная МРТ (фМРТ), — по оценке некоторых исследователей, является «...самым важным достижением в области визуализации с момента открытия рентгеновских лучей К. Рентгеном в 1895 году» [9, с. 2]. Поэтому не удивительно, что появление МРТ и фМРТ вызвало большой интерес у специалистов различных отраслей знания и, в частности, занимающихся теорией и практикой выявления у человека скрываемой им информации.

Наиболее распространенным в настоящее время способом обнаружения утаиваемой человеком информации является технология комплексного психолого-психофизиологического исследования с применением полиграфа (ИПП) — прибора, который часто неверно именуют «детектором лжи». Хотя ИПП существуют с 1920-х годов и их используют в практике раскрытия, расследования и профилактики правонарушений около ста стран мира, целый ряд теоретических и прикладных вопросов технологии таких исследований остается нерешенными. Поэтому становится понятным, почему появление метода фМРТ было воспринято с большим интересом исследователями и специалистами в области ИПП: они были уверены, что фМРТ «...представляет собой чрезвычайно важный предварительный шаг на пути к разработке достоверных и чувствительных методов обнаружения лжи» [10, с.157].

Изучение возможности применения фМРТ для выявления лжи человека в интересах практики раскрытия и расследования преступлений было начато в 2001 г. [11]. Последовавшие за этим исследования [10; 12; 13 и др.] способствовали дальнейшему развитию нейронауки и формированию в ней отрасли нейроправа (neurolaw), в которой со временем выделился самостоятельный раздел — нейрокриминалистика («forensic neurosciences»), ориентированный на выявление у человека скрываемой им информации (или, если говорить языком криминалистики, на диагностику наличия в памяти человека следов скрываемых им событий прошлого (ДНССП)) с помощью метода фМРТ. В американской терминологии, этот процесс именуется «детекцией лжи» с помощью фМРТ — «fMRI-based lie detection» (fMRI-BLD) [14].

Лабораторные эксперименты по тематике fMRI-BLD ставили своей «...целью установить нейронные системы, вовлеченные в реализацию лжи» [14, с. 123], и вызвали большой научный и прикладной интерес. Полагалось, что метод fMRI-BLD «...устанавливает нейробиологические корреляты лжи и обмана, а не их внешние проявления, ... [и это] делает его результаты существенно более точными» [1, с. 9]. Проведенные исследования [15] привели специалистов к уверенности в том, что «...компьютеризация процесса сканирования мозга делает его результаты не зависимыми от лица, его проводящего, чего нельзя сказать об использовании полиграфа» [1, с. 9]. Полагалось, что использование томографа позволит достаточно быстро создать более совершенный — по сравнению с ИПП — метод ДНССП. Также высказывались предположения, что с помощью фМРТ удастся понять динамику нейрокогнитивных процессов человека, построить научно обоснованную теорию ИПП и



тем самым ответить на вопросы, накопившиеся за столетнюю историю применения полиграфа в практике.

Естественно, исследования по тематике fMRI-BLD строились на основе технологии ИПП и использовали ее методические средства (т.е. тесты). Современная технология ИПП реализуется в двух парадигмах — дифференциации лжи (ДЛ-парадигма) и сокрытия информации (СИ-парадигма): первую от второй отделяет «...фундаментальное различие... обнаружения лжи и обнаружения следов памяти». Проведение ИПП в ДЛ-парадигме является доминирующим в мире, в то время как японские специалисты в 2015 г. констатировали, что правоохранительные органы страны «...в реальных уголовных расследованиях для обнаружения следов памяти используют только тесты СИ-парадигмы» [16, с. 29]. В одной из наших работ [2] уже было указано на причину прекращения применения тестов ДЛ-парадигмы: она «...заключается в том, что в Японии проверки на полиграфе используются не в качестве тестов на детекцию лжи, а в качестве тестов на выявление информации в ходе уголовных расследований... Определение того, лгут испытуемые или нет, больше не является основной целью (тестов ИПП. — *Авт.*) в Японии» [17, с. 97].

Появление fMRI-BLD в 2000-е годы быстро привлекло внимание специалистов, число лабораторных исследований в данной области постоянно росло и уже в 2006 г. В США были созданы две фирмы, которые предлагали «услуги по “детекции лжи” с помощью фМРТ в интересах бизнеса, семейных разбирательств, уголовного правосудия и национальной безопасности» [14, р. 127].

Но упомянутые фирмы явно поторопились предложить сырой «продукт»: выполненных к тому моменту научных исследований было недостаточно, и прикладное использование метода fMRI-BLD не имело еще должного экспериментального обоснования. После нескольких случаев использования метода fMRI-BLD в ходе расследований по уголовным делам деятельность этих фирм была подвергнута резкой критике [18; 19], а сам метод был исключен из использования в правоохранительной практике США.

Среди критических замечаний в адрес прикладного применения fMRI-BLD одним из основных явилось то, что подавляющее большинство работ по данной тематике было выполнено на группах участников экспериментов (т.е. на групповом уровне). Специалисты полагали, что получаемые при этом результаты «...имеют ограниченное значение для определения того, может ли фМРТ обнаружить ложь на уровне отдельного субъекта или отдельного вопроса», а неизбежные при групповом уровне «...фундаментальные методологические ограничения делают в конечном счете эти исследования неинформативными» [20, с. 13; 20].

Впервые тематика fMRI-BLD вышла за рамки работ на групповом уровне в 2005 г. И было выполнено несколько лабораторных исследований в ДЛ— и СИ— парадигме с оценкой полученных фМРТ-данных на индивидуальном уровне [21–24]. Проведение таких экспериментов имело большое значение для фундаментальных исследований и принципиальное — для дальнейшего применения технологии фМРТ в прикладных целях (в частности, в области криминалистики или медицины). Однако работы по созданию технологии оценки фМРТ-данных на индивидуальном уровне не получили должного развития, и в 2010 г. практическое пособие для судей констатировало отсутствие «...опубликованных данных, которые бы однозначно ответили на вопрос, могут ли основанные на фМРТ методы нейронауки выявлять ложь на индивидуальном уровне» [20, с. 14].

Исследователям и специалистам в начале 2010-х годов уже были хорошо известны трудности применения технологии фМРТ [25], которые неизбежно влияли на реализацию fMRI-BLD на практике [14; 20].



Таковыми трудностями при выполнении фМРТ, в частности, являлись:

- а) методическая корректность предъявления стимулов исследуемому человеку;
- б) величина интервала сканирования и пространственное разрешение, обусловленное напряженностью магнитного поля томографа;
- в) порядок регистрации фМРТ-данных, и проч.

Среди трудностей реализации фМРТ оказался и субъективизм специалиста, осуществляющего исследование, хотя ранее (см. выше) полагалось, что «процесс сканирования мозга делает его результаты независимыми от лица, его проводящего». Напротив, выполняя фМРТ, именно специалист формирует «...изображение на основе серии вычислений, каждое из которых имеет точки принятия решения для “оптимизации” изображения, ... [и тем самым] принимает решения, которые могут повлиять на то, как будет выглядеть конечное изображение» [27, с. 659].

С учетом перечисленных и некоторых других факторов, в 2015 г. Был сделан «вывод, что фМРТ может быть использована для отделения лжи от правды и применима только к групповым сравнениям в строго контролируемых условиях, но не к конкретным индивидуумам». И, далее, было подчеркнуто, что неприменимость метода на индивидуальном уровне является одним «...из наиболее серьезных недостатков использования фМРТ в ходе судебных разбирательств: неспособность указать область мозга или изменение сигнала, которые могут показывать “ложь” у разных людей» [27, р. 662].

Чтобы показать уровень нарастания напряжения в оценке возможности осуществления исследований по тематике fMRI-BLD на индивидуальном уровне, авторы статьи умышленно отказались от своей трактовки и вольного изложения точек зрения зарубежных специалистов и, взамен этого, прибегли к достаточно обширному цитированию первоисточников, на что, видимо, уже обратил внимание внимательный читатель.

