

© Бравве Л.В. и др., 2024

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 616.89-008.431; 616.89-008.481; 616.89-02-036; 611.811; 616-71

<https://doi.org/10.30629/2618-6667-2024-22-2-66-77>

Магнитно-резонансная томография в исследовании кататонии: применение диффузионной МРТ и функциональной МРТ в состоянии покоя

Л.В. Бравве¹, Г.Ш. Мамедова¹, М.А. Кайдан¹, В.Ф. Морозов², С.И. Карташов², А.С. Заборин², Н.В. Захарова^{3,4}¹ГБУЗ ДЗМ ПКБ № 1 им. Алексеева, Москва, Россия²ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия³Институт персонализированной психиатрии и неврологии, ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии

и неврологии им. В.М. Бехтерева Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

⁴Международный научно-образовательный центр нейropsychиатрии, Самарский государственный медицинский университет, Самара, РоссияАвтор для корреспонденции: Лидия Викторовна Бравве, bravve95@yandex.ru

Резюме

Обоснование: кататония находится в фокусе нейровизуализационных исследований как синдром с неуточненными звеньями патогенеза. Современные методы нейровизуализации способствуют пониманию патофизиологических механизмов этого расстройства. **Цель** — провести систематический обзор научных публикаций для подтверждения гипотезы сопряженности кататонии со структурными и функциональными изменениями головного мозга. В анализ включены исследования методом диффузионной МРТ (дМРТ) для суждения об изменении плотности белого или серого вещества по показателю фракционной анизотропии (ФА) и методом функциональной МРТ (фМРТ) в покое с оценкой показателя связанности. **Материалы и методы:** поиск проводился в базе данных PubMed, ScienceDirect и Mendeley с использованием поискового запроса по терминам (и их производным) для: «catatonia», «resting state functional magnetic resonance imaging» и «catatonia», «diffusion weighted magnetic resonance imaging». Поиск обнаружил 147 публикаций для предварительного скрининга, из них 96 по фМРТ кататонии и 51 по дМРТ. На стадии скрининга удалили дубликаты и статьи, к которым не удалось получить доступ. В результате остались 21 статья по фМРТ и 18 статей по дМРТ. Статьи были проверены на соответствие критериям включения: 1) оригинальные полнотекстовые статьи; 2) верификация кататонии, не обусловленной соматическим заболеванием, с использованием психометрических шкал Буша–Фрэнсиса и/или Нортхоффа; 3) возраст обследованных 18 лет и старше. В результате в обзор включены три статьи по фМРТ и три статьи по дМРТ. **Заключение:** обнаружены аберрации показателей ФА при кататонии, что может быть связано с плотностью белого вещества головного мозга. Выявлены изменения связанности в соматосенсорной сети, что позволяет рассматривать эти нарушения как потенциальные маркеры кататонии. Для подтверждения выдвинутой гипотезы и полученных результатов требуется проведение дальнейших исследований в силу малого количества публикаций по данной проблеме.

Ключевые слова: кататония, диффузионная МРТ, функциональная МРТ в состоянии покоя, шизофрения, фракционная анизотропия, связанность, белое вещество

Финансирование: Исследование проведено за счет средств, выделенных для выполнения работ по государственному заданию на тему «Молекулярно-генетические и нейрофизиологические предикторы первично психотических расстройств» (ЕГИСУ НИОКТР рег. № 123031600072-3). Обзор зарегистрирован в PROSPERO (ID PROSPERO: CRD42023423771).

Для цитирования: Бравве Л.В., Мамедова Г.Ш., Кайдан М.А., Морозов В.Ф., Карташов С.И., Заборин А.С., Захарова Н.В. Магнитно-резонансная томография в исследовании кататонии: применение диффузионной МРТ и функциональной МРТ в состоянии покоя. *Психиатрия*. 2024;22(2):66–77. <https://doi.org/10.30629/2618-6667-2024-22-2-66-77>

REVIEW

UDC 616.89-008.431; 616.89-008.481; 616.89-02-036; 611.811; 616-71

<https://doi.org/10.30629/2618-6667-2024-22-2-66-77>

Magnetic Resonance Imaging in the Study of Catatonia: Use of DWI and Resting State fMRI

Lidia V. Bravve¹, Galina S. Mamedova¹, Mariya A. Kaydan¹, Vladimir F. Morozov², Sergey I. Kartashov², Alexander S. Zaborin², Natalia V. Zakharova^{3,4}¹State Budgetary Institution of Health Care "Psychiatric Hospital no. 1 Named after N.A. Alexeev of Moscow Department of Health, Moscow, Russia"²NRC "Kurchatov Institute", Moscow, Russia³Institute of Personalized Psychiatry and Neurology, V.M. Bekhterev National Medical Research Centre for Psychiatry and Neurology, St. Petersburg, Russia⁴International Scientific and Educational Center of Neuropsychiatry in Samara State Medical University, Samara, RussiaCorresponding author: Lidia V. Bravve, bravve95@yandex.ru

Summary

Background: catatonia is the focus of neurophysiological research as a syndrome with unspecified pathogenesis. Modern neuroimaging techniques contribute to the understanding of the pathophysiological mechanisms of this disorder. **The aim was** to conduct a systematic review of the scientific literature to confirm that catatonia is associated with structural and functional changes in the brain. The analysis made up researches using diffusion MRI for judgement on indirect measure of changes in white or gray matter density using a fractional anisotropy (FA) and resting state functional MRI for assessment a measure of connectivity. **Materials and methods:** PubMed, ScienceDirect and Mendeley databases were searched using the search terms (and their derivatives) for: “catatonia”, “resting state functional magnetic resonance imaging” and “catatonia”, “diffusion weighted magnetic resonance imaging”. The search yielded 147 publications for preliminary screening, of which 96 were on fMRI of catatonia and 51 on dMRI. During the screening stage, duplicates and articles that could not be accessed were removed. This left 21 fMRI articles and 18 dMRI articles. After which the articles were checked for compliance with the inclusion criteria: 1) original full-text articles; 2) identification of catatonia not caused by a somatic disease and verified using the Bush–Francis and/or Northoff psychometric scales; 3) age of the examined 18 years and over. 3 fMRI and 3 dMRI articles were included. **Conclusions:** aberrations of FA indicators were found in catatonia, which may be associated with the density of the white matter of the brain. Changes in connectivity in the somatosensory network have been identified, which allows to consider these disorders as potential markers of catatonia. To confirm the hypothesis and results obtained, further research is required due to the small number of publications on this topic.

Keywords: catatonia, diffusion MRI, rs fMRI, schizophrenia, FA, fractional anisotropy, connectivity, white matter

Funding: The study was carried out using funds allocated to carry out work on the state assignment on the topic “Molecular genetic and neurophysiological predictors of primary psychotic disorders” (EGISU NIOKTR reg. No. 123031600072-3). The review is registered in PROSPERO (ID PROSPERO: CRD42023423771).

For citation: Bravve L.V., Mamedova G. S., Kaydan M.A., Morozov V.F., Kartashov S.I., Zaborin A.S., Zakharova N.V. Magnetic Resonance Imaging in the Study of Catatonia: Use of DWI and Resting State fMRI. *Psychiatry (Moscow) (Psikhiatriya)*. 2024;22(2):66–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.30629/2618-6667-2024-22-2-66-77>

Сокращения/Abbreviations

РШС — расстройства шизофренического спектра/
Schizophrenia spectrum disorders, SSD

РЧ-катушка — радиочастотная катушка/Radio
frequency coil, RFC

ФА — фракционная анизотропия/Fractional
anisotropy, FA

BFCRS — рейтинговая шкала кататонии Буша–Фрэн-
сиса/Bush–Francis Catatonia Rating Scale

NCRS — шкала кататонии Northoff/Northoff
Catatonia Rating Scale

DSM-IV — диагностическое и статистическое ру-
ководство по психическим расстройствам IV издания/
Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders,
Fourth Edition

DSM-IV-TR — «текстовая ревизия» диагностичес-
кого и статистического руководства по психическим
расстройствам IV издания/text revision of DSM-IV

DSM-5 — диагностическое и статистическое ру-
ководство по психическим расстройствам 5-го издания/
Diagnostic and Statistical Manual of mental disorders,
fifth edition

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития нейронаук кататония представляет значительный интерес для исследователей различных дисциплин. Актуальность изучения проблемы кататонии обусловлена высокими показателями ее распространенности [1–6]. В ходе клинического осмотра пациентов психиатрического профиля кататония диагностируется в 5–10% случаев [7, 8]. Оценка статуса с помощью психометрических инструментов увеличивает долю больных с кататонией до 20–43% [9–11]. С другой стороны, в силу разнообразия клинических проявлений кататонии в течение многих десятилетий ведутся дискуссии о ее связи с другими

психическими расстройствами и месте в психопатологической классификации и патогенезе.

