

УДК 616.831-005.1-053-055

DOI 10.24412/2312-2935-2023-4-410-428

МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В ГЕРИАТРИИ

Е.В. Екушева^{1,3}, В.Б. Войтенков^{1,2}, Е.С. Кипарисова¹, Н.В. Марченко², А.С. Пономарев⁴, А.А. Ключникова^{5,6}

¹ Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, г. Москва

² ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней ФМБА России», г. Санкт-Петербург

³ ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород

⁴ ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Екатеринбург

⁵ ГБУЗ города Москвы «Психиатрическая клиническая больница № 1 им. Н.А. Алексеева Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва

⁶ АНО НИМЦ «Геронтология», г. Москва

Введение. Диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография (ДТ-МРТ) на данный момент является изученной и применяемой в клинической практике методикой. Важным преимуществом данной методики является измерение показателей фракционной анизотропии (ФА), позволяющих количественно оценить изменения в веществе головного мозга (ГМ).

Целью работы явился сбор имеющихся литературных данных о применении исследования изменения ФА с возрастом у здоровых лиц и пациентов гериатрической практики.

Материалы и методы – был проведён анализ доступной научной литературы.

Результаты и обсуждение. В обзоре литературных данных мы приводим имеющиеся сведения об изучении ФА различных центров и путей центральной нервной системы (ЦНС) в гериатрии. С возрастом происходит уменьшение этого параметра, что отражает инволюционные процессы, как при здоровом старении, так и при различных нейродегенеративных заболеваниях, сосудистых и прочих патологических процессах. ФА уменьшается как в целом в головном мозгу, так и в некоторых ключевых его структурах, в частности, в своде мозга. **Заключение.** Исследование изменений ФА может применяться в геронтологических исследованиях как биомаркер старения нервной системы.

Ключевые слова: мультипараметрическая магнитно-резонансная томография, диффузионно-тензорная МРТ, гериатрия, головной мозг, фракционная анизотропия, свод мозга

MULTIPARAMETRIC MAGNETIC RESONANCE IMAGING DATA AS A TOOL FOR CENTRAL NERVOUS SYSTEM STUDY IN GERIATRICS

E.V. Ekusheva^{1,3}, V.B. Voitenkov^{1,2}, E.S. Kiparisova¹, N.V. Marchenko², A.S. Ponomarev⁴, A.A. Klyuchnikova^{5,6}

¹ *Academy of postgraduate education under FSBU FSCC of FMBA, Moscow*

² *Pediatric Research and Clinical Center for Infectious Diseases; St., Saint-Petersburg*

³ *Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University», Belgorod*

⁴ *Urals State Medical University, Yekaterinburg*

⁵ *Mental-health clinic N 1 named after N.A. Alexeev, Moscow*

⁶ *Research Medical Centre «GERONTOLOGY», Moscow*

Overview. Diffusion tensor imaging (DTI) is a technique of magnetic-resonance imaging and currently studied and used in clinical practice. An important advantage of this technique is the ability to measure fractional anisotropy (FA), which make it possible to quantify changes in the brain substance.

Goal. In a review of the literature data, we present the available information on the study of FA of various centers and pathways of the central nervous system (CNS) in geriatrics. FA changes study are modern and precise tool for neuroscience of aging.

Results. With the aging process FA getting smaller, which reflects involution in healthy aging as well as in different pathologic processes, such as neurodegeneration, vascular changes and various different condition. These changes may be seen in a brain as a whole, but also in some key brain structures, such as a fornix.

Conclusions. Changes of the FA may be implemented in gerontology research as a valuable tool as the biomarker of the nervous system aging.

Keywords: multiparameter MRI, DTI, fractional anisotropy, geriatrics, brain, fornix

В современной геронтологии и гериатрии актуальным является поиск маркёров старения как центральной, так и периферической нервной системы. Несмотря на хорошо отработанные и изученные возраст-ассоциированные изменения классических нейрофизиологических методик (в первую очередь электроэнцефалограммы), параметры организации ритмов биоэлектрической активности (БЭА) не дают полной картины происходящего в головном мозгу; их интерпретация значительно отличается у разных авторов; нет единого взгляда на центры генерации БЭА в центральной нервной системе как в нормальных, так и в патологических условиях [1,2]. В последние годы идёт активное изучение нейровизуализационных маркёров старения ЦНС, где первое место занимает магнитно-резонансная томография (МРТ), как структурная, так и функциональная.

Диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография (ДТ-МРТ) на данный момент является хорошо изученной и широко применяемой в клинической практике методикой. В аспекте клинико-диагностического применения ДТ-МРТ важным ее преимуществом является возможность расчета показателей фракционной анизотропии (ФА).

ФА отражает направленность диффузии молекул воды в веществе, что в свою очередь, применительно к нейровизуализации, и в частности к МРТ головного мозга, позволяет судить о процессах миелинизации его белого вещества и целостности проводящих путей.

При помощи измерения ФА в области изменений вещества ГМ, становится возможной количественная оценка степени повреждения нервных волокон и вещества ГМ при различных патологических процессах [3]. При этом ДТ-МРТ предоставляет как возможность количественной оценки изменений, ранее визуализированных на изображениях, полученных при выполнении структурных последовательностей сканирования (T1-ВИ, T2-ВИ, FLAIR), так и изменений микроструктуры вещества ГМ, не визуализированных на структурных последовательностях [4]. В частности, к таким изменениям можно отнести процессы, сопровождающиеся повреждением миелиновых оболочек и изменением внеклеточного пространства.

Исходя из этого основными направлениями применения ДТ-МРТ в клинической практике у взрослых пациентов являются предоперационное планирование в нейроонкологии, а также диагностика ишемических изменений в веществе ГМ, аномалий развития, неопухолевых заболеваний ГМ [5]. Кроме того, в исследовательских целях эти параметры изучались при широком спектре патологических состояний и имели целью оценку коннективности ЦНС [6].

Известны работы, в которых были исследованы показатели ДТ-МРТ среди условно-здоровых взрослых разных возрастных и гендерных групп, а также детей [7].

Тем не менее, в гериатрической практике методика ДТ-МРТ, в частности показатели ФА, изучена в меньшей степени. Проводилась мультипараметрическая МРТ у 401 пациента 50-88 лет, без сердечно-сосудистых заболеваний и деменции; было установлено, что с возрастом ФА снижается [8], что отражает, в частности, общее снижение проводимости по коннектоматтам при старении нервной системы. При сравнении предсказательной способности развития когнитивных нарушений (оценивавшихся с помощью шкалы MMSE) в гериатрической популяции ФА оказалась более чувствительной и специфичной, чем оценка мозговых объёмов на МРТ гиппокампа, всего серого вещества и ядра Мейнерта [9].