Итак, обобщив недостатки существующей технологии фМРТ, исследователи в 2018 г. прямо поставили вопрос: «Учитывая низкую специфичность и относительно высокую вариабельность результатов нейровизуализации, как мы можем рассчитывать на успешное обнаружение лжи у конкретных лиц с помощью методов нейровизуализации?» [28, с. 157].

Таким образом, негативная динамика выглядела следующим образом: если в 2012 г. В сборнике «Международное нейроправо. Сравнительный анализ» вопросы возможного использования фМРТ и других методов нейровизуализации в целях fMRI-BLD еще рассматривались [29], то уже в 2020 г. эта проблематика практически исчезла из перечня обсуждаемых тем [30; 31].

Поэтому можно предположить, что отсутствие в 2010-е годы работ, направленных на создание методов оценки фМРТ-данных на индивидуальном уровне, во многом было обусловлено утвердившимся мнением о допустимости проведения фМРТ-исследований только на групповом уровне. Но такой исход фактически делал метод фМРТ пригодным исключительно для фундаментальных исследований и закрывал перспективы его использования в прикладных целях — например, в интересах криминалистической или медицинской практики, — когда возникает необходимость исследовать активность мозга отдельно взятого человека.

Вместе с тем сформировавшееся за рубежом представление о невозможности оценки фМРТ-данных на индивидуальном уровне, по нашему мнению, является едва ли правильным и излишне предвзятым: категоричность суждений, которая встречается порой у исследователей, не нова — ее уже многие годы можно наблюдать в отношении ИПП.



Например, в отечественной научной периодике можно увидеть ссылки на зарубежные материалы 2016 г., указывающие на низкую эффективность ИПП [34, с. 116–117]: согласно приводимым данным, «...оценки точности результатов для полиграфа колеблются от 61% до 85%» [1, с. 9]. Однако указанные оценки не соответствуют реальности: при такой «точности результатов» около сотни стран мира не использовали бы ИПП в практике расследования и профилактики правонарушений многие десятилетия.

Мнение зарубежных исследователей о невозможности оценки фМРТ-данных на индивидуальном уровне было учтено и подвергнуто критической оценке. В частности, в ходе нейрокогнитивных фМРТ-исследований, проводимых в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» (НИЦ «КИ») в интересах фундаментальной науки и научно-прикладных работ [3–5; 32 и др.], экспериментальная практика развивалась в двух направлениях — технологическом и исследовательском.

Технологическое направление было нацелено на создание специализированного методического и аппаратно-программного обеспечения фМРТ-исследований (в частности, средств объективного контроля и оценки реагирования человека на различные стимулы в ходе фМРТ). Исследовательское направление (опираясь на результаты работ технологического направления) было ориентировано на обнаружение структурных и функциональных изменений работы мозга, которые представляют интерес в рамках исследований по конкретной тематике: например, применительно к нейрокриминалистическим исследованиям — выявление зон-«маркёров», сигнализирующих о факте сокрытия информации человеком [35].

При проведении работ технологического плана была выдвинута гипотеза о возможности создания метода, позволяющего оценивать фМРТ-данные на индивидуальном уровне и имеющего принципиальное значение для использования фМРТ при решении целого ряда прикладных задач. Помимо указанного, имеются аргументы в пользу того, что фМРТ-данные могут отражать индивидуальную историю формирования опыта индивида [45; 46]: очевидно, что, в случае подтверждения таких данных, они могут иметь большое значение для фундаментальных разработок, позволяющих установить взаимосвязь особенностей развития конкретного индивида и механизмов реализуемого им поведения. Вместе с тем при проведении исследований, направленных на разработку метода оценки фМРТ-данных на индивидуальном уровне, было признано целесообразным подвергнуть исследуемую выборку таких данных обстоятельной оценке на групповом уровне с помощью существующих общепринятых методов обработки.

Методика

Процедура эксперимента

Для изучения особенностей оценки данных фМРТ на групповом уровне анализу были подвергнуты фМРТ-данные, полученные в ходе фМРТ-МРТсП-экспериментов (в них использовались фМРТ и МРТ-совместимый полиграф (МРТсП)) при проведении тестов СИ-парадигмы, которые активно используются в криминалистических ИПП: это тест со скрываемым именем (ТСИ), моделирующий сокрытие личностно значимой для человека информации, сохраняемой в его памяти на протяжении всей его жизни, и тест «на знание виновного» (ТЗВ), моделирующий сокрытие ситуационно значимой информации, воспринятой памятью человека и ставшей актуальной для него менее часа назад.

Суть указанных тестов и технология экспериментов с их использованием были детально изложены в одной из предыдущих наших работ [3].



Сбор и анализ данных фМРТ

В ходе экспериментов МРТ-данные регистрировались томографом SIEMENS Magnetom Verio с напряженностью магнитного поля 3 Тл. Для получения трехмерного структурного T1-взвешенного изображения использовалась последовательность быстрого градиентного эха в сагиттальной плоскости со следующими параметрами: 176 срезов; TR = 1900 мс; TE = 2,19 мс; толщина среза = 1 мм; угол поворота = 90°; время инверсии = 900 мс; FOV = 250 мм × 218 мм². Данные фМРТ были получены со следующими параметрами: 51 срез; TR = 1110 мс; TE = 24 мс; толщина среза = 2 мм; угол поворота = 90°; FOV = 192 × 192 мм².

Эксперименты проводились с использованием мультисрезовых последовательностей сканирования (TR = 1110 мс), поскольку такой режим способствовал повышению чувствительности методики исследования и обеспечивал приемлемый компромисс между качеством фМРТ-данных и размером области сканирования.

Данные функциональной и структурной МРТ были обработаны с использованием целого ряда программных пакетов. После конвертирования DICOM-файлов в NIFTI-формат все изображения были вручную центрированы в передней комиссуре. Далее, с использованием скриптовой библиотеки BROCCOLI производились расчеты и коррекция артефактов движения головы испытуемого во время сканирования. До и после регистрации фМРТ данных проводилось сканирование дополнительного протокола, измеряющего неоднородность магнитного поля, вызванную помещением испытуемого в магнитное поле томографа. На их основе рассчитывались взвешивающие функции для исправления соответствующих артефактов. Далее для данных была применена процедура коррекции временного сдвига, в рамках которой фазы сигналов интерполируются к указанному временному отсчету внутри одного TR. Все фМРТ данные нормализовывались в атласное пространство MNI (Montreal Neurological Institute). Использование мультисрезовых последовательностей привело к появлению артефактов. Для их детекции и подавления был использован метод независимых компонент [39]. Данный метод требует особой подготовки фМРТ-данных для получения корректного разложения. В рамках подготовки данных к разложению были произведены удаление невозможных вокселей из фМРТ-изображений, нормализация медианы интенсивности всего набора функциональных данных одним мультипликативным фактором и высокочастотная временная фильтрация (подгонка по Гауссу по методу наименьших квадратов по прямой линии с сигмой = 50,0 с). После проведения необходимой подготовки данных следовала процедура разложения на независимые компоненты. Далее полученные компоненты просматривались и классифицировались вручную. Выбранные как «шумовые», компоненты удалены из изначального набора фМРТ-данных путем применения регрессионного фильтра. Описанная выше методика адаптирована и проведена (для всех приведенных в данной статье фМРТ-данных) на суперкомпьютере НИЦ «Курчатовский институт». На последнем этапе предобработки функциональные данные были сглажены с использованием Гауссова фильтра с ядром $6 \times 6 \times 6$ мм³ FWHM.

Участники исследования

Участниками фМРТ-МРТсП-экспериментов являлись мужчины и женщины в возрасте 21–23 лет, которые сообщили об отсутствии у них каких-либо заболеваний на момент участия в исследовании. Ранее уже была отмечена [3] связь гендерного фактора



с фМРТ-данными, регистрируемыми в ходе фМРТ-МРТсП-исследования в парадигме скрываемой информации. Этот факт определил необходимость формирования для проводимого исследования двух равных по количеству групп участников экспериментов мужского и женского пола.