Отдельные авторы [12–14] рассматривают кататонию как нозологически самостоятельное заболевание и выносят ее в дискретный диагноз наряду с аффективной или психотической патологией. Другие авторы уточняют [15–19] конкретные критерии для синдромальной идентификации кататонии с основными клиническими признаками, купирующимися бензодиазепинами и электросудорожной терапией (ЭСТ). Вместе с тем высказывается мнение о преждевременности отделения кататонии от шизофрении, так как психомоторные аномалии — один из основных доменов первичных психозов, а для других расстройств (аффективных или неврологических) нет специфических двигательных симптомов [3]. Промежуточное положение занимают указания на то, что кататония при шизофрении или аффективных расстройствах проявляется сходными симптомами, но отличается прогнозом и исходом [20]. Таким образом, вариативность рассуждений о кататонии в период транснозологического этапа развития психиатрии нуждается в осмыслении механизмов ее возникновения и патогенеза.

Согласно гипотезе, предложенной G. Northoff в 2002 г. [21], гетерогенность психомоторных расстройств при кататонии и проблема их терапии обусловлены различиями в степени поражения или выраженности дисфункции тех или иных узлов нейрональных сетей, связующих передние отделы коры и подкорковые структуры.

Внедрение новых методов нейровизуализации позволило дополнить и расширить наше понимание механизмов развития различных психических заболеваний.

В ходе предварительного просмотра нейровизуализационных исследований кататонии мы выделили два наиболее распространенных и перспективных направления, на которых сосредоточим внимание:

диффузионную и функциональную магнитно-резонансную томографию в покое.

Диффузионная магнитно-резонансная томография (дМРТ) позволяет устанавливать наличие анатомических изменений как во всем объеме головного мозга, так и в отдельных его зонах, фокусируясь на визуальных характеристиках волокон белого вещества [22, 23]. дМРТ основана на диффузии воды в зависимости от пространственного положения молекул в головном мозге. Таким образом можно оценить величину анизотропии, направление роста трактов белого вещества и их целостность [24, 25]. Этот метод высокочувствителен для фиксации изменений на микроструктурном уровне и находит широкое применение в исследовании этиопатогенетических звеньев психических расстройств [26, 27].

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) регистрирует гемодинамические изменения в головном мозге, отражающие активность его регионов [28, 29]. Регистрация фМРТ в состоянии покоя позволяет оценить функциональную связанность, раскрывая паттерны внутренней коммуникации мозговых областей [30]. Таким образом, функциональная МРТ в покое отражает динамику функциональной активности мозга, что является важным для более полного понимания патологических процессов при психических расстройствах [31, 32].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обзор научных публикаций, посвященных изучению нейровизуализации кататонии, проведен с декабря 2022 по октябрь 2023 г. в соответствии с принципами проведения систематических обзоров PRISMA [33] (рис. 1).

Поиск проводился в базах данных PubMed, ScienceDirect и Mendeley с использованием поискового запроса по терминам (и их производным): «catatonia», «resting state functional magnetic resonance imaging, rs fMRI» и «catatonia», «diffusion weighted magnetic resonance imaging, DWI». Развернутые поисковые стратегии для каждой базы данных доступны в Приложении 1.

Язык статей — английский, в качестве объекта исследований рассматривались только люди. Дата публикаций не ограничена. Тип публикации включает наблюдательные исследования и «случай контроль». Не рассматривались систематические обзоры, обзоры и серии случаев.

Поиск дал 147 публикаций для предварительного скрининга, из них 96 по фМРТ кататонии и 51 по дМРТ (рис. 1). Мы выявили и удалили суммарно 51 дубликат, в результате чего осталось 54 статьи по фМРТ и 42 публикации по дМРТ.

Скрининг и оценка приемлемости

Затем были отобраны 96 публикаций по названию, ключевым словам и аннотации. Исключены публикации, не соответствующие критериям отбора: обзорные

статьи, серии случаев, письма в редакцию, тезисы для конференций, не переведенные на английский, работы, использующие в качестве объекта исследований животных. Также исключались статьи, где кататония считалась обусловленной соматическим заболеванием или не оценивалась по психометрическим шкалам. В результате осталось 49 потенциально приемлемых статей. Для пяти работ не удалось получить доступ к полному тексту документа, вследствие чего их исключили. 44 публикации подверглись тщательной оценке с просмотром полнотекстовых документов на соответствие критериям отбора для обзора.

Использовали следующие критерии: 1) оригинальные полнотекстовые статьи, написанные на английском языке; 2) выделение группы лиц с кататонией, не обусловленной соматическим заболеванием и верифицированной с использованием психометрических шкал Буша–Фрэнсиса (BFCRS) [34] и/или Нортхофа (NCRS) [35]; 3) возраст обследованных: 18 лет и старше.

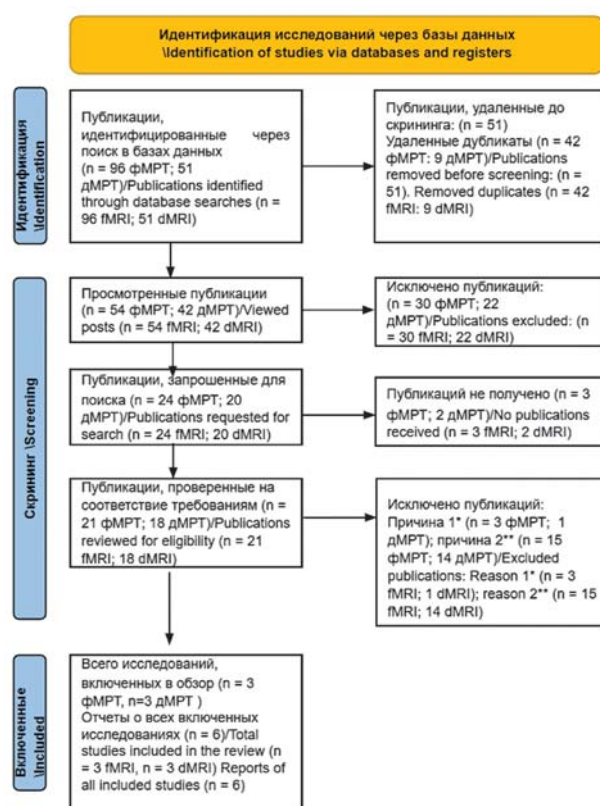


Рис. 1. Блок-схема PRISMA 2020 [36] для отбора публикаций в обзор

*Причина 1: несоответствие клиническим характеристикам (не верифицирован кататонический синдром, лица с кататонией не выделены в отдельную группу)

**Причина 2: несоответствие техническим параметрам, отсутствие соответствующих данных по фМРТ, дМРТ

Fig. 1 PRISMA 2020 flowchart [36] for selection of publications in the review

*Cause 1. Inconsistency with clinical characteristics (we do not verify catatonic syndrome, persons with catatonia are not included in a separate group)

**Cause 2. Non-compliance with technical parameters, lack of relevant data on fMRI, dMRI

Таблица 1. Результаты проведенного систематического обзора фМРТ в покое
Table 1 Results of the systematic review of fMRI