Известны различия ФА у детей по возрастным группам в области стволовых и подкорковых-корковых структур, что позволяет судить о более раннем процессе развития и миелинизации ГМ на уровне стволовых структур, таламуса, а также височной доли [10]. Более длительное и позднее окончательное развитие происходит в корковых структурах больших полушарий (включая неокортекс). Различие в показателях ФА отражает различную

степень организации проводящих путей ГМ, что может отражать функциональные особенности различных взаимосвязанных анатомических структур.

В структурах базальных ядер и коры ГМ показатели ФА значительно ниже, в связи с отсутствием в них проводящих нервных волокон, в то же время были выявлены более высокие показатели ФА условно серого вещества Варолиева моста и среднего мозга, что говорит о некотором отличии дифференцировки серого и белого веществ в данных структурах и больших полушариях [10].

Эти закономерности роста нервной системы важны и при оценке её старения, так как показатели ФА будут также достоверно различаться в разных частях мозга вследствие неравномерности текущих нейродегенеративных изменений. Это известно, в частности, при болезни Альцгеймера, но имеет место и при естественном старении ЦНС [11-13]. Показана возможность с помощью изучения изменений ФА у гериатрических пациентов с последствиями травмы ЦНС исследовать сохранность коннектомов либо их исчезновение [14]. С возрастом при условии здорового старения показатель ФА постепенно снижается [15,16]. Также при сравнении в гериатрической популяции у пациентов, ведущих спортивный образ жизни, выявлены более высокие показатели ФА в таких областях мозга, как правый верхний лучистый венец, обе стороны верхнего продольного пучка, правый нижний лобно-затылочный пучок и левый нижний продольный пучок [17]. Сходные данные получены также при проведении нейрофизиологического обследования с привлечением сочетания ЭЭГ с МРТ [18].

С помощью изучения изменения ФА исследовалось состояние коннектомов у гериатрических пациентов с ожирением с высоким индексом массы тела [19]. Выявлена корреляция между состоянием коннектомов и показателями когнитивных функций у данной группы пациентов. С помощью мультипараметрической МРТ с изучением ФА установлено, что строение свода мозга является наиболее удобным для оценки как взросления, так и старения белого вещества ЦНС, другим подобным образованием являются лобные щипцы (*forceps minor*) [20]. Важное значение свода мозга для изучения с помощью нейровизуализации когнитивных нарушений при старении и нейродегенеративных процессах показано в ряде работ [21-25].

На популяции из 297 пациентов установлена взаимосвязь между депрессивными симптомами и ФА различных путей, связывающих между собой структуры ЦНС. В данной работе это были комиссуральные пути и контралатеральные префронтальные области (верхняя и средняя лобная/дорсолатеральная префронтальная кора), ассоциативные пути, соединяющие дорсолатеральную префронтальную кору с островковой, стриарной и

таламической областями, и ассоциативные пути, соединяющие теменную, височную и затылочную доли и таламус [26].

В исследовании с оценкой взаимосвязи между сокращением продолжительности медленноволнового сна, тяжёлым течением апноэ во сне и показателями ФА ряда проводящих путей такая корреляция была обнаружена. Показано, что тяжёлая форма апноэ во сне связана с более высоким уровнем бременем аномалий белого вещества и преимущественно когнитивными нарушениями, а также снижением ФА в колленце мозолистого тела [27]. Снижение ФА исследовалось как прогностический инструмент когнитивного снижения у гериатрических пациентов, перенёсших инсульт. Показано, что более низкая ФА является предиктором понижения когнитивного статуса; этот эффект был связан с возрастным снижением целостности белого вещества. Также наблюдалась корреляция с показателями памяти, внимания и зрительно-пространственными функциями [28-31].

На большой выборке здоровых лиц показано, что показатель ФА белого вещества, отражающий интегративную функцию нервной системы, достоверно связан со скоростью реакции; у людей с замедленной реакцией этот параметр ниже [32, 33]. Сходные корреляции обнаружены также для таких параметров, как гибкий интеллект и способность к синхронизации [34,35].

Исследования возраст-ассоциированных изменений гиппокампа показали, что показатели ФА начинают изменяться начиная с возраста 40 лет, изменения носят нелинейный характер и отличаются большой изменчивостью но, тем не менее, как в переднем, так и в заднем гиппокампе показатель ФА с возрастом падает. Также была обнаружена достоверная корреляция между этим параметром и показателями рабочей памяти [36]. Сходные закономерности установлены при изучении ФА субамигдаллярных структур [37].

В исследовании, установившем достоверную взаимосвязь между гипертонией в раннем взрослом возрасте и развитием у пожилых пациентов нейродегенеративных заболеваний и деменции, в качестве биомаркеров применялись показатели ФА белого вещества как показателя интегральности ЦНС [38]. Также в одном из исследований изучалось влияние старения на когнитивные функции. В группу вошло 995 лиц старше 55 лет. Когнитивный статус оценивался с помощью ряда нейрокогнитивных тестов, в том числе MMSE, Монреальский когнитивный тест (MoCA), тест на беглость речи (VFT) и тест на набор цифр (DST). Целостность белого вещества оценивали с использованием фракционной анизотропии (FA). Было установлено, что достоверно связаны были показатели общей ФА и

данные теста на беглость речи. Также установлено, что площадь поверхности левой орбитофронтальной коры, правой задне-дорсальной части поясной извилины и левой центральной борозды были связаны с показателями MMSE и MoCA [39]. В сходном по дизайну исследовании установлено, что достоверными являются взаимосвязи между показателями ФА белого, а не серого вещества и результатами MMSE и MoCa [40]. Сходные данные о большем значении белого вещества (при нейровизуализационном его исследовании) при когнитивных нарушениях получены в исследовании, сравнивавшем гиперинтенсивность белого вещества и объём серого с показателями когнитивных тестов [41-45]. Общее нарушение интегративности белого вещества, по мнению ряда авторов, является главным патофизиологическим механизмом развития возрастных когнитивных нарушений [45-49]. Кроме того, сообщается об особенно выраженных нарушениях интегративности белого вещества со снижением ФА в мозолистом теле, своде мозга и крючковидном пучке у пациентов с сочетанием депрессивных и когнитивных нарушений [50, 51].