Таким образом, была образована достаточно представительная и методически корректно сформированная «генеральная» выборка из 72 испытуемых, которая включала в себя две «общие» выборки — 36 мужчин и 36 женщин; при этом каждая из «общих» выборок в свою очередь состояла из двух частей — «предварительной» (13 чел.) и «основной» (23 чел.).

Разрешение на проведение фМРТ-МРТсП-экспериментов было предоставлено этическим комитетом НИЦ «Курчатовский институт».

Результаты

Как известно, при обработке данных фМРТ-исследований традиционно используется так называемый разностный подход [36], согласно которому для выявления специфичных к тому или иному виду когнитивной деятельности регионов проводится статистическое сравнение сигналов во время предъявления «целевого» стимула и некоего «фона» (т. е. базовых стимулов). В основе указанного подхода лежит устоявшееся положение о том, что «фундаментальной концепцией функциональной нейровизуализации является статистическое сравнение того, что, как ожидается, произойдет с гемодинамической реакцией (кровооток) в связи с определенной функцией» [27, с. 660].

Действуя в рамках указанного, ставшего традиционным подхода, специалисты НИЦ «КИ» к настоящему моменту разработали и ввели в практику экспериментальных исследований воксельную зоново-стимульную оценку фМРТ-данных [6; 7]. Это явилось значительным шагом в совершенствовании как методических и аппаратно-программных средств [8; 32], так и технологии фМРТ-исследований, которая реализовывалась с применением МРТ-совместимого полиграфа (МРТсП), в том числе и нейрокриминалистической направленности [3–5 и др.].

Вместе с тем некоторые аспекты оценки фМРТ-данных требовали своего дополнительного уточнения и изучения: в частности, следовало рассмотреть вопрос о возможностях соотношения оценки фМРТ-данных на групповом и индивидуальном уровнях. В связи с чем было признано целесообразным исследовать различные варианты групповой оценки фМРТ-данных при различных критериях их значимости и величине выборок исследуемых лиц.

Для выполнения указанного исследования были использованы фМРТ-данные, полученные в итоге проведения используемых в криминалистике тестов — ТСИ и ТЗВ [3]. Материал был собран, как было сказано выше, на весьма обширной и методически корректно сформированной «генеральной» выборке из 72 испытуемых, которая включала в себя две «общие» выборки — 36 мужчин и 36 женщин. «Общие» выборки, в свою очередь, состояли из двух частей — «предварительной» (13 чел.) и «основной» (23 чел.), каждая из которых также оценивались порознь.

В ходе этого исследования формировались групповые статистические карты с разными критериями их выделения (в том числе с поправкой на множественные сравнения — family wise error /FWE/) и процентным уровнем активации (представляющим из себя от-



ношение числа статистически значимых вокселей из атласного региона, выявленных в ходе статистического анализа с соответствующим критерием, к общему числу вокселей из этого региона), для которых были выбраны уровни вероятности:

- 1) $p < 0,05$ FWE, 5%;
- 2) $p < 0,05$ FWE, 2,5%;
- 3) $p < 0,05$ FWE, 1%;
- 4) $p < 0,001$, 5%.

Некоторые результаты оценки фМРТ-данных «генеральной» выборки, полученных в итоге ТСИ, показаны в табл. 1.

Представленные данные свидетельствуют, что:

Применение наиболее «жесткого» из избранных критериев $-p < 0,05$ FWE, 5% — к фМРТ-данным, полученным на выборке из 72 чел., позволило выделить 42 из 132 (т. е. 31,8%) зон мозга — от лобных долей до мозжечка (графа 1), — которые были вовлечены в процесс сокрытия значимой для человека информации в ходе ТСИ.

Применение менее «жесткого» и наиболее часто применяемого в исследованиях при оценке фМРТ-данных критерия — $p < 0,001$, 5% — к тем же данным той же выборки позволило выделить 72 из 132 (т.е. 54,5%) зоны мозга, что на 71,4% больше, чем с помощью первого критерия (графа 4).

Помимо оценок, указанных в пп. 1 и 2, в исследовательских целях были применены «промежуточные» критерии (см. перечень выше — 2 и 3), которые обычно не используют при оценке фМРТ-данных.

Если взять за основу оценку фМРТ-данных при $p < 0,001$, 5% (представлены в графе 4), то получим следующие результаты.

1.3.1. При оценке с критерием $p < 0,05$ FWE, 1% не выделились 11 (графа 3) из 72 зон.

1.3.2. При оценке с критерием $p < 0,05$ FWE, 2,5% в дополнение к 11 не выделились еще 9 зон (т. е. всего — 20 зон; графа 2).

Итак, динамика выделения зон мозга при ужесточении критериев оценок (от графы 4 к графе 1) составила соответственно 72, 61, 52 и 42 зоны.

Далее, из общего массива фМРТ-данных (72 чел.) были выделены «общие» выборки мужчин и женщин (по 36 чел.), а также — «основные» выборки (по 23 чел.) и оценены по критерию — $p < 0,001$, 5%. Итоги оценки представлены в табл. 2. Данные этой таблицы показали следующее.

2.1. Оценка фМРТ-данных мужчин (36 чел.; $p < 0,001$, 5%; табл. 2, синий цвет; графа 1) в 90% случаев совпадает с оценкой фМРТ-данных с тем же критерием, полученной на «генеральной» выборке в 72 чел. (табл. 2, серый цвет; графа 1 или табл. 1, серый цвет; графа 4): выделилось 65 зон.

2.2. Оценка фМРТ-данных женщин (36 чел.; $p < 0,001$, 5%; табл. 2, темно-сиреневый цвет; графа 2) лишь в 58% случаев совпадает с аналогичными данными у мужчин (синий цвет; графа 1): выделилось только 38 зон.

2.3. Оценка фМРТ-данных мужчин и женщин «основных» выборок (по 23 чел.; $p < 0,001$, 5%; табл. 2, голубой и светло-сиреневый цвета; графы 3 и 4) позволила выделить соответственно 59 и 27 активных зон, что составляет соответственно 91% и 71% от активности зон, выделенных в соответствующих «общих» выборках (по 36 чел.; графы 1 и 2).

Таким образом, представленные в табл. 1 и 2 результаты обработки фМРТ-данных, полученных в ходе ТСИ при различных критериях их оценки, показывают следующее.



Таблица 1

Групповые оценки фМРТ-данных «генеральной» выборки, полученных по 132 зонам комбинированного атласа пакета CONN (кортикальный и субкортикальный атласы Harvard-Oxford пакета FSL и атлас AAL для мозжечка [37])

№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения			
			1	2	3	4				1	2	3	4				1	2	3	4
1	8125	FP r					45	iLOC r					89	96	SCC l					
2	7012	FP l					46	iLOC l					90	2541	OP r					
3	1363	IC r					47	ICC r					91	2722	OP l					
4	1319	IC l					48	ICC l					92	1295	Thalam r					
5	2726	SFG r					49	MedFC					93	1342	Thalam l					
6	2920	SFG l					50	SMA r					94	519	Caudate r					
7	2734	MidFG r					51	SMA l					95	536	Caudate l					
8	2958	MidFG l					52	SubCalC					96	810	Putam. r					
9	546	IFG tri r					53	PaCiG r					97	869	Putamen l					
10	654	IFG tri l					54	PaCiG l					98	268	Pallid. r					
11	695	IFGoperr					55	AC					99	299	Pallid. l					
12	765	IFGoperl					56	PC					100	698	Hippoc r					
13	4330	PreCG r					57	Precun.					101	758	Hippoc l					
14	4441	PreCG l					58	Cuneal r					102	340	Amygd r					
15	2387	TP r					59	Cuneal l					103	324	Amygd l					
16	2366	TP l					60	FORb r					104	84	Accumb r					
17	280	aSTG r					61	FORb l					105	111	Accumb l					
18	272	aSTG l					62	aPaHC r					106	4097	Brain-St					
19	399	pSTG r					63	aPaHC l					107	2292	Cereb1 l					
20	407	pSTG l					64	pPaHC r					108	2501	Cereb1 r					
21	413	aMTG r					65	pPaHC l					109	1917	Cereb2 l					
22	457	aMTG l					66	LG r					110	2152	Cereb2 r					
23	1373	pMTG r					67	LG l					111	138	Cereb3 l					
24	1363	pMTG l					68	aTFusC r					112	190	Cereb3 r					
25	1161	toMTG r					69	aTFusC l					113	815	Cereb45 l					
26	865	toMTG l					70	pTFusC r					114	636	Cereb45 r					