Авторы, год публикации, doi статьи/ Authors, year of publication, doi of the article	Пациенты с кататонией (средний возраст)/группа сравнения (средний возраст)/контрольная группа (средний возраст)/Patients with catatonia (average age)/comparison group (average age)/control group (average age)	Критерии кататонии (для шкал средней балл), особенности клинической картины: критерии верификации диагноза/Criteria for catatonia (average score for scales), features of the clinical picture; diagnosis verification criteria	Особенности терапии/Features of therapy	Протокол МРТ/MRI protocol	Результат (аномалии мозга)/Result (brain abnormalities)	Выводы/Conclusions
Parekh P. et al., 2022 [37], doi: 10.1007/s00406-021-01345-w	15 пациентов с кататонией (в рамках РШС и аффективных психотических расстройств) (25,33 ± 6,03 года)/15 здоровых добровольцев (27,27 ± 7,30 года)	BFCRS (средний балл для пациентов с кататонией = 21,07 ± 5,69), остро возникшая двигательная заторможенность, психический статус пациентов представлен явлениями заторможенности и субступора: DSM-5	На момент проведения МРТ-исследования семь пациентов с кататонией не получали терапии, восемь пациентов с кататонией получали терапию лоразепамом (лоразепам в инъекционной форме в разовой дозировке 2 мг); из 15 пациентов с кататонией девять пациентов ответили на терапию лоразепамом, оставшимися шести провели ЭСТ	3-T МРТ сканер Philips Achieva (TE/TR = 30/2000 мс, воксель: 1,65 × 1,65 × 3,00 мм ³ , количество срезов: 45, угол отклонения: 90°) и 3-T МРТ-сканер Philips Ingenia (TE/TR = 30/3000 мс, воксель: 3,39 × 3,39 × 3,39 мм ³ , количество срезов: 48, угол отклонения: 90°)	1. Локальное снижение связанности внутри регионов и междоликовых связей для сенсорной коры, височно-теменной и мозжечковой области 2. Снижение связанности в следующих сетях: сенсорной, салиентной, лобно-височной и мозжечковой 3. Диффузное увеличение количества связей в сенсомоторном, салиентном, лобно-теменном, височном и мозжечковом регионах 4. Повышенная связанность в лобно-височном и мозжечковом регионах у пациентов, отвечающих на лоразепам 5. Анализ повоксельной связанности (seed-to-voxel connectivity) в левой прецентральной извилине показал корреляцию со степенью выражены двигательных нарушений (баллами шкалы BFCRS)	Ключевое нарушение, выявленное в группе пациентов с кататонией по сравнению с группой здорового контроля, — снижение связанности в сенсомоторной коре*
Sambataro F. et al., 2021 [38], doi: 10.1002/hbm.25671	30 пациентов с кататонией и РШС (39,40 ± 10,49 года)/28 пациентов без кататонис РШС (38,71 ± 10,77 года)	NCRS (общий балл ≥ 3; не менее 1 балла в трех различных категориях симптомов, т.е. двигательных, поведенческих и аффективных, (средний балл для пациентов с кататонией = 21,1 ± 5,7); DSM-IV-TR	На момент проведения МРТ-исследования пациенты обеих групп получали только антипсихотические препараты в течение как минимум двух недель, дозировки переведены в оланзапинный эквивалент. Средняя суточная дозировка в оланзапиновом эквиваленте в группе пациентов с кататонией и РШС = 18,03 ± 9,64 мг, в группе пациентов без кататонии с РШС 18,82 ± 12,55 мг	3-T МРТ-сканер Magnetom TIM Trio MR с 32-канальной головной РЧ-катушкой (TE/TR = 28/1790, воксель: 3 × 3 × 3 мм ³ , кол-во срезов: 34, угол отклонения: 76°, FOV: 192 × 192 мм ²)	1. Пациенты с кататонией продемонстрировали повышенную статическую функциональную связанность в мозжечковых сетях 2. Обнаружены сниженные низкочастотные осцилляции в сети базальных ганглиев 3. Динамическая связанность увеличена в сенсорной сети 4. Выявлена положительная корреляция между статической функциональной связанностью в сенсомоторной сети (мозжечке) и моторным показателем NCRS, связанностью в левой верхней лобной извилине регуляторной (executive) сети, поведенческим показателем NCRS	Снижение статической функциональной связанности в мозжечковой сети при кататонии. Динамические нарушения в сенсомоторной сети (увеличение функциональной связанности)
Hirjak D. et al., 2020 [39], doi: 10.1093/schbul/sbz042	24 пациента с кататонией и РШС (38,92 ± 11,62 года)/22 пациента без кататонии с РШС (40,18 ± 11,83 года)	NCRS (общий балл ≥ 3; не менее 1 балла в трех различных категориях симптомов, т.е. двигательных, поведенческих и аффективных = 6,88 ± 2,38); DSM-IV-TR	На момент проведения МРТ-исследования пациенты обеих групп получали антипсихотические препараты в течение как минимум двух недель, прием бензодиазепинов прекращен минимум за 72 ч до исследования, дозировки переведены в оланзапинный эквивалент. Средняя суточная дозировка в оланзапиновом эквиваленте в группе пациентов с кататонией и РШС = 17,17 ± 8,18 мг, в группе пациентов без кататонии с РШС = 16,38 ± 10,54 мг	3-T МРТ-сканер Magnetom TIM Trio с 32-канальной головной РЧ-катушкой (TE/TR = 28/1790 мс, воксель: 3 × 3 × 3 мм ³ , кол-во срезов: 34, угол отклонения: 76°, FOV: 192 × 192 мм ²)	1. У пациентов с кататонией выявлены регионы сниженной нейронной активности в лобно-теменной и лобно-височной/кортикальной моторной сети 2. Нейронная активность в мозжечковой и префронтальной/кортикальной моторной сетях коррелирует с баллами поведенческого домена кататонии по шкале NCRS — нейронная активность в лобно-теменной сети коррелирует с баллами аффективного домена NCRS	Основное нарушение при кататонии — снижение нейронной активности в лобно-теменной области и лобно-височной/кортикальной моторной сети (соматосенсорной сети)

* В исследовании Р. Parekh и соавт. 2022 [39] отсутствует группа сравнения пациентов без кататонии, что не позволяет говорить о специфичности выявленных данных для кататонии.

Исключались работы, в которых отсутствовали свидетельства верификации кататонии или технические характеристики МРТ.

Рассматривались только результаты обследований с расчетом параметра фракционной анизотропии (ФА) при проведении диффузионной МРТ как метода количественной оценки структурной целостности белого вещества головного мозга. Принималось во внимание сравнение ФА у пациентов с кататонией и у здоровых добровольцев или лиц с другими психическими заболеваниями.

В выборку статей по функциональной МРТ в покое включены только записи, касающиеся расчета параметра функциональной связанности разных областей мозга.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Каждая статья прошла оценку двумя независимыми врачами-психиатрами и двумя независимыми медицинскими физиками. После удаления дублированных статей в таблицу вносили следующие данные: название статьи, авторов, doi публикации, год публикации, технические характеристики МР-томографа, программу для расчетов параметра фракционной анизотропии (ФА) и ее версию, общий размер выборки, число пациентов с кататонией, число пациентов из группы сравнения, число лиц из группы здорового контроля. Регистрировался средний возраст участников (со средним отклонением), указывались критерии верификации диагноза, особенности клинической картины заболевания, лекарственной терапии на момент исследования, результаты психометрического обследования, если они содержались в тексте статьи. После извлечения вышеперечисленных данных статьи, публикации, соответствующие критериям поиска, включили в обзор.

ОБСУЖДЕНИЕ

В отобранных для обзора работах исследователи использовали категориальный и дименсиональный методологические подходы при анализе структурно-функциональных особенностей мозга при кататонии. Категориальный подход направлен на установление различий между группами, а дименсиональный ориентирован на выявление корреляций с выраженностью симптомов или синдромов в соответствии с клиническими шкалами.

В клинических исследованиях чаще всего применяют два психометрических инструмента, хотя и составленных с опорой на концепцию K. Kahlbaum о кататонии как отдельном синдроме, но имеющих некоторые отличия. Наиболее признанная рейтинговая шкала кататонии Буша–Фрэнсиса [34] состоит из 23 пунктов (симптомов), ранжированных от 0 до 3 баллов в зависимости от степени тяжести или длительности/частоты проявления. Для констатации кататонии достаточно суммарной

оценки в 2 балла. Шкала кататонии Нортхоффа [35] разработана на основании анализа исторической и современной литературы и включает 40 пунктов, разделенных на двигательную, аффективную и поведенческую категории. Диагноз устанавливается при наличии по крайней мере одного симптома каждой категории.

Исследование фМРТ при кататонии

Категориальный подход. Наиболее часто воспроизводимым результатом функционального исследования кататонии с брадикинезией является гипоконнеktivность в соматосенсорной, лобно-теменной и мозжечковой сетях [37–39]. Снижение связанности в этих регионах может рассматриваться как ключевой фактор, влияющий на уменьшение двигательной активности и развитие ступора, характерных для кататонических симптомов.

Соматосенсорная сеть включает в себя различные области, такие как соматосенсорная (постцентральная извилина), моторная (прецентральная извилина) и дополнительная моторная область [43]. Нарушения в моторной области и в мозжечковой сети рассматривались как потенциальные биомаркеры кататонии на протяжении длительного времени, однако результаты исследований разнились, что не позволяет сделать однозначные выводы [24, 25, 44]. Результаты исследования J. Wasserthal и соавт. [40] демонстрируют увеличение связанности между моторной корой (М1) и таламусом, тогда как в работе F. Sambataro и соавт. [38] обнаружено динамическое увеличение функциональной связанности в сенсомоторной сети. Остается открытым вопрос о возможности компенсаторного увеличения связанности между отдельными регионами головного мозга.