Изменения в своде мозга, передней части мозолистого тела и ножке мозжечка достоверно связаны с суммой баллов шкалы MoCA и индексом массы тела; эти данные также получены по результатам проведения как структурной, так и мультипараметрической МРТ [52,53]. Сообщается о значительном снижении ФА в таких структурах, как свод мозга, мозолистое тело, гиппокампа, левый корково-спинномозговой путь, большие щипцы, левый нижний лобно-затылочный пучок, двусторонний нижний продольный пучок, левая задняя ножка внутренней капсулы, правая ретролентикюлярная часть внутренней капсулы, валик мозолистого тела, правый верхний продольный пучок и левый крючковидный пучок при устойчивых ежедневных головных болях [54]. Интересно отметить, что о сходных изменениях с достоверными отличиями в большинстве перечисленных структур мозга от возрастной нормы и взаимосвязи их с индексом массы тела и когнитивными нарушениями сообщается и в педиатрической популяции [55, 56]. При нейродегенеративных заболеваниях, таких как болезнь Паркинсона, снижение ФА регистрируется в своде мозга, мозолистом теле и таламусе [57,58]. Сходные данные с корреляцией когнитивных нарушений с данными мультипараметрической МРТ получены у пациентов с рассеянным склерозом и возраст-ассоциированной потерей слуха [59,60,61]. Важная роль свода мозга и корреляции его структурных изменений с различными патологическими состояниями подтверждена также с помощью генетических исследований [62].

Заключение. Таким образом, показатель ФА является хорошо изученным параметром, позволяющим судить о функциональном состоянии любой структуры ЦНС - как

в белом, так и в сером веществе. Нет разногласий касательно интерпретации его изменений, установлены возраст-ассоциированные его закономерности. Всё это позволяет рекомендовать включать его в качестве биомаркера старения центральной нервной системы в научно-исследовательской деятельности в области гериатрии.

Список литературы

1. Law Z.K., Todd C., Mehraram R. The Role of EEG in the Diagnosis, Prognosis and Clinical Correlations of Dementia with Lewy Bodies-A Systematic Review. *Diagnostics (Basel)*. 2020;10(9):616. doi: 10.3390/diagnostics10090616
2. Александров М.В., Иванов Л.Б., Лытаев С.А. Электроэнцефалография: руководство. Третье издание. СПб: Спецлит, 2020 г. 224 с.
3. Basser PJ, Pajevic S, Pierpaoli C. In vivo fiber tractography using DT-MRI data. *Magnetic Resonance Medicine*. 2000;44(4):625-32. doi: 10.1002/1522-2594(200010)44:4<625::aid-mrm17>3.0.co;2-o
4. Ceccarelli, A., Rocca, M.A., Falini, A. Normal-appearing white and grey matter damage in MS. *Journal of Neurology*. 2007; 254: 513–518. <https://doi.org/10.1007/s00415-006-0408-4>
5. Ahn S, Lee SK. Diffusion tensor imaging: exploring the motor networks and clinical applications. *Korean Journal of Radiology*. 2011;12(6):651-61. doi: 10.3348/kjr.2011.12.6.651
6. Kumar R, Chavez AS, Macey PM, et al. Brain axial and radial diffusivity changes with age and gender in healthy adults. *Brain Research*. 2013;1512:22-36. doi: 10.1016/j.brainres.2013.03.028
7. Vo Van P, Alison M, Morel B., et al. Advanced Brain Imaging in Preterm Infants: A Narrative Review of Microstructural and Connectomic Disruption. *Children (Basel)*. 2022;9(3):356. doi: 10.3390/children9030356
8. Maher AS, Rostowsky KA, Chowdhury NF. Neuroinformatics and Analysis of Connectomic Alterations Due to Cerebral Microhemorrhages in Geriatric Mild Neurotrauma. *ACM BCB*. 2018;2018:165-171. doi: 10.1145/3233547.3233598
9. Wang T, Shi F, Jin Y, et al. Multilevel Deficiency of White Matter Connectivity Networks in Alzheimer's Disease: A Diffusion MRI Study with DTI and HARDI Models. *Neural Plasticity*. 2016;2016:2947136. doi: 10.1155/2016/2947136
10. Marchenko N.V., Novokshonov D.Yu., Shevchenko E.Yu., Bedova M.A., Aliev R.V., Dubitsky D.L., Klimkin A.V., Voitenkov V.B., Skripchenko N.V. Fractional anisotropy values of brain matter among healthy children: cohort study. *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2022;13(3):7-17. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-3-7-17>

11. Fischer FU, Wolf D, Scheurich A. Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. Altered whole-brain white matter networks in preclinical Alzheimer's disease. *Neuroimage Clinic*. 2015;8:660-6. doi: 10.1016/j.nicl.2015.06.007
12. Calvillo M, Fan D, Irimia A. Multimodal Imaging of Cerebral Microhemorrhages and White Matter Degradation in Geriatric Patients with Mild Traumatic Brain Injury. *Methods Molecular Biology*. 2020;2144:223-236. doi: 10.1007/978-1-0716-0592-9_20
13. Wang MB, Rahmani F, Benzinger TLS. Edge Density Imaging Identifies White Matter Biomarkers of Late-Life Obesity and Cognition. *Aging Disorders*. 2022; 10: 237-241. doi: 10.14336/AD.2022.1210
14. Korbmacher M, de Lange AM, van der Meer D, et al. Brain-wide associations between white matter and age highlight the role of fornix microstructure in brain ageing. *Human Brain Mapping*. 2023; 12: 235-248. doi: 10.1002/hbm.26333
15. Nair P, Prasad K, Balasundaram P, et al. Multimodal imaging of the aging brain: Baseline findings of the LoCARPoN study. *Aging Brain*. 2023;3:100075. doi: 10.1016/j.nbas.2023.100075
16. Xing Y, Yang J, Zhou A, et al. White Matter Fractional Anisotropy Is a Superior Predictor for Cognitive Impairment Than Brain Volumes in Older Adults With Confluent White Matter Hyperintensities. *Frontiers Psychiatry*. 2021;12:633811. doi: 10.3389/fpsy.2021.633811
17. Fleischman DA, Arfanakis K, Leurgans SE, et al. Late-life depressive symptoms and white matter structural integrity within older Black adults. *Frontiers Aging Neuroscience*. 2023;15:1138568. doi: 10.3389/fnagi.2023.1138568
18. Carvalho DZ, McCarter SJ, St Louis EK, et al. Association of Polysomnographic Sleep Parameters With Neuroimaging Biomarkers of Cerebrovascular Disease in Older Adults With Sleep Apnea. *Neurology*. 2023;10.1212/WNL.0000000000207392. doi: 10.1212/WNL.0000000000207392
19. Mendez Colmenares A, Hefner MB, et al. Symmetric data-driven fusion of diffusion tensor MRI: Age differences in white matter. *Frontiers Neurology*. 2023;14:1094313. doi: 10.3389/fneur.2023.1094313
20. Bučková BR, Kala D, Kořenek J, et al. Structural connectivity-based predictors of cognitive impairment in stroke patients attributable to aging. *PLoS One*. 2023;18(4):e0280892. doi: 10.1371/journal.pone.0280892
21. Zamboni G, Griffanti L, Jenkinson M, et al. Oxford Vascular Study. White Matter Imaging Correlates of Early Cognitive Impairment Detected by the Montreal Cognitive Assessment After Transient Ischemic Attack and Minor Stroke. *Stroke*. 2017;48(6):1539-1547. doi: 10.1161/STROKEAHA.116.016044