№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения			
			1	2	3	4				1	2	3	4				1	2	3	4
27	331	aITG r					71	pTFusCl					115	1248	Cereb6l					
28	331	aITG l					72	TOFusCr					116	1525	Cereb6 r					
29	960	pITG r					73	TOFusCl					117	581	Cereb7l					
30	1012	pITG l					74	OFusGr					118	543	Cereb7 r					
31	775	toITG r					75	OFusGl					119	1888	Cereb8l					
32	714	toITG l					76	FO r					120	2297	Cereb8 r					
33	3237	PostCG r					77	FO l					121	855	Cereb9l					
34	3692	PostCG l					78	CO r					122	811	Cereb9 r					
35	1467	SPL r					79	CO l					123	158	Cereb10l					
36	1485	SPL l					80	PO r					124	170	Cereb10 r					
37	794	aSMGr					81	PO l					125	47	Ver12					
38	967	aSMGl					82	PP r					126	223	Ver3					
39	1239	pSMGr					83	PP l					127	635	Ver45					
40	1094	pSMGl					84	HG r					128	335	Ver6					
41	1451	AG r					85	HG l					129	188	Ver7					
42	960	AG l					86	PT r					130	248	Ver8					
43	4831	sLOC r					87	PT l					131	166	Ver9					
44	4962	sLOC l					88	SCC r					132	101	Ver10					
Графа 1		P < 0,05 FWE, 5 %																		
Графа 4		P < 0,001, 5%																		
		Графа 2																		
		Графа 3																		
		P < 0,05 FWE, 2,5 %																		
		P < 0,05 FWE, 1 %																		



А. При ослаблении используемых критериев оценки фМРТ-данных наблюдается рост количества активных зон, расположенных в лобных, теменных и подкорковых областях мозга; в то же время отмечается ряд стабильно активных крупных зон мозжечка, а также ряд малых зон (объемом до 800 вокселей) в различных областях мозга.

Б. Активность зон мозга у женщин при выполнении этого теста явно ниже, чем у мужчин; об этом же свидетельствуют сказанное выше в пп. 5 и 6.

В. Ряд зон мозга человека (например, 3, 5–6, 9, 11–12, 25–26, 38–42, 50, 53–55, 60–61, 76, 92; табл. 2) устойчиво проявляют активность в ходе ТСИ вне зависимости от величины и гендерного состава выборки, в то время как активность иных зон носит нестабильный, гендернозависимый характер.

Помимо указанного было проведено сравнение (табл. 3) активности зон мозга мужчин и женщин (по 23 чел.) при проведении ТСИ и ТЗВ.

Данные табл. 3 свидетельствуют о следующем.

3.1. Представленность активных зон мозга при выполнении ТСИ и ТЗВ у мужчин суммарно почти в 2 раза выше (графы 1 и 2), чем у женщин — соответственно 112 и 65.

3.2. Представленность активных зон у мужчин при выполнении ТСИ выше, чем при ТЗВ, и составляет соответственно 59 и 53 зоны (графы 1 и 2).

3.3. Представленность активных зон у женщин при выполнении ТСИ ниже, чем при ТЗВ, и составляет соответственно 27 и 38 зон (графы 3 и 4).

3.4. Имеется ряд зон, которые устойчиво проявляют активность вне зависимости от теста, т.е. давности закрепления в мозге скрываемой информации — годы (в ТСИ) и менее часа (в ТЗВ), а также от гендерных особенностей испытуемых. Это зоны — 3, 5–6, 11, 38–42, 50–51, 53–55, 60–61, 76, 92–93 и 105.

Сравнивая активные зоны (указаны в пунктах В и 3.4), нетрудно заметить, что ряд зон (они подчеркнуты) не повторяются в этих перечнях.

Проводя сравнительный анализ литературы, можно заключить, что при классическом разностном подходе в рамках парадигмы детекции лжи зачастую в качестве активных выступают одни и те же области мозга. Первые литературные обзоры, опубликованные в авторитетных журналах в области нейробиологии, показывали будто бы достаточно устойчивые результаты, полученные в исследованиях при весьма различных методических условиях. В частности, в одной из таких работ были подробно разобраны ключевые проблемы диагностики скрываемой информации на основе методов нейровизуализации [40]. При этом в числе основных проблем организации экспериментальных исследований авторы видели слабую мотивацию испытуемых и предлагали некоторые стратегии ее увеличения, в том числе выплату вознаграждения за успешный обман экспериментатора в ходе исследования.

В некоторых ранних фМРТ-исследованиях сообщалось о повышенной активации префронтальной и теменной извилин во время лжи, в других — об активации передней поясной коры или увеличении времени реакции [41; 42]. Основываясь на этих результатах, обман был концептуализирован как подавление правды и генерация лжи, опосредуемые префронтальной корой; при этом правда выступала «рутинной» реакцией, опосредуемой задними областями мозга. Интересно отметить, что упомянутые нейрональные сети и паттерны активации также наблюдались и в исследованиях рабочей памяти [43], когда для оценки паттернов активации использовалась выборка из 795 наборов данных, полученных в рамках 42 фМРТ-исследований.

Следует обратить внимание на то, что указанные фМРТ-исследования проводились на весьма неоднородных выборках испытуемых: в каждом из них принимали участие от 6 до



Таблица 2

Групповые оценки фМРТ-данных, полученных в ТСИ в четырех выборках (по 36 и 23 чел.) мужчин и женщин по 132 зонам комбинированного атласа пакета CONN (КАП CONN) [37]

№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения			
			1	2	3	4				1	2	3	4				1	2	3	4
1	8125	FP r					45	2052	iLOC r					89	96	SCC l				
2	7012	FP l					46	2056	iLOC l					90	2541	OP r				
3	1363	IC r					47	752	ICC r					91	2722	OP l				
4	1319	IC l					48	655	ICC l					92	1295	Thalam r				
5	2726	SFG r					49	962	MedFC					93	1342	Thalam l				
6	2920	SFG l					50	775	SMA r					94	519	Caudate r				
7	2734	MidFG r					51	721	SMA L					95	536	Caudate l				
8	2958	MidFG l					52	1127	SubCalC					96	810	Putam. r				
9	546	IFG tri r					53	1478	PaCiG r					97	869	Putamen l				
10	654	IFG tri l					54	1427	PaCiG l					98	268	Pallid. r				
11	695	IFGoperr					55	2618	AC					99	299	Pallid. l				
12	765	IFGoper l					56	2408	PC					100	698	Hippoc r				
13	4330	PreCG r					57	5571	Precun.					101	758	Hippoc l				
14	4441	PreCG l					58	690	Cuneal r					102	340	Amygd r				
15	2387	TP r					59	544	Cuneal l					103	324	Amygd l				
16	2366	TP l					60	1442	FORb r					104	84	Accumb r				
17	280	aSTG r					61	1677	FORb l					105	111	Accumb l				
18	272	aSTG l					62	660	aPaHC r					106	4097	Brain-St				
19	399	pSTG r					63	594	aPaHC l					107	2292	Cereb1 l				
20	407	pSTG l					64	318	pPaHC r					108	2501	Cereb1 r				
21	413	aMTG r					65	382	pPaHC l					109	1917	Cereb2 l				
22	457	aMTG l					66	1792	LGr					110	2152	Cereb2 r				
23	1373	pMTG r					67	1582	LG l					111	138	Cereb3 l				
24	1363	pMTG l					68	294	aTFusC r					112	190	Cereb3 r				
25	1161	toMTG r					69	319	aTFusC l					113	815	Cereb45 l				
26	865	toMTG l					70	712	pTFusC r					114	636	Cereb45 r				