Лобно-теменная сеть включает верхнюю, среднюю, медиальную и нижнюю лобную кору, а также орбитофронтальную кору (ОФК), ответственную за когнитивный контроль обработки эмоций [45]. ОФК может играть значимую роль в патологии кататонии, связанной с изменениями эмоциональной регуляции и когнитивным контролем [25, 46, 47].

Дименсиональный подход. Дименсиональный анализ результатов выявил положительную корреляцию между изменениями в левой прецентральной извилине и показателями по шкале BFCRS [37], отражающей степень выраженности двигательных нарушений. Баллы моторного компонента шкалы Northoff демонстрировали связь с уровнем статической функциональной связанности в сенсомоторной области [38].

Установлена корреляция между нейронной активностью лобно-теменного региона и оценками аффективной категории шкалы Northoff [38].

Обнаружены корреляции между показателями поведенческой категории шкалы кататонии Northoff и характеристиками левой верхней лобной извилины [38], мозжечковых и префронтальных/кортикальных моторных сетей [39]. Эти ассоциации указывают на важность указанных мозговых регионов в контексте поведенческих проявлений кататонии и подчеркивают необходимость более глубокого исследования механизмов, лежащих в основе этих связей.

Таблица 2. Результаты проведенного систематического обзора дМРТ
Table 2 Results of the systematic review of dMRI

Авторы, год публикации, doi статьи/Authors, year of publication, doi of the article	Пациенты с кататонией (средний возраст)/группа сравнения (средний возраст/контрольная группа (средний возраст)/Patients with catatonia (average age)/comparison group (average age)/control group (average age)	Критерии кататонии (для шкал: средний балл), особенности клинической картины; критерии верификации диагноза/Criteria for catatonia (average score for scales), features of the clinical picture; diagnosis verification criteria	Особенности терапии/Features of therapy	Протокол МРТ; программа для расчета параметра ФА и ее версия/MRI protocol; program for calculating the FA parameter and its version	Результат (аномалии мозга)/Result (brain abnormalities)	Выводы/Conclusions
Wasserthal J et al., 2020 [40], doi: 10.1038/s41386-020-0691-2	30 пациентов с кататонией и РШС (39,40 ± 10,49)/29 без кататонии с РШС (38,00 ± 11,25)/28 здоровых добровольцев (35,14 ± 14,18)	NCRS (общий балл ≥ 3; не менее 1 балла в трех различных категориях симптомов, т.е. двигательных, поведенческих и аффективных, средний балл для пациентов с кататонией = 6,9 ± 2,6); DSM-IV-TR	На момент проведения МРТ-исследования пациенты обеих групп получали только антипсихотические препараты, дозировки переведены в оланзапиновый эквивалент. Средняя суточная дозировка в оланзапиновом эквиваленте в группе пациентов с кататонией и РШС = 18,03 ± 9,64 мг, в группе пациентов без кататонии с РШС = 18,41 ± 12,51 мг	3-T MPT-сканер Magnetom TIM Trio Siemens с 32-канальной головной РЧ-катушкой (TE/TR = 86/8400 мс, кол-во срезов: 64, толщина среза: 1,7 мм, FOV = 256 × 256 мм ² , 60 направлений диффузионно-кодированных градиентов с величиной b-фактора = 1500 с/мм ²); TBSS, TractSeg	1. Обнаружена сниженная ФА в мозолистом теле; увеличенная ФА в таламо-премоторном тракте в группе пациентов с кататонией по сравнению с группой сравнения пациентов без кататонии 2. В кортикоспинальном тракте обнаружены как сниженная, так и увеличенная ФА в группе пациентов с кататонией по сравнению с группой сравнения пациентов без кататонии 3. Снижена ФА в мозолистом теле, левом и правом T_PREM, левом и правом ST_FO и обоих ST_PREM сравнению со здоровым контролем в группе пациентов с кататонией по сравнению с группой сравнения пациентов без кататонии 4. Положительная корреляция обнаружена между поведенческой шкалой NCRS и ФА в левом кортикоспинальном тракте у здоровых добровольцев	Снижение ФА: мозолистое тело; кортикоспинальный тракт Увеличение ФА: таламо-премоторный тракт; кортикоспинальный тракт
Vîher PV et al., 2020 [41], doi: 10.1016/j.schres.2020.03.017	13 пациентов с кататонией и РШС (40,7 ± 13,6)/35 пациентов без кататонии с РШС (37,4 ± 11,4)/43 здоровых добровольца (38,6 ± 13,7)	BFCRS (присутствие ≥ 2 пунктов на протяжении минимум 24 ч), средний балл для пациентов с кататонией = 7,2 ± 3,9; DSM-5	92% от общего числа пациентов получили антипсихотики. В группе пациентов с кататонией и РШС средняя дозировка в хлорпромазиновом эквиваленте = 612,7 ± 272,6 мг, в группе пациентов без кататонии с РШС = 514,8 ± 419,8 мг	3-T MPT-сканер Magnetom TIM Trio Siemens с 12-канальной головной РЧ-катушкой (TE/TR = 92 мс/8 с, кол-во срезов: 59, толщина среза: 2 мм, FOV = 256 × 256 мм ² , 42 направления диффузионно-кодированных градиентов с величиной b-фактора = 1300 с/мм ²); TBSS	1. Пациенты с кататонией имели большие значения ФА в мозолистом теле, поясном пучке, внутренней и наружной капсуле, кортикоспинальном тракте, сагитальном слое, верхнем и нижнем продольном пучках и нижнем лобно-затылочном пучке (lFOF) по сравнению с пациентами без кататонии 2. Повышение ФА наблюдалось в левой внутренней капсуле, левой задней лучистой короне и левом кортикоспинальном тракте по сравнению со значением у здоровых добровольцев	У пациентов с кататонией изменения находятся в специфических двигательных путях: кортикоспинальном тракте, внутренней капсуле и мозолистом теле; а также в продольном пучке, то есть ассоциативном тракте. В целом, у них наблюдалось повышенное ФА
Krivou A et al., 2021 [42], без doi	Семь пациентов с шизофренией и кататонией в стадии ремиссии (34 ± 6,2)/семь пациентов с шизофренией без кататонии (31 ± 2,6)	Наличие в анамнезе хотя бы одного эпизода кататонии обеспечило включение в группу пациентов с кататонией и РШС (для верификации кататонии использованы критерии кататонического типа шизофрении DSM-IV-TR). BFCRS (средний балл для пациентов с кататонией = 0), на момент проведения МРТ-исследования пациенты обеих групп находились в ремиссии; DSM-IV-TR	Большая часть пациентов получила антипсихотики того поколения	3-T MPT-сканер SignaHDxt General Elctric с 8-канальной головной РЧ-катушкой (параметры сканирования: TE/TR = 99/12000 мс; кол-во срезов: 59, толщина среза: 3,2 мм, FOV = 26 см; 25 направлений диффузионно-кодированных градиентов с величиной b-фактора = 1000 с/мм ² ; Functool Performance (версия 5.2)	1. Пациенты с кататонией в анамнезе демонстрировали большее значение ФА в валике мозолистого тела, в заднем отделе правой внутренней капсулы и в правом полушарии мозжечка 2. Обнаружена обратная корреляция между ФА и тяжестью симптомов по шкале PANSS	Увеличение ФА: валик мозолистого тела; задний отдел правой внутренней капсулы; правое полушарие мозжечка

Исследование fMPT кататонии

Категориальный подход. Касательно категориального подхода результаты представленных исследований оказались противоречивыми. Например, в двух исследованиях отмечено увеличение ФА в мозжечке, внутренней капсуле и мозолистом теле [41, 42], в то время как в третьем исследовании выявлено снижение ФА мозолистого тела [40]. Кроме того, в кортикоспинальном тракте обнаружены разнонаправленные изменения [40].

Таким образом, наиболее последовательным результатом оказались нарушения ФА в специфических моторных путях [41]. Однако, несмотря на общую тенденцию, противоречия в результатах подчеркивают сложность и многогранность изменений в структуре белого вещества при кататонии.

Дименсиональный подход. Выявлена положительная корреляция суммы баллов по шкале кататонии Northoff (NCRS-dv) и показателя ФА в левом кортикоспинальном тракте [40]. Также обнаружена обратная корреляция ФА в правой задней внутренней капсуле и валике мозолистого тела с суммарным баллом шкалы PANSS при кататонии [42]. Предполагается, что уровень анизотропии в двигательной области у пациентов с кататонией может коррелировать с более благоприятным исходом в зависимости от клинической тяжести [44].