22. Sivakumar L, Riaz P, Kate M, Jeerakathil T., et al. White matter hyperintensity volume predicts persistent cognitive impairment in transient ischemic attack and minor stroke. *International Journal of Stroke*. 2017;12(3):264-272. doi: 10.1177/1747493016676612
23. Sagnier S, Catheline G, Dilharreguy B., et al. Normal-Appearing White Matter Integrity Is a Predictor of Outcome After Ischemic Stroke. *Stroke*. 2020;51(2):449-456. doi: 10.1161/STROKEAHA.119.026886
24. McCormick EM, Kievit RA. Poorer White Matter Microstructure Predicts Slower and More Variable Reaction Time Performance: Evidence for a Neural Noise Hypothesis in a Large Lifespan Cohort. *Journal of Neuroscience*. 2023;43(19):3557-3566. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1042-22.2023
25. Karahan E, Costigan AG, Graham KS. Cognitive and White-Matter Compartment Models Reveal Selective Relations between Corticospinal Tract Microstructure and Simple Reaction Time. *Journal of Neuroscience*. 2019;39(30):5910-5921. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2954-18.2019
26. Bells S, Lefebvre J, Prescott SA., et al. Changes in White Matter Microstructure Impact Cognition by Disrupting the Ability of Neural Assemblies to Synchronize. *Journal of Neuroscience*. 2017;37(34):8227-8238. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0560-17.2017
27. Chen PY, Chen CL, Hsu YC. Fluid intelligence is associated with cortical volume and white matter tract integrity within multiple-demand system across adult lifespan. *Neuroimage*. 2020;212:116576. doi: 10.1016/j.neuroimage.2020.116576
28. Tan J, Wang Z, Tang Y., et al. Alterations in Human Hippocampus Subregions across the Lifespan: Reflections on White Matter Structure and Functional Connectivity. *Neural Plasticity*. 2023;7948140. doi: 10.1155/2023/7948140
29. Tseng BY, Gundapuneedi T, Khan MA, et al. White matter integrity in physically fit older adults. *Neuroimage*. 2013;82:510-6. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.06.011
30. Sexton CE, Betts JF, Demnitz N. A systematic review of MRI studies examining the relationship between physical fitness and activity and the white matter of the ageing brain. *Neuroimage*. 2016;131:81-90. doi: 10.1016/j.neuroimage.2015.09.071
31. Gowik JK, Goelz C, Vieluf S. Source connectivity patterns in the default mode network differ between elderly golf-novices and non-golfers. *Scientific Reports*. 2023;13(1):6215. doi: 10.1038/s41598-023-31893-1
32. Jiang Y, Tian Y, Wang Z. Age-Related Structural Alterations in Human Amygdala Networks: Reflections on Correlations Between White Matter Structure and Effective Connectivity. *Frontiers of Human Neuroscience*. 2019;13:214. doi: 10.3389/fnhum.2019.00214

33. George KM, Maillard P, Gilsanz P, et al. Association of Early Adulthood Hypertension and Blood Pressure Change With Late-Life Neuroimaging Biomarkers. *JAMA Network Open*. 2023;6(4):e236431. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2023.6431
34. Li WX, Yuan J, Han F, et al. White matter and gray matter changes related to cognition in community populations. *Frontiers of Aging Neuroscience*. 2023;15:1065245. doi: 10.3389/fnagi.2023.1065245
35. Wang Q, Su N, Huang J, et al. White Matter but not Gray Matter Volumes Are Associated with Cognition in Community-Dwelling Chinese Populations. *Journal of Alzheimers Disease*. 2021;84(1):367-375. doi: 10.3233/JAD-210367
36. Arvanitakis Z, Fleischman DA, Arfanakis K, et al. Association of white matter hyperintensities and gray matter volume with cognition in older individuals without cognitive impairment. *Brain Structural Function*. 2016;221(4):2135-46. doi: 10.1007/s00429-015-1034-7
37. Liu ZY, Zhai FF, Han F. Regional Disruption of White Matter Integrity and Network Connectivity Are Related to Cognition. *Journal of Alzheimers Disease*. 2022;89(2):593-603. doi: 10.3233/JAD-220191
38. Wang M, Xu B, Hou X, et al. Altered brain networks and connections in chronic heart failure patients complicated with cognitive impairment. *Frontiers of Aging Neuroscience*. 2023;15:1153496. doi: 10.3389/fnagi.2023.1153496
39. Tinney EM, Loui P, Raine LB, et al. Influence of mild cognitive impairment and body mass index on white matter integrity assessed by diffusion tensor imaging. *Psychophysiology*. 2023:e14306. doi: 10.1111/psyp.14306
40. Zhuang L, Sachdev PS, Trollor JN, et al. Microstructural white matter changes, not hippocampal atrophy, detect early amnesic mild cognitive impairment. *PLoS One*. 2013;8(3):e58887. doi: 10.1371/journal.pone.0058887
41. Li W, Muftuler LT, Chen G. Effects of the coexistence of late-life depression and mild cognitive impairment on white matter microstructure. *Journal of Neurological Science*. 2014;338(1-2):46-56. doi: 10.1016/j.jns.2013.12.016
42. Yan S, Zhang Y, Yin X. et al. Alterations in white matter integrity and network topological properties are associated with a decrease in global motion perception in older adults. *Frontiers of Aging Neuroscience*. 2023;15:1045263. doi: 10.3389/fnagi.2023.1045263
43. Lacalle-Aurioles M, Iturria-Medina Y. Fornix degeneration in risk factors of Alzheimer's disease, possible trigger of cognitive decline. *Cerebral Circulation and Cognitive Behaviour*. 2023;4:100158. doi: 10.1016/j.cccb.2023.100158.