№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения			
			1	2	3	4				1	2	3	4				1	2	3	4
27	331	aITG r					71	876	rTFusCl					115	1248	Cereb6l				
28	331	aITG l					72	817	TOFusCr					116	1525	Cereb6 r				
29	960	pITG r					73	640	TOFusCl					117	581	Cereb7l				
30	1012	pITG l					74	903	OFusGr					118	543	Cereb7 r				
31	775	toITG r					75	937	OFusGl					119	1888	Cereb8l				
32	714	toITG l					76	311	FO r					120	2297	Cereb8 r				
33	3237	PostCG r					77	354	FO l					121	855	Cereb9l				
34	3692	PostCG l					78	890	CO r					122	811	Cereb9 r				
35	1467	SPL r					79	972	CO l					123	158	Cereb10l				
36	1485	SPL l					80	530	PO r					124	170	Cereb10 r				
37	794	aSMG r					81	564	PO l					125	47	Ver12				
38	967	aSMG l					82	376	PP r					126	223	Ver3				
39	1239	pSMG r					83	356	PP l					127	635	Ver45				
40	1094	pSMG l					84	286	HG r					128	335	Ver6				
41	1451	AG r					85	307	HG l					129	188	Ver7				
42	960	AG l					86	438	PT r					130	248	Ver8				
43	4831	sLOC r					87	566	PT l					131	166	Ver9				
44	4962	sLOC l					88	164	SCC r					132	101	Ver10				
Графа 1		$p < 0,001, 5\%$					72	Графа 1	$p < 0,001, 5\%$ (м)				36	Графа 3	$p < 0,001, 5\%$ (м)	23				
Графа 2		$p < 0,001, 5\%$						Графа 2	$p < 0,001, 5\%$ (ж)				36	Графа 4	$p < 0,001, 5\%$ (ж)	23				

Таблица 3

Групповые оценки фМРТ-данных, полученных при проведении ТСИ и ТЗВ на двух выборках (по 23 чел.) мужчин и женщин по 132 зонам КАП CONN [37]

№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения			
			1	2	3	4				1	2	3	4				1	2	3	4
1	8125	FP r					45	2052	iLOC r					89	96	SCC l				
2	7012	FP l					46	2056	iLOC l					90	2541	OP r				



№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения			
			1	2	3	4				1	2	3	4				1	2	3	4
3	1363	IC r					47	752	ICC r					91	2722	OP1				
4	1319	IC l					48	655	ICC l					92	1295	Thalam r				
5	2726	SFG r					49	962	MedFC					93	1342	Thalam l				
6	2920	SFG l					50	775	SMA r					94	519	Caudate r				
7	2734	MidFG r					51	721	SMA l					95	536	Caudate l				
8	2958	MidFG l					52	1127	SubCalC					96	810	Putam. r				
9	546	IFG tri r					53	1478	PaCiGr					97	869	Putamen l				
10	654	IFG tri l					54	1427	PaCiGl					98	268	Pallid. r				
11	695	IFGoperr					55	2618	AC					99	299	Pallid. l				
12	765	IFGoper l					56	2408	PC					100	698	Hippoc r				
13	4330	PreCG r					57	5571	Precun.					101	758	Hippoc l				
14	4441	PreCG l					58	690	Cuneal r					102	340	Amygd r				
15	2387	TP r					59	544	Cuneal l					103	324	Amygd l				
16	2366	TP l					60	1442	FORbr					104	84	Accumb r				
17	280	aSTG r					61	1677	FORl					105	111	Accumb l				
18	272	aSTG l					62	660	aPaHC r					106	4097	Brain-St				
19	399	pSTG r					63	594	aPaHC l					107	2292	Cereb1 l				
20	407	pSTG l					64	318	pPaHC r					108	2501	Cereb1 r				
21	413	aMTG r					65	382	pPaHC l					109	1917	Cereb2 l				
22	457	aMTG l					66	1792	LG r					110	2152	Cereb2 r				
23	1373	pMTG r					67	1582	LG l					111	138	Cereb3 l				
24	1363	pMTG l					68	294	aTFusC r					112	190	Cereb3 r				
25	1161	toMTG r					69	319	aTFusC l					113	815	Cereb45 l				
26	865	toMTG l					70	712	pTFusC r					114	636	Cereb45 r				
27	331	aITG r					71	876	pTFusC l					115	1248	Cereb6 l				
28	331	aITG l					72	817	TOFusCr					116	1525	Cereb6 r				
29	960	pITG r					73	640	TOFusCl					117	581	Cereb7 l				
30	1012	pITG l					74	903	OFusG r					118	543	Cereb7 r				
31	775	toITG r					75	937	OFusG l					119	1888	Cereb8 l				



№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения				№ зон	Количвокс.	Аббрев. зон	Группы сравнения									
			1	2	3	4				1	2	3	4				1	2	3	4						
32	714	toITG1					76	311	FO r					120	2297	Cereb8 r										
33	3237	PostCG r					77	354	FO l					121	855	Cereb9 l										
34	3692	PostCG l					78	890	CO r					122	811	Cereb9 r										
35	1467	SPL r					79	972	CO l					123	158	Cereb10 l										
36	1485	SPL l					80	530	PO r					124	170	Cereb10 r										
37	794	aSMG r					81	564	PO l					125	47	Ver12										
38	967	aSMG l					82	376	PP r					126	223	Ver3										
39	1239	pSMGr					83	356	PP l					127	635	Ver45										
40	1094	pSMG l					84	286	HG r					128	335	Ver6										
41	1451	AG r					85	307	HG l					129	188	Ver7										
42	960	AG l					86	438	PT r					130	248	Ver8										
43	4831	sLOC r					87	566	PT l					131	166	Ver9										
44	4962	sLOC l					88	164	SCC r					132	101	Ver10										
Графа 1			$p < 0,001, 5\%$ (ТСИ)				Графа 2				$p < 0,001, 5\%$ (ТЗВ)				Графа 3				$p < 0,001, 5\%$ (ТСИ)				(ж)			
							Графа 4				$p < 0,001, 5\%$ (ТЗВ)															



18 человек, разного пола, возраста и социального статуса, что, в связи с выводами, полученными в настоящей статье, позволяет сделать заключение о весьма низком уровне достоверности выявления активных областей мозга. В тоже время в работе Д. Ланглебена [44] была опубликована первая количественная оценка точности фМРТ в сочетании с формальной парадигмой обнаружения обмана у отдельных испытуемых. В рамках своего исследования Д. Ланглебен взял в исследование 26 молодых ($19 \pm 0,5$ лет), здоровых, праворуких мужчин. На групповом уровне при уровне значимости $p < 0,001$ без дополнительных поправок ему удалось обнаружить активацию медиальной и латеральной префронтальной извилин, а также нижней и верхней частей теменной коры. Полученный им результат находит подтверждение (хотя и с большим числом зон мозга) в нашей работе. При этом было показано полное отсутствие статистически значимых вокселей на уровне $p < 0,001$ без дополнительных поправок при обратном сравнении (Ложь > Правда).

В 2014 г. в связи с ростом числа работ по рассматриваемой теме был опубликован новый метаанализ [14]. Не вдаваясь в подробности технологии его проведения, необходимо отметить, что этот метаанализ: а) обобщил данные только 23 исследований; б) 16 из 23 исследований изучали группы численностью менее 20 человек; в) в двух из 23 исследований и вовсе участвовало лишь по 5 человек. Авторы метаанализа отметили значительную изменчивость в полученных за последние шесть лет результатах экспериментальных исследований и указали, что «...от исследования к исследованию наблюдалась значительная вариабельность, поскольку ни одна из зон мозга не была активна во всех (или почти во всех) исследованиях» [14, с. 124]. Пытаясь дать объяснение такому результату, исследователи указали на «недостаточную статистическую мощность», обусловленную малыми выборками.