ОГРАНИЧЕНИЯ

Для обозначения возможностей исследования следует признать несколько ограничений. Из 147 обнаруженных публикаций, где 96 посвящены функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) в покое, а 51 — диффузионной магнитно-резонансной томографии (дМРТ), только шесть были включены в итоговый анализ (три и три соответственно). Это ограничивает возможность применения статистических инструментов для более обширного анализа результатов. Кроме того, в каждом исследовании количество испытуемых не превышало 100 человек, что не позволяет трактовать полученные результаты исследований как специфические для кататонии. В некоторых статьях не указан способ верификации кататонического синдрома, что не позволило включить подобные исследования в анализ, однако потенциально подобные сведения могли оказывать воздействие на его результаты.

Отдельно отметим, что в работе P. Parekh и соавт. [37] нет контрольной группы пациентов без кататонии, что не позволяет говорить о характерности выявленных изменений для кататонии. Однако в группу испытуемых с кататонией включены лица не только с расстройствами шизофренического спектра, но и аффективного, психический статус которых определяется острой кататонией, подтвержденной моторными шкалами. В связи с вышеперечисленными критериями обсуждаемое исследование включено в обзор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Патогенез кататонии в настоящее время окончательно неизвестен. Вследствие отсутствия обоснованного понимания патофизиологических характеристик кататонии возможности практикующих врачей и клинических фармакологов ограничены, что влияет на эффективность лечения пациентов с этим расстройством.

Обнаруженная гипосвязанность в соматосенсорной, лобно-теменной и мозжечковой сетях часто наблюдается при кататонической заторможенности, в то время как сведений о состоянии обсуждаемых характеристик при кататоническом возбуждении в литературе нет. Продолжение исследований обеспечит понимание механизмов развития моторных нарушений, проявляющихся ступором и возбуждением.

Структурные и функциональные изменения, обнаруженные при кататонии в соматосенсорной, моторной и дополнительных моторных областях, различаются в работах разных авторов [39, 48, 49]. Одни исследователи сообщают о снижении связанности в этой сети [37], а другие, напротив, отмечают усиление коннективности этих регионов [38]. Аффективные нарушения и изменение когнитивного контроля при кататонии недостаточно изучены с использованием методов нейровизуализации. Данные этих исследований обнаруживаются лишь в единичных сообщениях [39, 50–53].

Выявлена корреляция между степенью выраженности двигательных нарушений по шкале BFCRS и функциональной связанностью левой прецентральной извилины [37], уровнем статической функциональной связанности в сенсомоторной сети (мозжечке) [37, 38]. Выявляемые при кататонической заторможенности изменения связанности в перечисленных областях отражают вовлечение областей мозга, участвующих в критической обработке информации [54]. Также изменения связанности в выявленных областях могут компенсаторно формировать их гиперсвязанность с другими областями мозга, что также может быть звеном патогенеза заторможенности при кататонии [55].

Полученные сведения об изменении структуры белого вещества при кататонии, о нарушении ФА в специфических моторных путях [41, 56, 57] противоречивы и свидетельствуют о сложности патогенетических путей кататонии и вовлечении в развитие кататонии разных функциональных систем головного мозга.

Представляется необходимым продолжить исследование кататонии с использованием внеозологического подхода. Для углубления понимания патогенеза кататонии целесообразно сотрудничество исследователей — психиатров, нейрофизиологов, медицинских физиков.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ/REFERENCES

1. Shorter E, Fink M. The Madness of Fear: A History of Catatonia. Oxford University Press; 2018. Available:

- https://books.google.com/books/about/The_Madness_of_Fear.html?hl=&id=K_tdWAAQBAJ
2. Padhy SK, Parakh P, Sridhar M. The catatonia conundrum: controversies and contradictions. *Asian J Psychiatr*. 2014 Feb;7(1):6–9. doi: [10.1016/j.ajp.2013.07.006](#) Epub 2013 Aug 22. PMID: 24524702.
3. Ungvari GS, Caroff SN, Gerevich J. The catatonia conundrum: evidence of psychomotor phenomena as a symptom dimension in psychotic disorders. *Schizophr Bull*. 2010;36:231–238. doi: [10.1093/schbul/sbp105](#)
4. Смуглевич АБ, Ключник ТП, Борисова ПО, Лобанова ВМ, Воронова ЕИ. Кататония (актуальные проблемы психопатологии и клинической систематики). *Психиатрия*. 2022;20(1):6–16. doi: [10.30629/2618-6667-2022-20-1-6-16](#)
Smulevich AB, Klyushnik TP, Borisova PO, Lobanova VM, Voronova EI. Catatonia (Actual Problems of Psychopathology and Clinical Systematics). *Psychiatry (Moscow) (Psikhiatriya)*. 2022;20(1):6–16. (In Russ.). doi: [10.30629/2618-6667-2022-20-1-6-16](#)
5. Незнанов НГ, Кузнецов АВ. Клинико-психопатологические аспекты патоморфоза кататонических расстройств. *Обзор психиатрии и медицинской психологии имени В.М. Бехтерева*. 2020;(1):64–71. doi: [10.31363/2313-7053-2020-1-64-71](#)
Neznanov NG, Kuznetsov AV. Clinical and psychopathological aspects of catatonia pathomorphosis. *VM Bekhterev Review of Psychiatry and Medical Psychology*. 2020;(1):64–71. (In Russ.). doi: [10.31363/2313-7053-2020-1-64-71](#)
6. Борисова ПО, Зозуля СА, Иванов СВ, Изнак АФ, Ильина НА, Ключник ТП, Лебедева ИС, Лобанова ВМ, Пискарев МВ, Смуглевич АБ, Томышев АС. Кататония: история и современность (мультидисциплинарное исследование). Под ред. акад. РАН А.Б. Смугевича М.: ООО «Издательство “Медицинское информационное агентство”», 2023:296 с. ISBN 978-5-9986-0520-8
Borisova PO, Zozulya SA, Ivanov SV, Iznak AF, Il'ina NA, Klyushnik TP, Lebedeva IS, Lobanova VM, Piskarev MV, Smulevich AB, Tomyshev AS. Catatonia: history and modernity (multidisciplinary study). Edited by Academician of RAS A.B Smulevich. Moscow: Medical Informational Agency; 2023:296 p. (In Russ.). ISBN 978-5-9986-0520-8
7. Solmi M, Pigato GG, Roiter B, Guaglianone A, Martini L, Fornaro M, Monaco F, Carvalho AF, Stubbs B, Veronesi N, Correll CU. Prevalence of Catatonia and Its Moderators in Clinical Samples: Results from a Meta-analysis and Meta-regression Analysis. *Schizophr Bull*. 2018;44(5):1133–1150. doi: [10.1093/schbul/sbx157](#) PMID: 29140521; PMCID: PMC6101628.
8. Fink M, Taylor MA. Catatonia: A Clinician's Guide to Diagnosis and Treatment. Cambridge University Press; 2006 Available: <https://books.google.com/books/about/Catatonia.html?hl=&id=Zkp10N5Hu4oC>
9. Oulis P, Lykouras L. Prevalence and diagnostic correlates of DSM-IV catatonic features among psychiatric inpatients. *J Nerv Ment Dis*. 1996;184(6):378–379. doi: [10.1097/00005053-199606000-00010](#) PMID: 8642390.
10. Aandi Subramaniam B, Muliya KP, Suchandra HH, Reddi VSK. Diagnosing catatonia and its dimensions: Cluster analysis and factor solution using the Bush Francis Catatonia Rating Scale (BFCRS). *Asian J Psychiatr*. 2020;52:102002. doi: [10.1016/j.ajp.2020.102002](#) Epub 2020 Apr 10. PMID: 32506001.
11. Романов ДВ. Распространенность и патоморфоз кататонии: от века XX к веку XXI. *Психиатрия*. 2022;20(3):65–73. doi: [10.30629/2618-6667-2022-20-3-65-73](#)
Romanov DV. Prevalence and Pathomorphosis of Catatonia: From XX to XXI Century. *Psychiatry (Moscow) (Psikhiatriya)*. 2022;20(3):65–73. (In Russ.). doi: [10.30629/2618-6667-2022-20-3-65-73](#)
12. Kahlbaum KL. Die Katatonie: oder das Spannungsirrese sein, eine klinische Form psychischer Krankheit. Berlin: Hirschwald; 1874.
13. Gazdag G, Takács R, Ungvari GS. Catatonia as a putative nosological entity: A historical sketch. *World J Psychiatry*. 2017;7(3):177–183. doi: [10.5498/wjp.v7.i3.177](#) PMID: 29043155; PMCID: PMC5632602.
14. Fink M, Shorter E, Taylor MA. Catatonia is not schizophrenia: Kraepelin's error and the need to recognize catatonia as an independent syndrome in medical nomenclature. *Schizophr Bull*. 2010;36(2):314–320. doi: [10.1093/schbul/sbp059](#) Epub 2009 Jul 8. PMID: 19586994; PMCID: PMC2833121.
15. Fink M, Taylor MA. The many varieties of catatonia. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*. 2001;251 Suppl 1:18–13. doi: [10.1007/pl00014200](#) PMID: 11776271.
16. Cenko B, Milic S. The catatonia syndrome: forgotten but not gone — a case report. *BJPsych Open*. 2021;7(S1):S129–S129. doi: [10.1192/bjo.2021.370](#)
17. Mann SC, Caroff SN, Ungvari GS, Cabrera Campbell E. Catatonia, Malignant Catatonia, and Neuroleptic Malignant Syndrome. *Current Psychiatry Reviews*. 2013;9(2):111–119. doi: [10.2174/1573400511309020005](#)
18. Rasmussen SA, Mazurek MF, Rosebush PI. Catatonia: Our current understanding of its diagnosis, treatment and pathophysiology. *World J Psychiatry*. 2016 Dec 22;6(4):391–398. doi: [10.5498/wjp.v6.i4.391](#) PMID: 28078203; PMCID: PMC5183991.
19. Ungvari GS, Goggins W, Leung SK, Lee E, Gerevich J. Schizophrenia with prominent catatonic features ('catatonic schizophrenia') III. Latent class analysis of the catatonic syndrome. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2009;33(1):81–85. doi: [10.1016/j.pnpbp.2008.10.010](#) Epub 2008 Oct 28. PMID: 18992297.
20. Rosebush PI, Mazurek MF. Catatonia and its treatment. *Schizophr Bull*. 2010;36(2):239–242. doi: [10.1093/schbul/sbp141](#) Epub 2009 Dec 7. PMID: 19969591; PMCID: PMC2833127.
21. Northoff G. What catatonia can tell us about “top-down modulation”: a neuropsychiatric hypothesis.