44. Chen Y, Wang Y, Song Z, et al. Abnormal white matter changes in Alzheimer's disease based on diffusion tensor imaging: A systematic review. *Ageing Resources Review*. 2023;87:101911. doi: 10.1016/j.arr.2023.101911
45. Brueggen K, Dyrba M, Cardenas-Blanco A, et al. DELCODE Study Group. Structural integrity in subjective cognitive decline, mild cognitive impairment and Alzheimer's disease based on multicenter diffusion tensor imaging. *Journal of Neurology*. 2019;266(10):2465-2474. doi: 10.1007/s00415-019-09429-3
46. Kannan L, Bhatt T, Ajilore O. Cerebello-cortical functional connectivity may regulate reactive balance control in older adults with mild cognitive impairment. *Frontiers of Neurology*. 2023;14:1041434. doi: 10.3389/fneur.2023.1041434
47. Racine AM, Adluru N, Alexander AL, et al. Associations between white matter microstructure and amyloid burden in preclinical Alzheimer's disease: A multimodal imaging investigation. *Neuroimage Clinic*. 2014;4:604-14. doi: 10.1016/j.nicl.2014.02.001
48. Bourbon-Teles J, Jorge L, Canário N. Associations between cortical β -amyloid burden, fornix microstructure and cognitive processing of faces, places, bodies and other visual objects in early Alzheimer's disease. *Hippocampus*. 2023;33(2):112-124. doi: 10.1002/hipo.23493
49. Rabin JS, Perea RD, Buckley RF. Synergism between fornix microstructure and beta amyloid accelerates memory decline in clinically normal older adults. *Neurobiology of Aging*. 2019;81:38-46. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2019.05.005
50. Senova S, Fomenko A, Gondard E. Anatomy and function of the fornix in the context of its potential as a therapeutic target. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 2020;91(5):547-559. doi: 10.1136/jnnp-2019-322375
51. Kuang Q, Huang M, Lei Y, et al. Clinical and cognitive correlates tractography analysis in patients with white matter hyperintensity of vascular origin. *Frontiers in Neuroscience*. 2023;17:1187979. doi: 10.3389/fnins.2023.1187979
52. Alber J., Alladi S., Bae H. J., White matter hyperintensities in vascular contributions to cognitive impairment and dementia (VCID): knowledge gaps and opportunities. *Alzheimers and Dementia (N Y)* 2019; 5: 107–117. doi: 10.1016/j.trci.2019.02.001
53. Mei Y, Wang W, Qiu D, et al. Micro-structural white matter abnormalities in new daily persistent headache: a DTI study using TBSS analysis. *Journal of Headache and Pain*. 2023;24(1):80. doi: 10.1186/s10194-023-01620-2
54. Li ZA, Cai Y, Taylor RL, Eisenstein SA, et al. Associations Between Socioeconomic Status, Obesity, Cognition, and White Matter Microstructure in Children. *Journal of American medical association*. 2023;6(6):e2320276. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2023.20276

55. Ji W, Li G, Jiang F, Zhang Y, et al. Preterm birth associated alterations in brain structure, cognitive functioning and behavior in children from the ABCD dataset. *Psychology Medicine*. 2023; 7:1-10. doi: 10.1017/S0033291723001757
56. Zhou W, He J, Zhang C, Pan Y, et al. Fiber-specific white matter alterations in Parkinson's disease patients with freezing of gait. *Brain Research*. 2023;1815:148440. doi: 10.1016/j.brainres.2023.148440
57. Li Y, Guo T, Guan X, Gao T, et al. Fixel-based analysis reveals fiber-specific alterations during the progression of Parkinson's disease. *Neuroimage Clinic*. 2020;27:102355. doi: 10.1016/j.nicl.2020.102355
58. Mistri D, Cacciaguerra L, Valsasina P, et al. Cognitive function in primary and secondary progressive multiple sclerosis: A multiparametric magnetic resonance imaging study. *European Journal of Neurology*. 2023. 139: 217-226 doi: 10.1111/ene.15900
59. Meijer KA, Cercignani M, Muhlert N, et al. Patterns of white matter damage are non-random and associated with cognitive function in secondary progressive multiple sclerosis. *Neuroimage Clin*. 2016 Jun 14;12:123-31. doi: 10.1016/j.nicl.2016.06.009
60. An YY, Lee ES, Lee SA, Choi JH, Park JM, Lee TK, Kim H, Lee JD. Association of Hearing Loss With Anatomical and Functional Connectivity in Patients With Mild Cognitive Impairment. *JAMA Otolaryngology Head and Neck Surgery*. 2023:e230824. doi: 10.1001/jamaoto.2023.0824
61. Ou YN, Ge YJ, Wu BS, et al. The genetic architecture of fornix white matter microstructure and their involvement in neuropsychiatric disorders. *Translational Psychiatry*. 2023;13(1):180. doi: 10.1038/s41398-023-02475-6

References

1. Law Z.K., Todd C., Mehraram R., et al. The Role of EEG in the Diagnosis, Prognosis and Clinical Correlations of Dementia with Lewy Bodies-A Systematic Review. *Diagnostics (Basel)*. 2020;10(9):616. doi: 10.3390/diagnostics10090616
2. Anisimov V.N. Molekulyarnie i fiziologicheskiye mehanizmi starenia. [Molecular and physiologic mechanisms of aging]. Saint-Petersburg: Nauka. 481 p. (In Russian)
3. Basser PJ, Pajevic S, Pierpaoli C., et al. In vivo fiber tractography using DT-MRI data. *Magnetic Resonance Medicine*. 2000;44(4):625-32. doi: 10.1002/1522-2594(200010)44:4<625::aid-mrm17>3.0.co;2-o