Предпринятый обзор общедоступной научной периодики дает основание утверждать, что представленное в данной статье исследование (по количеству исследуемых лиц разного пола, их возрасту и социальному статусу) не имеет аналогов. Изучение изменений, выявляемых в ходе анализа активности зон мозга в зависимости от размеров исследуемых выборок и пола участников исследования, может оказаться полезным для разработки критериев проведения прикладных фМРТ-МРТсП-исследований нейрокриминалистической и медицинской направленности. В целом, достаточно очевидно, что, анализируя даже максимально выровненные по всем возможным параметрам (возраст, пол, социальный статус и др.) выборки объемом по несколько человек, невозможно получить достоверные результаты для обобщения.

Подводя итог описанным выше результатам изучения оценки фМРТ-данных на групповом уровне, можно констатировать, что проведенное комплексное — с использованием фМРТ и МРТсП — исследование:

- а) позволило выделить зоны мозга (см. выше пункты В и 3.4), которые устойчиво (с учетом гендерного фактора) демонстрируют свою активность в тестах СИ-парадигмы;
- б) показало влияние размера и состава выборок на результаты, получаемые при групповом анализе фМРТ-данных;
- в) наглядно подтвердило (отмеченное ранее [3]) влияние гендерного фактора на фМРТ-данные, регистрируемые в итоге применения тестов СИ-парадигмы;
- г) указало на необходимость выполнения требований [38] о соблюдении социально-возрастной и гендерной однородности исследуемых выборок испытуемых.

Представленное выше исследование является продолжением работ, направленных на создание метода оптимальной оценки на групповом и индивидуальном уровнях фМРТ-



данных. Известно, что степень повторяемости результатов исследований зависит от ряда факторов, однако пока было мало известно о том, что является «достаточным» для каждого из этих факторов, когда речь заходит об анализе фМРТ-данных. В итоге выполненного исследования — благодаря корректному учету влияния указанных выше факторов при проведении тестов в СИ-парадигме — на групповом уровне были установлены стабильно активные зоны мозга (в формате КАП CONN), которые могут служить средством контроля качества оценки фМРТ-данных на индивидуальном уровне (в частности — при ДНССП) и основанием для выбора направлений дальнейших исследований в данной области.

Литература

1. *Полубинская С.В.* Нейродетектор лжи // *Союз криминалистов и криминологов*. 2021. № 1. С. 7–14.
2. *Ковальчук М.В., Холодный Ю.И.* Некоторые теоретические аспекты технологии исследований с применением полиграфа (статья четвертая) // *Расследование преступлений: проблемы и пути их решений*. 2023. № 3. С. 113–122.
3. *Холодный Ю.И., Малахов Д.Г., Орлов В.А., Карташов С.И., Александров Ю.И., Ковальчук М.В.* Изучение нейрокогнитивных процессов в парадигме сокрытия информации // *Экспериментальная психология*. 2021. Том 14. № 3. С. 17–39.
4. *Ковальчук М.В., Холодный Ю.И.* Некоторые теоретические аспекты технологии исследований с применением полиграфа (статья третья) // *Расследование преступлений: проблемы и пути их решений*. 2021. № 3(33). С. 85–90.
5. *Холодный Ю.И.* Криминалистическая психофизиология // *Психофизиология: учебник для вузов*. 5-е издание. Глава 23. СПб: Питер, 2022. С. 479–508.
6. *Ковальчук М.В., Карташов С.И., Орлов В.А., Холодный Ю.И.* фМРТ-диагностика скрываемой информации на индивидуальном уровне // *Вестник военного инновационного технополиса «Эра»*. 2021. Том 2. № 4. С. 103–107.
7. *Орлов В.А., Карташов С.И., Ковальчук М.В., Холодный Ю.И.* Оценка фМРТ-данных на индивидуальном уровне // *Вестник ВИТ «ЭРА»*. 2023. Том 4. № 3. С. 326–330.
8. *Малахов Д.Г., Лисицин И.С., Скитева Л.И., Холодный Ю.И.* Совершенствование технологии оценки данных, полученных с помощью МРТ-совместимого полиграфа // *Вестник Военного инновационного технополиса «ЭРА»*. 2021. Том 2. № 2. С. 125–128.
9. *Spranger T.M.* Neurosciences and the Law: An Introduction // *International Neurolaw. A Comparative Analysis*. Springer-Verlag Berlin, 2012. P. 2.
10. *Lee T.M.C., et al.* Lie Detection by Functional Magnetic Resonance Imaging // *Human Brain Mapping*. 2002. № 15. P. 157.
11. *Spence S.A., et al.* Behavioral and functional anatomical correlates of deception in humans // *Neuroreport*. 2001. Vol. 12. № 13. P. 2849–2853.
12. *Langleben D.D., et al.* Brain activity during simulated deception: an event-related functional magnetic resonance study // *NeuroImage*. 2002. Vol. 15. P. 727–732.
13. *Ganis G., et al.* Neural correlates of different types of deception: An fMRI investigation // *Cerebral Cortex*. 2003. Vol. 13. № 8. P. 830–836.
14. *Farah M.J., et al.* Functional MRI-based lie detection: scientific and societal challenges // *Nature Reviews Neuroscience*. 2014. Vol. 15(2). P. 123–131.
15. *Kittay L.* Admissibility of fMRI Lie Detection: The Cultural Bias Against “Mind Reading” Devices // *Brooklyn Law Review*. 2007. Vol. 72. Iss. 4. P. 1351–1399.
16. *Ogawa T., Matsuda I., Tsuneoka M.* The Comparison Question Test versus the Concealed Information Test? That was the question in Japan: A comment on Palmatier and Rovner // *Int. J. Psychophysiology*. 2015. Vol. 95. P. 29–30.
17. *Osugi A.* Field findings from the concealed information test in Japan // *Detecting concealed information and deception. Recent Developments*. London: Academic Press, 2018. P. 97–220.
18. *Greely H.T., Illes J.* Neuroscience-based lie detection: the urgent need for regulation // *American Journal of Law & Medicine*. 2007. Vol. 33. P. 377–431.