- Behav Brain Sci.* 2002;25(5):555–577; discussion 578–604. doi: [10.1017/s0140525x02000109](https://doi.org/10.1017/s0140525x02000109) PMID: 12958742.
22. Abi-Dargham A, Horga G. The search for imaging biomarkers in psychiatric disorders. *Nat Med.* 2016;22(11):1248–1255. doi: [10.1038/nm.4190](https://doi.org/10.1038/nm.4190) Epub 2016 Oct 26. PMID: 27783066.
 23. Northoff G. Brain imaging in catatonia: current findings and a pathophysiologic model. *CNS Spectr.* 2000;5(7):34–46. doi: [10.1017/s1092852900013377](https://doi.org/10.1017/s1092852900013377) PMID: 18197154.
 24. Haroche A, Rogers J, Plaze M, Gaillard R, Williams SC, Thomas P, Amad A. Brain imaging in catatonia: systematic review and directions for future research. *Psychol Med.* 2020;50(10):1585–1597. doi: [10.1017/S0033291720001853](https://doi.org/10.1017/S0033291720001853) Epub 2020 Jun 16. PMID: 32539902.
 25. Cattarinussi G, Gugliotta AA, Hirjak D, Wolf RC, Sambataro F. Brain mechanisms underlying catatonia: A systematic review. *Schizophr Res.* 2024;263:194–207. doi: [10.1016/j.schres.2022.11.002](https://doi.org/10.1016/j.schres.2022.11.002) Epub 2022 Nov 18. PMID: 3640421
 26. Kubicki M, McCarley R, Westin CF, Park HJ, Maier S, Kikinis R, Jolesz FA, Shenton ME. A review of diffusion tensor imaging studies in schizophrenia. *J Psychiatr Res.* 2007;41(1–2):15–30. doi: [10.1016/j.jpsychires.2005.05.005](https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2005.05.005) Epub 2005 Jul 14. PMID: 16023676; PMCID: PMC2768134.
 27. Kyriakopoulos M, Bargiotas T, Barker GJ, Frangou S. Diffusion tensor imaging in schizophrenia. *Eur Psychiatry.* 2008;23:255–273. doi: [10.1016/j.eurpsy.2007.12.004](https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2007.12.004)
 28. Biswal BB, Van Kylen J, Hyde JS. Simultaneous assessment of flow and BOLD signals in resting-state functional connectivity maps. *NMR Biomed.* 1997;10(4–5):165–170. doi: [10.1002/\(sici\)1099-1492\(199706/08\)10:4/5 < 165::aid-nbm454 > 3.0.co;2-7](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1492(199706/08)10:4/5 < 165::aid-nbm454 > 3.0.co;2-7) PMID: 9430343.
 29. Heeger DJ, Huk AC, Geisler WS, Albrecht DG. Spikes versus BOLD: what does neuroimaging tell us about neuronal activity? *Nat Neurosci.* 2000;3(7):631–633. doi: [10.1038/76572](https://doi.org/10.1038/76572) PMID: 10862687.
 30. van de Ven VG, Formisano E, Prvulovic D, Roeder CH, Linden DE. Functional connectivity as revealed by spatial independent component analysis of fMRI measurements during rest. *Hum Brain Mapp.* 2004;22(3):165–178. doi: [10.1002/hbm.20022](https://doi.org/10.1002/hbm.20022) PMID: 15195284; PMCID: PMC6872001.
 31. Williams LM. Defining biotypes for depression and anxiety based on large-scale circuit dysfunction: a theoretical review of the evidence and future directions for clinical translation. *Depress Anxiety.* 2017;34(1):9–24. doi: [10.1002/da.22556](https://doi.org/10.1002/da.22556) Epub 2016 Sep 21. PMID: 27653321; PMCID: PMC5702265.
 32. Khazaee A, Ebrahimzadeh A, Babajani-Feremi A; Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. Classification of patients with MCI and AD from healthy controls using directed graph measures of resting-state fMRI. *Behav Brain Res.* 2017;322(Pt B):339–350. doi: [10.1016/j.bbr.2016.06.043](https://doi.org/10.1016/j.bbr.2016.06.043) Epub 2016 Jun 23. PMID: 27345822.
 33. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG; PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009;6(7):e1000097. doi: [10.1371/journal.pmed.1000097](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097) Epub 2009 Jul 21. PMID: 19621072; PMCID: PMC2707599.
 34. Bush G, Fink M, Petrides G, Dowling F, Francis A. Catatonia. I. Rating scale and standardized examination. *Acta Psychiatr Scand.* 1996;93(2):129–136. doi: [10.1111/j.1600-0447.1996.tb09814.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1996.tb09814.x) PMID: 8686483.
 35. Northoff G, Koch A, Wenke J, Eckert J, Böker H, Pflug B, Bogerts B. Catatonia as a psychomotor syndrome: a rating scale and extrapyramidal motor symptoms. *Mov Disord.* 1999;14(3):404–416. doi: [10.1002/1531-8257\(199905\)14:3 < 404::aid-mds1004 > 3.0.co;2-5](https://doi.org/10.1002/1531-8257(199905)14:3 < 404::aid-mds1004 > 3.0.co;2-5) PMID: 10348462.
 36. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, Shamseer L, Tetzlaff JM, Akl EA, Brennan SE, Chou R, Glanville J, Grimshaw JM, Hróbjartsson A, Lalu MM, Li T, Loder EW, Mayo-Wilson E, McDonald S, McGuinness LA, Stewart LA, Thomas J, Tricco AC, Welch VA, Whiting P, Moher D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:n71. doi: [10.1136/bmj.n71](https://doi.org/10.1136/bmj.n71) PMID: 33782057; PMCID: PMC8005924.
 37. Parekh P, Gozi A, Reddi VSK, Saini J, John JP. Resting state functional connectivity and structural abnormalities of the brain in acute retarded catatonia: an exploratory MRI study. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci.* 2022;272(6):1045–1059. doi: [10.1007/s00406-021-01345-w](https://doi.org/10.1007/s00406-021-01345-w) Epub 2021 Oct 20. PMID: 34668026.
 38. Sambataro F, Hirjak D, Fritze S, Kubera KM, Northoff G, Calhoun VD, Meyer-Lindenberg A, Wolf RC. Intrinsic neural network dynamics in catatonia. *Hum Brain Mapp.* 2021;42(18):6087–6098. doi: [10.1002/hbm.25671](https://doi.org/10.1002/hbm.25671) Epub 2021 Sep 29. PMID: 34585808; PMCID: PMC8596986.
 39. Hirjak D, Rashidi M, Kubera KM, Northoff G, Fritze S, Schmitgen MM, Sambataro F, Calhoun VD, Wolf RC. Multimodal Magnetic Resonance Imaging Data Fusion Reveals Distinct Patterns of Abnormal Brain Structure and Function in Catatonia. *Schizophr Bull.* 2020;46(1):202–210. doi: [10.1093/schbul/sbz042](https://doi.org/10.1093/schbul/sbz042) PMID: 31174212; PMCID: PMC6942158.
 40. Wasserthal J, Maier-Hein KH, Neher PF, Northoff G, Kubera KM, Fritze S, Harneit A, Geiger LS, Tost H, Wolf RC, Hirjak D. Multiparametric mapping of white matter microstructure in catatonia. *Neuropsychopharmacology.* 2020;45(10):1750–1757. doi: [10.1038/s41386-020-0691-2](https://doi.org/10.1038/s41386-020-0691-2) Epub 2020 May 5. PMID: 32369829; PMCID: PMC7419514.
 41. Viher PV, Stegmayer K, Federspiel A, Bohlhalter S, Wiest R, Walther S. Altered diffusion in motor white matter tracts in psychosis patients with catatonia.