4. Ceccarelli, A., Rocca, M.A., Falini, A. et al. Normal-appearing white and grey matter damage in MS. *Journal of Neurology*. 2007; 254: 513–518. <https://doi.org/10.1007/s00415-006-0408-4>
5. Ahn S, Lee SK. Diffusion tensor imaging: exploring the motor networks and clinical applications. *Korean Journal of Radiology*. 2011;12(6):651-61. doi: 10.3348/kjr.2011.12.6.651
6. Kumar R, Chavez AS, Macey PM, et al. Brain axial and radial diffusivity changes with age and gender in healthy adults. *Brain Research*. 2013;1512:22-36. doi: 10.1016/j.brainres.2013.03.028
7. Vo Van P, Alison M, Morel B., et al. Advanced Brain Imaging in Preterm Infants: A Narrative Review of Microstructural and Connectomic Disruption. *Children (Basel)*. 2022;9(3):356. doi: 10.3390/children9030356
8. Maher AS, Rostowsky KA, Chowdhury NF. Neuroinformatics and Analysis of Connectomic Alterations Due to Cerebral Microhemorrhages in Geriatric Mild Neurotrauma. *ACM BCB*. 2018;2018:165-171. doi: 10.1145/3233547.3233598
9. Wang T, Shi F, Jin Y, et al. Multilevel Deficiency of White Matter Connectivity Networks in Alzheimer's Disease: A Diffusion MRI Study with DTI and HARDI Models. *Neural Plasticity*. 2016;2016:2947136. doi: 10.1155/2016/2947136
10. Marchenko N.V., Novokshonov D.Yu., Schevchenko E.Yu. et al. Pokazateli frakcionnoy anizotropii veshstva golovnogo mozga u zdorovih detey: kogortnoe issledovanie. [Fractional anisotropy parameters in the brain of the healthy children: cohort study]. *Luhevaya diagnostica I terapiya*. [Radiologic diagnostics and therapy]. 2022;13(3):7-17. (In Russ.) <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-3-7-17>
11. Fischer FU, Wolf D, Scheurich A. Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. Altered whole-brain white matter networks in preclinical Alzheimer's disease. *Neuroimage Clinic*. 2015;8:660-6. doi: 10.1016/j.nicl.2015.06.007
12. Calvillo M, Fan D, Irimia A. Multimodal Imaging of Cerebral Microhemorrhages and White Matter Degradation in Geriatric Patients with Mild Traumatic Brain Injury. *Methods Molecular Biology*. 2020;2144:223-236. doi: 10.1007/978-1-0716-0592-9_20
13. Wang MB, Rahmani F, Benzinger TLS. Edge Density Imaging Identifies White Matter Biomarkers of Late-Life Obesity and Cognition. *Aging Disorders*. 2022; 10: 237-241. doi: 10.14336/AD.2022.1210
14. Korbmacher M, de Lange AM, van der Meer D, et al. Brain-wide associations between white matter and age highlight the role of fornix microstructure in brain ageing. *Human Brain Mapping*. 2023; 12: 235-248. doi: 10.1002/hbm.26333

15. Nair P, Prasad K, Balasundaram P, et al. Multimodal imaging of the aging brain: Baseline findings of the LoCARPoN study. *Aging Brain*. 2023;3:100075. doi: 10.1016/j.nbas.2023.100075
16. Xing Y, Yang J, Zhou A, et al. White Matter Fractional Anisotropy Is a Superior Predictor for Cognitive Impairment Than Brain Volumes in Older Adults With Confluent White Matter Hyperintensities. *Frontiers Psychiatry*. 2021;12:633811. doi: 10.3389/fpsy.2021.633811
17. Fleischman DA, Arfanakis K, Leurgans SE, et al. Late-life depressive symptoms and white matter structural integrity within older Black adults. *Frontiers Aging Neuroscience*. 2023;15:1138568. doi: 10.3389/fnagi.2023.1138568
18. Carvalho DZ, McCarter SJ, St Louis EK, et al. Association of Polysomnographic Sleep Parameters With Neuroimaging Biomarkers of Cerebrovascular Disease in Older Adults With Sleep Apnea. *Neurology*. 2023;10.1212/WNL.0000000000207392. doi: 10.1212/WNL.0000000000207392
19. Mendez Colmenares A, Hefner MB, et al. Symmetric data-driven fusion of diffusion tensor MRI: Age differences in white matter. *Frontiers Neurology*. 2023;14:1094313. doi: 10.3389/fneur.2023.1094313
20. Bučková BR, Kala D, Kořenek J, et al. Structural connectivity-based predictors of cognitive impairment in stroke patients attributable to aging. *PLoS One*. 2023;18(4):e0280892. doi: 10.1371/journal.pone.0280892
21. Zamboni G, Griffanti L, Jenkinson M, et al. Oxford Vascular Study. White Matter Imaging Correlates of Early Cognitive Impairment Detected by the Montreal Cognitive Assessment After Transient Ischemic Attack and Minor Stroke. *Stroke*. 2017;48(6):1539-1547. doi: 10.1161/STROKEAHA.116.016044
22. Sivakumar L, Riaz P, Kate M, Jeerakathil T., et al. White matter hyperintensity volume predicts persistent cognitive impairment in transient ischemic attack and minor stroke. *International Journal of Stroke*. 2017;12(3):264-272. doi: 10.1177/1747493016676612
23. Sagnier S, Catheline G, Dilharreguy B., et al. Normal-Appearing White Matter Integrity Is a Predictor of Outcome After Ischemic Stroke. *Stroke*. 2020;51(2):449-456. doi: 10.1161/STROKEAHA.119.026886
24. McCormick EM, Kievit RA. Poorer White Matter Microstructure Predicts Slower and More Variable Reaction Time Performance: Evidence for a Neural Noise Hypothesis in a Large Lifespan Cohort. *Journal of Neuroscience*. 2023;43(19):3557-3566. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1042-22.2023