19. Deceiving the law // *Nature Neuroscience*. 2008. Vol. 11. P. 1231.
20. *Wagner A.* Can neuroscience identify lies? // *A judge's guide to neuroscience: a concise introduction*. University of California. 2010. P. 13–25.
21. *Langeleben D.D., et al.* Telling truth from lie in individual subjects with fast event-related fMRI // *Human Brain Mapping*. 2005. Vol. 26. P. 262–272.
22. *Davatzikos C., et al.* Classifying spatial patterns of brain activity with machine learning methods: Application to lie detection // *NeuroImage*. 2005. Vol. 28. P. 663–668.
23. *Hakun J.G., et al.* fMRI investigation of the cognitive structure of the concealed information test // *Neurocase*. 2008. Vol. 14. P. 59–67.
24. *Nose I., Murai J., Taira M.* Disclosing concealed information on the basis of cortical activations // *Neuroimage*. 2009. Vol. 44. P. 1380–1386.
25. *A judge's guide to neuroscience: a concise introduction*. University of California, 2010. 70 p.
26. *Vendemia J.M.C.* fMRI as a method of detection of deception: a review of experience // *European polygraph*. 2014. Vol. 8. № 1(27). P. 5–21.
27. *Beecher-Monas E., Garcia-Rill E.* Overselling images: fMRI and search for truth // *The John Marshall Law Review*. 2015. Vol. 48. № 3. P. 651–692.
28. *Rosenfeld J.P.* Detecting concealed information and deception. *Recent Developments*. London: Academic Press, 2018. 440 p.
29. *Wegmann H.* Summary: Neurolaw in an International Comparison // *International Neurolaw. A Comparative Analysis*. Springer-Verlag, Berlin, 2012. P. 381–411.
30. *Neuroscience and Law. Complicated Crossings and New Perspectives* – Springer. Nature Switzerland AG, 2020. P. 381–411.
31. *Dennoa D.W.* Empirical Use of Neuroscientific Evidence in Criminal Justice // *The encyclopedia of behavioral neuroscience* (2nd ed.). Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2020. 12 p.
32. *Kovalchuk M.V., Kholodny Y.I.* Functional magnetic resonance imaging augmented with polygraph: new capabilities // *Biologically Inspired Cognitive Architectures* 2019. BICA 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 948. P. 260–265. DOI:10.1007/978-3-030-25719-4_33
33. *Polygraph: issues and answers* // *Polygraph*. 1996. Vol. 25. № 2. P. 139.
34. *Nelson R.* Scientific basis for polygraph testing // *Polygraph*. 2015. Vol. 44. № 1. P. 28–61.
35. *Kholodny Y.I., Kartashov S.I., Malakhov D.G., Orlov V.A.* Improvement of the Technology of fMRI Experiments in the Concealed Information Paradigm // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. P. 591–597. DOI:10.1007/978-3-030-65596-9
36. *Posner M.I., Raichle M.E.* *Images of Mind*. Scientific American Books, 1997. 257 p.
37. *Tzourio-Mazoyer N., Landeau B., Papathanassiou D., Crivello F., Etard O., Delcroix N., Mazoyer B., Joliot M.* Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain // *Neuroimage*. 2002. Vol. 15(1). P. 273–289.
38. *Bruni T.* Cross-cultural variation and fMRI lie-detection // *Technologies on the stand: Legal and ethical questions in neuroscience and robotics*. 2012. P. 129–148.
39. *Griffanti L., Gwenaëlle D., et al.* Hand Classification of fMRI ICA Noise Components // *NeuroImage*. 2017. Vol. 154(July). P. 188–205.
40. *Bles M., Haynes J.D.* Detecting concealed information using brain-imaging technology // *Neurocase*. 2008. Vol. 14. № 1. P. 82–92. DOI:10.1080/13554790801992784
41. *Kozel F.A., Padgett T.M., George M.S.* A replication study of the neural correlates of deception // *BehavNeurosci*. 2004. Vol. 118. № 4. P. 852–856. DOI:10.1037/0735-7044.118.4.852
42. *Lee T.M., et al.* Lie detection by functional magnetic resonance imaging // *Hum. Brain Mapp*. 2002. Vol. 15. P. 157–164.
43. *Emch M., von Bastian C.C., Koch K.* Neural correlates of verbal working memory: an fMRI meta-analysis // *Front. Hum. Neurosci*. 2019. Vol. 13. № 180. DOI:10.3389/fnhum.2019.00180
44. *Langleben D.D., et al.* Telling truth from lie in individual subjects with fast event-related fMRI // *Hum. Brain Mapp*. 2005. Vol. 26. P. 262–272. DOI:10.1002/hbm.20191
45. *Shulman R.G., Hyder F., Rothman D.L.* Insights from neuroenergetics into the interpretation of functional neuroimaging: an alternative empirical model for studying the brain's support of behavior // *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*. 2014. Vol. 34. № 11. P. 1721–1735.



46. Shulman R.G., Rothman D.L. A Non-cognitive Behavioral Model for Interpreting Functional Neuroimaging Studies // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2019. Vol. 13. P. 28. DOI:10.3389/fnhum.2019.00028

References

1. Polubinskaya S.V. Nejrodetektor lzhi [Neurolic detector]. *Soyuz kriminalistov i kriminologov [Union of Criminalists and Criminologists]*, 2021. No.1, pp. 7–14. (In Russ.).
2. Koval'chuk M.V., Holodnyj Yu.I. Nekotorye teoreticheskie aspekty tekhnologii issledovaniy s primeneniem poligrafa (stat'ya chetvyortaya) [Some theoretical aspects of research technology using a polygraph (article four)]. *Rassledovanie prestuplenij: problemy i puti ih reshenij [Crime investigation: problems and solutions]*, 2023. No. 3, pp. 113–122. (In Russ.).
3. Holodnyj Yu.I., Malahov D.G., Orlov V.A., Kartashov S.I., Aleksandrov Yu.I., Koval'chuk M.V. Izuchenie nejrokognitivnykh processov v paradigme sokrytiya informacii [Studying neurocognitive processes in the information hiding paradigm]. *Eksperimental'naya psihologiya [Experimental Psychology (Russia)]*, 2021. Vol. 14, no. 3, pp. 17–39. (In Russ.).
4. Koval'chuk M.V., Holodnyj Yu.I. Nekotorye teoreticheskie aspekty tekhnologii issledovaniy s primeneniem poligrafa (stat'ya tret'ya) [Some theoretical aspects of research technology using a polygraph (article three)]. *Rassledovanie prestuplenij: problemy i puti ih reshenij [Crime investigation: problems and solutions]*, 2021. No. 3(33), pp. 85–90. (In Russ.).
5. Holodnyj Yu.I. Kriminalisticheskaya psihofiziologiya (Glava 23) [Criminalistic psychophysiology (Chapter 23)] / *Psihofiziologiya. Uchebnik dlya vuzov. 5-e izdanie [Psychophysiology. University textbook. 5th edition]*. SPb: Izdatel'stvo «Piter», 2022. Pp. 479–508. (In Russ.).
6. Koval'chuk M.V., Kartashov S.I., Orlov V.A., Holodnyj Yu.I. fMRT-diagnostics skryvaemoy informacii na individual'nom urovne [fMRI diagnostics of hidden information at the individual level]. *Vestnik Voennogo innovacionnogo tekhnopolisa "Era" [Bulletin of the Military Innovation Technopolis "Era"]*, 2021. Vol. 2, no. 4, pp. 103–107. (In Russ.).
7. Orlov V.A., Kartashov S.I., Koval'chuk M.V., Holodnyj Yu.I. Ocenka fMRT-dannykh na individual'nom urovne [Evaluation of fMRI data at the individual level]. *Vestnik VIT «ERA» [Bulletin VIT "ERA"]*, 2023. Vol. 4, no. 3, pp. 326–330. (In Russ.).
8. Malahov D.G., Lisicin I.S., Skiteva L.I., Holodnyj Yu.I. Sovershenstvovanie tekhnologii ocenki dannykh, poluchennykh s pomoshch'yu MRT-sovmestimogo poligrafa [Improving the technology for assessing data obtained using an MRI-compatible polygraph]. *Vestnik Voennogo innovacionnogo tekhnopolisa «ERA» [Bulletin of the Military Innovation Technopolis "ERA"]*, 2021. Vol. 2, no. 2, pp. 125–128. (In Russ.).
9. Spranger T.M. *Neurosciences and the Law: An Introduction. International Neurolaw. A Comparative Analysis*. Springer-Verlag Berlin, 2012. P. 2.
10. Lee T.M.C., et al. Lie Detection by Functional Magnetic Resonance Imaging. *Human Brain Mapping*, 2002. No. 15, p. 157.
11. Spence S.A., et al. Behavioral and functional anatomical correlates of deception in humans. *Neuroreport*, 2001. Vol. 12, no. 13, pp. 2849–2853.
12. Langleben D.D., et al. Brain activity during simulated deception: an event-related functional magnetic resonance study. *NeuroImage*, 2002. Vol. 15, pp. 727–732.
13. Ganis G., et al. Neural correlates of different types of deception: An fMRI investigation. *Cerebral Cortex*, 2003. Vol. 13, no. 8, pp. 830–836.
14. Farah M.J., et al. Functional MRI-based lie detection: scientific and societal challenges. *Nature Reviews Neuroscience*, 2014. Vol. 15(2), pp. 123–131.
15. Kittay L. Admissibility of fMRI Lie Detection: The Cultural Bias against “Mind Reading” Devices. *Brooklyn Law Review*, 2007. Vol. 72, Iss. 4, pp. 1351–1399.
16. Ogawa T., Matsuda I., Tsuneoka M. The Comparison Question Test versus the Concealed Information Test? That was the question in Japan: A comment on Palmatier and Rovner. *Int. J. Psychophysiology*, 2015. Vol. 95, pp. 29–30.
17. Osugi A. Field findings from the concealed information test in Japan. *Detecting concealed information and deception. Recent Developments*. London: Academic Press, 2018. Pp. 97–220.
18. Greely H.T., Illes J. Neuroscience-based lie detection: the urgent need for regulation. *American Journal of Law & Medicine*, 2007. Vol. 33, pp. 377–431.