- Schizophr Res.* 2020;220:210–217. doi: [10.1016/j.schres.2020.03.017](https://doi.org/10.1016/j.schres.2020.03.017) Epub 2020 Apr 12. PMID: 32295753.
42. Krivoy A, Shrot S, Avrahami M, Fischel T, Weizman A, Mardor Y, Guez D, Daniels D, Katelaris A, Last D, Hoffmann C. Brain Motor Region Diffusion Tensor Imaging in Patients with Catatonic Schizophrenia: A Case-Control Study. *Isr Med Assoc J.* 2021;23(10):625–630. PMID: 34672443.
 43. Biswal B, Yetkin FZ, Haughton VM, Hyde JS. Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI. *Magn Reson Med.* 1995;34(4):537–541. doi: [10.1002/mrm.1910340409](https://doi.org/10.1002/mrm.1910340409) PMID: 8524021.
 44. Walther S, Schäppi L, Federspiel A, Bohlhalter S, Wiest R, Strik W, Stegmayer K. Resting-State Hyperperfusion of the Supplementary Motor Area in Catatonia. *Schizophr Bull.* 2017;43(5):972–981. doi: [10.1093/schbul/sbw140](https://doi.org/10.1093/schbul/sbw140) PMID: 27729486; PMCID: PMC5581902.
 45. Walther S, Schäppi L, Federspiel A, Bohlhalter S, Wiest R, Strik W, Stegmayer K. Resting-State Hyperperfusion of the Supplementary Motor Area in Catatonia. *Schizophr Bull.* 2017;43(5):972–981. doi: [10.1093/schbul/sbw140](https://doi.org/10.1093/schbul/sbw140) PMID: 27729486; PMCID: PMC5581902.
 46. Satoh K, Suzuki T, Narita M, Ishikura S, Shibasaki M, Kato T, Takahashi S, Fukuyama H, Ohnishi H, Morita R. Regional cerebral blood flow in catatonic schizophrenia. *Psychiatry Res.* 1993;50(4):203–216. doi: [10.1016/0925-4927\(93\)90001-x](https://doi.org/10.1016/0925-4927(93)90001-x) PMID: 8177921.
 47. Moyal M, Haroche A, Attali D, Dadi G, Raelison M, Le Berre A, Iftimovici A, Chaumette B, Leroy S, Charon S, Debacker C, Oppenheim C, Cachia A, Plaze M. Orbitofrontal sulcal patterns in catatonia. *Eur Psychiatry.* 2023;67(1):e6. doi: [10.1192/j.eurpsy.2023.2461](https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2023.2461) PMID: 37853748; PMCID: PMC10964273.
 48. Hirjak D, Kubera KM, Northoff G, Fritze S, Bertolino AL, Topor CE, Schmitgen MM, Wolf RC. Cortical Contributions to Distinct Symptom Dimensions of Catatonia. *Schizophr Bull.* 2019;45(6):1184–1194. doi: [10.1093/schbul/sby192](https://doi.org/10.1093/schbul/sby192) PMID: 30753720; PMCID: PMC6811823.
 49. Wolf RC, Kubera KM, Waddington JL, Schmitgen MM, Fritze S, Rashidi M, Thieme CE, Sambataro F, Geiger LS, Tost H, Hirjak D. A neurodevelopmental signature of parkinsonism in schizophrenia. *Schizophr Res.* 2021;231:54–60. doi: [10.1016/j.schres.2021.03.004](https://doi.org/10.1016/j.schres.2021.03.004) Epub 2021 Mar 23. PMID: 33770626.
 50. Serrat F, Iglesias-González M, Sanagustin D, Etxandi M, de Pablo J, Cuevas-Esteban J. Catatonia and Cognitive Impairments: A Systematic Review. *Front Psychiatry.* 2022;13:877566. doi: [10.3389/fpsy.2022.877566](https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.877566) PMID: 35845445; PMCID: PMC9279867.
 51. Vaquerizo-Serrano J, Salazar De Pablo G, Singh J, Santosh P. Catatonia in autism spectrum disorders: A systematic review and meta-analysis. *Eur Psychiatry.* 2021;65(1):e4. doi: [10.1192/j.eurpsy.2021.2259](https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2021.2259) PMID: 34906264; PMCID: PMC8792870.
 52. Kline CL, Suzuki T, Simmonite M, Taylor SF. Catatonia is associated with higher rates of negative affect amongst patients with schizophrenia and schizoaffective disorder. *Schizophr Res.* 2024;263:208–213. doi: [10.1016/j.schres.2022.09.001](https://doi.org/10.1016/j.schres.2022.09.001) Epub 2022 Sep 13. PMID: 36114099.
 53. Колыцкая ЕВ, Горшкова ИВ. Кататонические проявления в структуре синдрома обсессивной замедленности у больных с шизотипическим расстройством. *Психиатрия.* 2016;71(3):17–21. doi: [10.30629/2618-6667-2016-71-17-21](https://doi.org/10.30629/2618-6667-2016-71-17-21) Kolyutskaya EV, Gorshkova IV. Catatonic symptoms in the structure of obsessional slowness syndrome in patients with schizotypal disorder. *Psychiatry (Moscow) (Psikhiatriya).* 2016;71(3):17–21. (In Russ.). doi: [10.30629/2618-6667-2016-71-17-21](https://doi.org/10.30629/2618-6667-2016-71-17-21)
 54. Walther S, Stegmayer K, Wilson JE, Heckers S. Structure and neural mechanisms of catatonia. *Lancet Psychiatry.* 2019;6:610–619. doi: [10.1016/S2215-0366\(18\)30474-7](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(18)30474-7)
 55. Hillary FG, Roman CA, Venkatesan U, Rajtmajer SM, Bajo R, Castellanos ND. Hyperconnectivity is a fundamental response to neurological disruption. *Neuropsychology.* 2015;29(1):59–75. doi: [10.1037/neu0000110](https://doi.org/10.1037/neu0000110)
 56. Wasserthal J, Maier-Hein KH, Neher PF, Wolf RC, Northoff G, Waddington JL, Kubera KM, Fritze S, Harneit A, Geiger LS, Tost H, Hirjak D. White matter microstructure alterations in cortico-striatal networks are associated with parkinsonism in schizophrenia spectrum disorders. *Eur Neuropsychopharmacol.* 2021;50:64–74. doi: [10.1016/j.euroneuro.2021.04.007](https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2021.04.007) Epub 2021 May 10. PMID: 33984810.
 57. McCarthy-Jones S, Oestreich LK; Australian Schizophrenia Research Bank; Whitford TJ. Reduced integrity of the left arcuate fasciculus is specifically associated with auditory verbal hallucinations in schizophrenia. *Schizophr Res.* 2015;162(1–3):1–6. doi: [10.1016/j.schres.2014.12.041](https://doi.org/10.1016/j.schres.2014.12.041) Epub 2015 Jan 24. PMID: 25631452.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Полная поисковая стратегия для базы данных PubMed:

- для фМРТкататонии: (“cataton”[tiab] OR “Catatonia”[MeSH]) AND (“fMRI”[tiab] OR “functional magnetic resonance imaging”[tiab] OR “functional MRI”[tiab] OR “rs-fMRI”[tiab] OR “rsfMRI”[tiab] OR “R-fMRI”[tiab] OR “resting state functional magnetic resonance imaging”[tiab] OR “Rest State Functional Magnetic Resonance Imaging”[tiab] OR “Resting-State fMRI”[tiab] OR “Rest State fMRI”[tiab] OR “Resting State Functional MRI”[tiab] OR “Rest State Functional MRI”[tiab] OR “functional connectivity MRI”[tiab] OR “Resting state functional connectivity”[tiab] OR