25. Karahan E, Costigan AG, Graham KS. Cognitive and White-Matter Compartment Models Reveal Selective Relations between Corticospinal Tract Microstructure and Simple Reaction Time. *Journal of Neuroscience*. 2019;39(30):5910-5921. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2954-18.2019
26. Bells S, Lefebvre J, Prescott SA., et al. Changes in White Matter Microstructure Impact Cognition by Disrupting the Ability of Neural Assemblies to Synchronize. *Journal of Neuroscience*. 2017;37(34):8227-8238. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0560-17.2017
27. Chen PY, Chen CL, Hsu YC. Fluid intelligence is associated with cortical volume and white matter tract integrity within multiple-demand system across adult lifespan. *Neuroimage*. 2020;212:116576. doi: 10.1016/j.neuroimage.2020.116576
28. Tan J, Wang Z, Tang Y., et al. Alterations in Human Hippocampus Subregions across the Lifespan: Reflections on White Matter Structure and Functional Connectivity. *Neural Plasticity*. 2023;7948140. doi: 10.1155/2023/7948140
29. Tseng BY, Gundapuneedi T, Khan MA, et al. White matter integrity in physically fit older adults. *Neuroimage*. 2013;82:510-6. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.06.011
30. Sexton CE, Betts JF, Demnitz N. A systematic review of MRI studies examining the relationship between physical fitness and activity and the white matter of the ageing brain. *Neuroimage*. 2016;131:81-90. doi: 10.1016/j.neuroimage.2015.09.071
31. Gowik JK, Goelz C, Vieluf S. Source connectivity patterns in the default mode network differ between elderly golf-novices and non-golfers. *Scientific Reports*. 2023;13(1):6215. doi: 10.1038/s41598-023-31893-1
32. Jiang Y, Tian Y, Wang Z. Age-Related Structural Alterations in Human Amygdala Networks: Reflections on Correlations Between White Matter Structure and Effective Connectivity. *Frontiers of Human Neuroscience*. 2019;13:214. doi: 10.3389/fnhum.2019.00214
33. George KM, Maillard P, Gilsanz P, et al. Association of Early Adulthood Hypertension and Blood Pressure Change With Late-Life Neuroimaging Biomarkers. *JAMA Network Open*. 2023;6(4):e236431. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2023.6431
34. Li WX, Yuan J, Han F, et al. White matter and gray matter changes related to cognition in community populations. *Frontiers of Aging Neuroscience*. 2023;15:1065245. doi: 10.3389/fnagi.2023.1065245.
35. Wang Q, Su N, Huang J, et al. White Matter but not Gray Matter Volumes Are Associated with Cognition in Community-Dwelling Chinese Populations. *Journal of Alzheimers Disease*. 2021;84(1):367-375. doi: 10.3233/JAD-210367

36. Arvanitakis Z, Fleischman DA, Arfanakis K, et al. Association of white matter hyperintensities and gray matter volume with cognition in older individuals without cognitive impairment. *Brain Structural Function*. 2016;221(4):2135-46. doi: 10.1007/s00429-015-1034-7
37. Liu ZY, Zhai FF, Han F. Regional Disruption of White Matter Integrity and Network Connectivity Are Related to Cognition. *Journal of Alzheimers Disease*. 2022;89(2):593-603. doi: 10.3233/JAD-220191
38. Wang M, Xu B, Hou X, et al. Altered brain networks and connections in chronic heart failure patients complicated with cognitive impairment. *Frontiers of Aging Neuroscience*. 2023;15:1153496. doi: 10.3389/fnagi.2023.1153496
39. Tinney EM, Loui P, Raine LB, et al. Influence of mild cognitive impairment and body mass index on white matter integrity assessed by diffusion tensor imaging. *Psychophysiology*. 2023:e14306. doi: 10.1111/psyp.14306
40. Zhuang L, Sachdev PS, Trollor JN, et al. Microstructural white matter changes, not hippocampal atrophy, detect early amnesic mild cognitive impairment. *PLoS One*. 2013;8(3):e58887. doi: 10.1371/journal.pone.0058887
41. Li W, Muftuler LT, Chen G. Effects of the coexistence of late-life depression and mild cognitive impairment on white matter microstructure. *Journal of Neurological Science*. 2014;338(1-2):46-56. doi: 10.1016/j.jns.2013.12.016
42. Yan S, Zhang Y, Yin X. et al. Alterations in white matter integrity and network topological properties are associated with a decrease in global motion perception in older adults. *Frontiers of Aging Neuroscience*. 2023;15:1045263. doi: 10.3389/fnagi.2023.1045263
43. Lacalle-Aurioles M, Iturria-Medina Y. Fornix degeneration in risk factors of Alzheimer's disease, possible trigger of cognitive decline. *Cerebral Circulation and Cognitive Behaviour*. 2023;4:100158. doi: 10.1016/j.cccb.2023.100158.
44. Chen Y, Wang Y, Song Z, et al. Abnormal white matter changes in Alzheimer's disease based on diffusion tensor imaging: A systematic review. *Ageing Resources Review*. 2023;87:101911. doi: 10.1016/j.arr.2023.101911
45. Brueggen K, Dyrba M, Cardenas-Blanco A, et al. DELCODE Study Group. Structural integrity in subjective cognitive decline, mild cognitive impairment and Alzheimer's disease based on multicenter diffusion tensor imaging. *Journal of Neurology*. 2019;266(10):2465-2474. doi: 10.1007/s00415-019-09429-3
46. Kannan L, Bhatt T, Ajilore O. Cerebello-cortical functional connectivity may regulate reactive balance control in older adults with mild cognitive impairment. *Frontiers of Neurology*. 2023;14:1041434. doi: 10.3389/fneur.2023.1041434

47. Racine AM, Adluru N, Alexander AL, et al. Associations between white matter microstructure and amyloid burden in preclinical Alzheimer's disease: A multimodal imaging investigation. *Neuroimage Clinic*. 2014;4:604-14. doi: 10.1016/j.nicl.2014.02.001
48. Bourbon-Teles J, Jorge L, Canário N. Associations between cortical β -amyloid burden, fornix microstructure and cognitive processing of faces, places, bodies and other visual objects in early Alzheimer's disease. *Hippocampus*. 2023;33(2):112-124. doi: 10.1002/hipo.23493
49. Rabin JS, Perea RD, Buckley RF. Synergism between fornix microstructure and beta amyloid accelerates memory decline in clinically normal older adults. *Neurobiology of Aging*. 2019;81:38-46. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2019.05.005
50. Senova S, Fomenko A, Gondard E. Anatomy and function of the fornix in the context of its potential as a therapeutic target. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 2020;91(5):547-559. doi: 10.1136/jnnp-2019-322375
51. Kuang Q, Huang M, Lei Y, et al. Clinical and cognitive correlates tractography analysis in patients with white matter hyperintensity of vascular origin. *Frontiers in Neuroscience*. 2023;17:1187979. doi: 10.3389/fnins.2023.1187979
52. Alber J., Alladi S., Bae H. J., White matter hyperintensities in vascular contributions to cognitive impairment and dementia (VCID): knowledge gaps and opportunities. *Alzheimers and Dementia (N Y)* 2019; 5: 107–117. doi: 10.1016/j.trci.2019.02.001
53. Mei Y, Wang W, Qiu D, et al. Micro-structural white matter abnormalities in new daily persistent headache: a DTI study using TBSS analysis. *Journal of Headache and Pain*. 2023;24(1):80. doi: 10.1186/s10194-023-01620-2
54. Li ZA, Cai Y, Taylor RL, Eisenstein SA, et al. Associations Between Socioeconomic Status, Obesity, Cognition, and White Matter Microstructure in Children. *Journal of American medical association*. 2023;6(6):e2320276. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2023.20276
55. Ji W, Li G, Jiang F, Zhang Y, et al. Preterm birth associated alterations in brain structure, cognitive functioning and behavior in children from the ABCD dataset. *Psychology Medicine*. 2023; 7:1-10. doi: 10.1017/S0033291723001757
56. Zhou W, He J, Zhang C, Pan Y, et al. Fiber-specific white matter alterations in Parkinson's disease patients with freezing of gait. *Brain Research*. 2023;1815:148440. doi: 10.1016/j.brainres.2023.148440
57. Li Y, Guo T, Guan X, Gao T, et al. Fixel-based analysis reveals fiber-specific alterations during the progression of Parkinson's disease. *Neuroimage Clinic*. 2020;27:102355. doi: 10.1016/j.nicl.2020.102355