19. Deceiving the law. *Nature Neuroscience*, 2008. Vol. 11, pp. 1231.
20. Wagner A. Can neuroscience identify lies? *A judge's guide to neuroscience: a concise introduction*. University of California, 2010. Pp. 13–25.
21. Langeleben D.D., et al. Telling truth from lie in individual subjects with fast event-related fMRI. *Human Brain Mapping*, 2005. Vol. 26, pp. 262–272.
22. Davatzikos C., et al. Classifying spatial patterns of brain activity with machine learning methods: Application to lie detection. *NeuroImage*, 2005. Vol. 28, pp. 663–668.
23. Hakun J.G., et al. fMRI investigation of the cognitive structure of the concealed information test. *Neurocase*, 2008. Vol. 14, pp. 59–67.
24. Nose I., Murai J., Taira M. Disclosing concealed information on the basis of cortical activations. *Neuroimage*, 2009. Vol. 44, pp. 1380–1386.
25. A judge's guide to neuroscience: a concise introduction. University of California, 2010. 70 p.
26. Vendemia J.M.C. fMRI as a method of detection of deception: a review of experience. *European polygraph*, 2014. Vol. 8, no. 1(27), pp. 5–21.
27. Beecher-Monas E., Garcia-Rill E. Overselling images: fMRI and search for truth. *The John Marshall Law Review*, 2015. Vol. 48, no. 3, pp. 651–692.
28. Rosenfeld J.P. Detecting concealed information and deception. Recent Developments. London: Academic Press, 2018. 440 p.
29. Wegmann H. Summary: Neurolaw in an International Comparison. *International Neurolaw. A Comparative Analysis*. Springer-Verlag. Berlin, 2012. Pp. 381–411.
30. Neuroscience and Law. Complicated Crossings and New Perspectives – Springer. Nature Switzerland AG, 2020. Pp. 381–411.
31. Denno D.W. Empirical Use of Neuroscientific Evidence in Criminal Justice. *The encyclopedia of behavioral neuroscience (2nd ed.)*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2020. 12 p.
32. Kovalchuk M.V., Kholodny Y.I. Functional magnetic resonance imaging augmented with polygraph: new capabilities. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020. Pp. 260–265. DOI:10.1007/978-3-030-25719-4 (In Russ.).
33. Polygraph: issues and answers. *Polygraph*, 1996. Vol. 25, no. 2, p. 139.
34. Nelson R. Scientific basis for polygraph testing. *Polygraph*, 2015. Vol. 44, no. 1, pp. 28–61.
35. Kholodny Y.I., Kartashov S.I., Malakhov D.G., Orlov V.A. Improvement of the Technology of fMRI Experiments in the Concealed Information Paradigm. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021. Pp. 591–597. DOI:10.1007/978-3-030-65596-9
36. Posner M.I., Raichle M.E. Images of Mind. Scientific American Books, 1997. 257p.
37. Tzourio-Mazoyer N., Landeau B., Papathanassiou D., Crivello F., Etard O., Delcroix N., Mazoyer B., Joliot M. Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. *Neuroimage*, 2002. Vol. 15(1), pp. 273–289.
38. Bruni T. Cross-cultural variation and fMRI lie-detection. *Technologies on the stand: Legal and ethical questions in neuroscience and robotics*, 2012. Pp. 129–148.
39. Griffanti L., Gwenaëlle D., et al. Hand Classification of fMRI ICA Noise Components. *NeuroImage*, 2017. Vol. 154(July), pp. 188–205.
40. Bles M., Haynes J.D. Detecting concealed information using brain-imaging technology. *Neurocase*, 2008. Vol. 14, no. 1, pp. 82–92. DOI:10.1080/13554790801992784
41. Kozel F.A., Padgett T.M., George M.S. A replication study of the neural correlates of deception. *Behav Neurosci.*, 2004. Vol. 118, no. 4, pp. 852–856. DOI:10.1037/0735-7044.118.4.852
42. Lee T.M., et al. Lie detection by functional magnetic resonance imaging. *Hum. Brain Mapp.*, 2002. Vol. 15, pp. 157–164.
43. Emch M., von Bastian C.C., Koch K. Neural correlates of verbal working memory: an fMRI meta-analysis. *Front. Hum. Neurosci.*, 2019. Vol. 13:180. DOI:10.3389/fnhum.2019.00180
44. Langeleben D.D., et al. Telling truth from lie in individual subjects with fast event-related fMRI. *Hum. Brain Mapp.*, 2005. Vol. 26, pp. 262–272. DOI:10.1002/hbm.20191
45. Shulman R.G., Hyder F., Rothman D.L. Insights from neuroenergetics into the interpretation of functional neuroimaging: an alternative empirical model for studying the brain's support of behavior. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 2014. Vol. 34, no. 11, pp. 1721–1735.



46. Shulman R.G., Rothman D.L. A Non-cognitive Behavioral Model for Interpreting Functional Neuroimaging Studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2019. Vol. 13, p. 28. DOI:10.3389/fnhum.2019.00028

Информация об авторах

Орлов Вячеслав Андреевич, старший научный сотрудник, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4840-4499>, e-mail: orlov_VA@nrcki.ru

Карташов Сергей Иванович, научный сотрудник, и.о. заместителя зав. лабораторией экспериментальной и прикладной психофизиологии, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0181-3391>, e-mail: kartashov_si@nrcki.ru

Малахов Денис Геннадьевич, научный сотрудник, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7073-374X>, e-mail: malakhov_dg@nrcki.ru

Ковальчук Михаил Валентинович, профессор, президент, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8255-7993>, e-mail: koval@nrcki.ru

Александров Юрий Иосифович, доктор психологических наук, профессор, член-корреспондент РАО, заведующий лабораторией психофизиологии имени В.Б. Швыркова, Институт психологии Российской академии наук (ФГБУН ИП РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2644-3016>, e-mail: yuraalexandrov@yandex.ru

Холодный Юрий Иванович, доктор юридических наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией экспериментальной и прикладной психофизиологии, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5201-519X>, e-mail: kholodny@yandex.ru

Information about the authors

Vyacheslav A. Orlov, Senior Research Associate, National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4840-4499>, e-mail: orlov_VA@nrcki.ru

Sergey I. Kartashov, Research Associate, Acting Deputy Manager of Laboratory of Experimental and Applied Psychophysiology, National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0181-3391>, e-mail: kartashov_si@nrcki.ru

Denis G. Malakhov, Research Associate, National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7073-374X>, e-mail: malakhov_dg@nrcki.ru

Mikhail V. Kovalchuk, Professor, President, National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8255-7993>, e-mail: koval@nrcki.ru

Yuri I. Alexandrov, Doctor of Psychology, Professor, Head of the Laboratory of Psychophysiology named after V.B. Shvyrkova, Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2644-3016>, e-mail: yuraalexandrov@yandex.ru

Yuri I. Kholodny, Doctor of Law, Senior Research Associate, Manager of Laboratory of Experimental and Applied Psychophysiology, National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5201-519X>, e-mail: kholodny@yandex.ru

Получена 24.01.2024

Received 24.01.2024

Принята в печать 01.03.2024

Accepted 01.03.2024