“Magnetic Resonance Imaging”[MeSH]) NOT “systematic review”[Publication Type] NOT “Review”[Publication Type] NOT “case reports”[Publication Type] NOT “systematic review”[Publication Type] NOT “Review”[Publication Type] NOT “case reports”[Publication Type] AND (english[Filter]) AND (humans[Filter]);

- для DWI кататонии: ((“Cataton*”[tiab] OR “Catatonia”[Mesh]) AND (“DTI”[tiab] OR “Diffusion tensor imaging”[tiab] OR “Diffusion-tensor imaging”[tiab] OR “MRI tractography”[tiab] OR “Fiber tractography”[tiab] OR “Tractography”[tiab] OR “DWI”[tiab] OR “dMRI”[tiab] OR “Diffusion MRI”[tiab] OR “Diffusion Weighted MRI”[tiab] OR “MRI, Diffusion Weighted”[tiab] OR “diffusion-weighted MRI”[tiab] OR “Diffusion Magnetic Resonance Imaging”[tiab] OR “Diffusion-weighted imaging”[tiab] OR “Magnetic Resonance Imaging”[Mesh] OR “Diffusion Magnetic Resonance Imaging”[Mesh])) NOT (Systematic Review[Publication Type]) NOT (Review[Publication Type]) NOT (Case Reports[Publication Type]) AND (english[Filter]) AND (humans[Filter])

2. Полная поисковая стратегия для базы данных ScienceDirect:

- поиск проводился в полях «Title, abstract, keywords»;

- даты: без ограничений;

- исключение типов статей «review» и «case reports» проводился с помощью фильтров;

- поисковой запрос разбит на два из-за лимита в восемь операторов на поле с дальнейшим исключением повторов.

Отбор по языку English и subject (humans) проводился вручную после поиска:

- для фМРТ кататонии: (catatonic OR catatonia) AND (“fMRI” OR “functional magnetic resonance imaging” OR “functional MRI” OR “rs-fMRI” OR “rsfMRI” OR “R-fMRI” OR “resting state functional magnetic resonance imaging”) (catatonic OR catatonia) AND (“Rest State Functional Magnetic Resonance Imaging” OR “Resting-State fMRI” OR “Rest State fMRI” OR “Resting State Functional MRI” OR “Rest State Functional MRI” OR “functional connectivity MRI” OR “Resting state functional connectivity”);

- для DWI кататонии: (catatonic OR catatonia) AND (“DTI” OR “Diffusion tensor imaging” OR “Diffusion-tensor imaging” OR “MRI tractography” OR “Fiber tractography” OR “Tractography” OR “DWI”) (catatonic OR catatonia) AND (“dMRI” OR “Diffusion MRI” OR “Diffusion Weighted MRI” OR “MRI, Diffusion Weighted” OR “diffusion-weighted MRI” OR “Diffusion Magnetic Resonance Imaging” OR “Diffusion-weighted imaging”).

3. Полная поисковая стратегия для базы данных Mendeley. Поиск проводился несколькими последовательными запросами в соответствии с ключевыми поисковыми словами в предыдущих случаях с лимитом в один оператор; даты: без ограничений; отбор по языку: English и subject: humans проводился вручную после поиска:

- для фМРТ кататонии: (Cataton* AND “DTI”); (Cataton* AND “Diffusion tensor imaging”); (Cataton* AND “MRI tractography”); (Cataton* AND “Fiber tractography”); (Cataton* AND “Tractography”); (Cataton* AND “DWI”); (Cataton* AND “dMRI”); (Cataton* AND “Diffusion MRI”); (Cataton* AND “Diffusion Weighted MRI”); (Cataton* AND “MRI, Diffusion Weighted”); (Cataton* AND “diffusion-weighted MRI”); (Cataton* AND “Diffusion Magnetic Resonance Imaging”); (Cataton* AND “Diffusion-weighted imaging”);

- для DWI кататонии: (Cataton* AND “fMRI”); (Cataton* AND “functional magnetic resonance imaging”); (Cataton* AND “functional MRI”); (Cataton* AND “rs-fMRI”); (Cataton* AND “R-fMRI”); (Cataton* AND “Resting-State Functional Magnetic Resonance Imaging”); (Cataton* AND “Resting State Functional Magnetic Resonance Imaging”); (Cataton* AND “Rest State Functional Magnetic Resonance Imaging”); (Cataton* AND “Rest State functional connectivity Resonance Imaging”); (Cataton* AND “Resting-State fMRI”); (Cataton* AND “Rest State fMRI”); (Cataton* AND “Resting State Functional MRI”); (Cataton* AND “Rest State Functional MRI”); (Cataton* AND “functional connectivity MRI”); (Cataton* AND “Resting state functional connectivity”).

Сведения об авторах

Лидия Викторовна Бравве, младший научный сотрудник, лаборатория фундаментальных методов исследования, НИЦ нейropsихиатрии, ГБУЗ «Психиатрическая клиническая больница № 1 им. Н.А. Алексеева Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-5380-4406> bravve95@yandex.ru

Галина Шакировна Мамедова, младший научный сотрудник, лаборатория фундаментальных методов исследования, НИЦ нейropsихиатрии, ГБУЗ «Психиатрическая клиническая больница № 1 им. Н.А. Алексеева Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-4481-7840> gsh.mamedova@yandex.ru

Мария Андреевна Кайдан, младший научный сотрудник, лаборатория фундаментальных методов исследования, НИЦ нейropsихиатрии, ГБУЗ «Психиатрическая клиническая больница № 1 им. Н.А. Алексеева Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-1516-082X> kaydan.maria@yandex.ru

Владимир Федорович Морозов, лаборант-исследователь, лаборатория прикладной и экспериментальной психофизиологии, ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия, <https://orcid.org/0009-0005-0180-219X>

morozov.vl.f@gmail.com

Сергей Иванович Карташов, научный сотрудник, Ресурсный центр ядерно-физических методов исследований, ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-0181-3391>

mail@kartashovs.ru

Александр Сергеевич Заборин, научный сотрудник, Ресурсный центр ядерно-физических методов исследований, ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия, <https://orcid.org/0009-0000-8027-763X>

zaborin.as17@physics.msu.ru

Наталья Вячеславовна Захарова, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, Институт персонализированной психиатрии и неврологии ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и неврологии им. В.М. Бехтерева Минздрава России, Санкт-Петербург; ведущий научный сотрудник, Международный научно-образовательный центр нейropsychиатрии, Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-7507-327>

nataliza80@gmail.com

Information about the authors

Lidia V. Bravve, Junior Research of the Laboratory for Fundamental Research Methods, Research Center of Neuropsychiatry, State Budgetary Institution of Health Care of the City of Moscow "Psychiatric Hospital no. 1 Named after N.A. Alexeev of the Department of Health of Moscow", Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5380-4406>

bravve95@yandex.ru

Galina S. Mamedova, Junior Researcher, Laboratory for Fundamental Research Methods, Research Center of Neuropsychiatry, State Budgetary Institution of Health Care of the City of Moscow "Psychiatric Hospital no. 1 Named after N.A. Alexeev of the Department of Health of Moscow", Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-4481-7840>

gsh.mamedova@yandex.ru

Mariya A. Kaydan, Junior Researcher, Laboratory for Fundamental Research Methods, Research Center of Neuropsychiatry, State Budgetary Institution of Health Care of the City of Moscow "Psychiatric Hospital no. 1 Named after N.A. Alexeev of the Department of Health of Moscow", Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-1516-082X>

kaydan.maria@yandex.ru

Vladimir F. Morozov, Research Fellow of the Resource Center for Nuclear Physics Research, Federal State Budgetary Institution National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia, <https://orcid.org/0009-0005-0180-219X>

morozov.vl.f@gmail.com

Sergey I. Kartashov, Research Fellow of the Resource Center for Nuclear Physics Research, Federal State Budgetary Institution National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-0181-3391>

mail@kartashovs.ru

Alexander S. Zaborin, Researcher, Resource Center for Nuclear Physics Research, Federal State Budgetary Institution National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia, <https://orcid.org/0009-0000-8027-763X>

zaborin.as17@physics.msu.ru

Natalia V. Zakharova, Cand. of Sci. (Med.), Leading Researcher, Institute of Personalized Psychiatry and Neurology, V.M. Bekhterev National Medical Research Centre for Psychiatry and Neurology, St. Petersburg, Russia; Leading Researcher, International Scientific and Educational Center of Neuropsychiatry, Samara State Medical University, Samara, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-7507-327X>

nataliza80@gmail.com

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interests.