58. Mistri D, Cacciaguerra L, Valsasina P, et al. Cognitive function in primary and secondary progressive multiple sclerosis: A multiparametric magnetic resonance imaging study. *European Journal of Neurology*. 2023. 139: 217-226 doi: 10.1111/ene.15900

59. Meijer KA, Cercignani M, Muhlert N, et al. Patterns of white matter damage are non-random and associated with cognitive function in secondary progressive multiple sclerosis. *Neuroimage Clin*. 2016 Jun 14;12:123-31. doi: 10.1016/j.nicl.2016.06.009

60. An YY, Lee ES, Lee SA, Choi JH, Park JM, Lee TK, Kim H, Lee JD. Association of Hearing Loss With Anatomical and Functional Connectivity in Patients With Mild Cognitive Impairment. *JAMA Otolaryngology Head and Neck Surgery*. 2023:e230824. doi: 10.1001/jamaoto.2023.0824

61. Ou YN, Ge YJ, Wu BS, et al. The genetic architecture of fornix white matter microstructure and their involvement in neuropsychiatric disorders. *Translational Psychiatry*. 2023;13(1):180. doi: 10.1038/s41398-023-02475-6. PMID: 37236919

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Acknowledgments. The study did not have sponsorship.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Сведения об авторах

Екушева Евгения Викторовна - доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой нервных болезней и нейрореабилитации, Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, 125371, Москва, Волоколамское шоссе, 91; ведущий научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», 308015 Россия, Белгород, улица Победы, 85, e-mail: ekushevaev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3638-6094

Войтенков Владислав Борисович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры нервных болезней и нейрореабилитации, Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, 125371, Москва, Волоколамское шоссе, 91; зав. отделением функциональной диагностики, ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней ФМБА России», г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова д.9, 195271; e-mail: vlad203@inbox.ru, ORCID: 0000-0003-0448-7402

Кипарисова Елена Сергеевна - доктор медицинских наук, профессор кафедры нервных болезней и нейрореабилитации, Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, 125371, Москва, Волоколамское шоссе, 91; e-mail: kiparisovaes@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2646-9790

Марченко Наталья Викторовна – кандидат медицинских наук, зав. отделением лучевой диагностики, ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней ФМБА России», 197022, Санкт-Петербург, ул. профессора Попова, д. 9., e-mail: gmv2006@mail.ru, orcid.org/0000-0002-2684-9980; SPIN-код: 9813-1529

Пономарев Алексей Сергеевич - кандидат медицинских наук, доцент кафедры анатомии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Уральский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, 620028, Россия, обл. Свердловская, г. Екатеринбург, ул. Репина, д. 3, e-mail: alekseosokin@yandex.ru, ORCID 0000-0002-2830-0334; SPIN-код: 8661-1110

Ключникова Анна Адольфовна - врач психиатр, психотерапевт, ГБУЗ города Москвы «Психиатрическая клиническая больница № 1 им. Н.А. Алексеева Департамента здравоохранения города Москвы», 117152, г. Москва, Загородное ш., д. 2; научный сотрудник отдела клинической геронтологии, Автономная некоммерческая организация «Научно-исследовательский медицинский центр «Геронтология» (АНО НИМЦ «Геронтология»), 125371, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 116, стр.1, оф.321, e-mail: Anna.kli@mail.ru, ORCID 0009-0006-0488-8088

Information about authors

Ekusheva Evgenia Viktorovna – MD, Dr Sci, Head of the Department of Nervous Diseases and Neurorehabilitation, Academy of postgraduate education under FSBU FSCC of FMBA of Russia, 91, Volokolamskoe sh., 125371 Moscow, Head researcher, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University», Belgorod, 85 Pobedy Street, 308015 Russia, e-mail: ekushevaev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3638-6094

Voitenkov Vladislav Borisovich – MD, PhD, Associate Professor of the Department of Nervous Diseases and Neurorehabilitation, Academy of postgraduate education under FSBU FSCC of FMBA of Russia, 91, Volokolamskoe sh., 125371 Moscow; Head of Clinical Department of Neurophysiology; Pediatric Research and Clinical Center for Infectious Diseases, 9, Prof. Popov st., 197022, St. Petersburg, e-mail: vlad203@inbox.ru, ORCID: 0000-0003-0448-7402; SPIN: 6190-6930

Kiparisova Elena Sergeevna - MD, Dr Sci, Professor of the Department of Nervous Diseases and Neurorehabilitation, Academy of postgraduate education under FSBU FSCC of FMBA of Russia, 91, Volokolamskoe sh., 125371 Moscow, e-mail: kiparisovaes@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2646-9790

Marchenko Natalya Viktorovna – MD, PhD, Head of Radiology Department, Pediatric Research and Clinical Center for Infectious Diseases, 9, Prof. Popov st., 197022, St. Petersburg, e-mail: gmv2006@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2684-9980; SPIN-код: 9813-1529

Ponomarev Alexey Sergeevich - PhD, assistant professor of the anatomy department, Federal State Budgetary Institution of Higher Professional Education «Urals State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation (FSBI НРБ «USMU» МОИР Russia), 620028, Russia, Sverdlovsk region, Yekaterinburg, Repina str., 3, e-mail: alekseosokin@yandex.ru, ORCID 0000-0002-2830-0334; SPIN-код: 8661-1110

Klyuchnikova Anna Adolfovna - psychiatrist, psychotherapist, Mental-health clinic N1 named after N.A. Alexeev, 117152, Moscow, Zagorodnoye sh., 2; researcher in Research Medical Center «GERONTOLOGY», 125371, Moscow, Volokolamskoe highway, 116, b.1, of. 321, e-mail: Anna.kli@mail.ru, ORCID 0009-0006-0488-8088

Статья получена: 28.09.2023 г.
Принята к публикации: 25.12.2023 г.