

Оригинальная статья

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2025



Читать онлайн
Read online

Горбунов А.В.^{1,2}, Горев В.В.¹, Паникратова Я.Р.³, Томышев А.С.³, Заваденко Н.Н.²,
Хаценко И.Е.¹, Хасанова К.А.^{1,4}, Горбунов М.А.^{2,5}, Лебедева И.С.³

Функциональные и структурные характеристики головного мозга при левосторонней амблиопии у детей

¹ГБУЗ «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы», 119049, Москва, Россия;

²ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России (Пироговский Университет), 117513, Москва, Россия;

³ФГБНУ «Научный центр психического здоровья», 115522, Москва, Россия;

⁴ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), 119048, Москва, Россия;

⁵ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» Минобрнауки России, 117198, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Магнитно-резонансная томография (МРТ), в частности функциональная, является одним из наиболее информативных неинвазивных методов определения структурно-функционального состояния головного мозга, и очевидное направление её развития — изучение возможностей данного подхода в различных областях медицины, в том числе в детской неврологии и офтальмологии.

Цель работы — определение показателей межполушарной асимметрии по структурным и функциональным показателям и выявление корреляций этих показателей между собой, а также с клиническими характеристиками у детей с левосторонней амблиопией.

Материалы и методы. В группу для проведения МРТ были включены 20 пациентов с левосторонней амблиопией, однако по итогам проверки качества изображений анализируемая выборка для структурной МРТ составила 17 человек (возраст 6,2–15,1 года; средний возраст $9,5 \pm 2,5$ года; 9 мальчиков и 8 девочек), для функциональной МРТ покоя — 14 человек (возраст 6,2–15,1 года; средний возраст $9,5 \pm 2,5$ года; 8 мальчиков и 6 девочек).

Результаты. Выявлены значимые показатели асимметрии для толщины серого вещества в латеральной затылочной коре, объёма таламуса, показателя локальной согласованности гемодинамического сигнала в нижней латеральной затылочной коре, первичной и вторичной зрительной коре, язычной извилине, хотя эти данные не коррелировали с остротой зрения в глазу с амблиопией.

Заключение. Полученные результаты могут быть связаны с изменением нейроонтогенеза, но для подтверждения этого требуются дальнейшие исследования.

Ключевые слова: амблиопия; головной мозг; дети; магнитно-резонансная томография; функциональная магнитно-резонансная томография

Соблюдение этических стандартов. Исследование проводилось согласно принципам Хельсинкской декларации. Все пациенты или их законные представители подписывали добровольное информированное согласие.

Для цитирования: Горбунов А.В., Горев В.В., Паникратова Я.Р., Томышев А.С., Заваденко Н.Н., Хаценко И.Е., Хасанова К.А., Горбунов М.А., Лебедева И.С. Функциональные и структурные характеристики головного мозга при левосторонней амблиопии у детей. *Неврологический журнал им. Л.О. Бадаляна*. 2025; 6(1): 6–12 <https://doi.org/10.46563/2686-8997-2025-6-1-6-12>
<https://elibrary.ru/vfgzji>

Для корреспонденции: Горбунов Александр Валерьевич, e-mail: agorbunov@morozdgbk.ru

Участие авторов:

Горбунов А.В. — обзор публикаций по теме статьи, сбор и анализ данных, написание текста рукописи;

Горев В.В. — написание текста статьи, окончательное утверждение для публикации рукописи;

Лебедева И.С. — обзор публикаций по теме статьи, сбор и анализ данных, написание текста рукописи;

Заваденко Н.Н. — написание текста статьи, окончательное утверждение для публикации рукописи;

Хаценко И.Е. — сбор и анализ данных, написание текста;

Паникратова Я.Р. — сбор и анализ данных, написание текста;

Томышев А.С. — сбор и анализ данных, написание текста;

Хасанова К.А. — сбор и анализ данных, написание текста;

Горбунов М.А. — сбор и анализ данных, написание текста.

Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила 23.12.2024

Принята к печати 04.02.2025

Опубликована 30.04.2025

Aleksandr V. Gorbunov^{1,2}, Valeriy V. Gorev¹, Yana R. Panikratova³, Aleksandr S. Tomyshev³, Nikolay N. Zavadenko², Igor E. Khatsenko¹, Ksenia A. Khasanova^{1,4}, Mikhail A. Gorbunov^{2,5}, Irina S. Lebedeva³

Study of the brain functional and structural characteristics (according to MRI data) in left-sided amblyopia in children

¹Morozov Pediatric Municipal Clinical Hospital, Moscow, 119049, Russian Federation;

²N.I. Pirogov Russian National Research Medical University (Pirogov University), Moscow, 117513, Russian Federation;

³Mental Health Research Center, Moscow, 115522, Russian Federation;

⁴I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119048, Russian Federation;

⁵Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, 117198, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Magnetic resonance imaging (in particular, functional MRI) is one of the most informative non-invasive methods for the analysis of structural and functional brain state, and an obvious direction for its development is to study the possibilities of this approach in various fields of medicine, including pediatric ophthalmology.

Objective. To determine the interhemispheric asymmetry by structural and functional indices and identify its correlations with each other, as well as with clinical characteristics in children with left-sided amblyopia.

Materials and methods. Twenty patients with left-sided amblyopia were included in the MRI examination group, however, according to the results of image quality control, the analyzed sample for structural MRI was 17 patients (age from 6.2 to 15.1 years, average aged of 9.5 ± 2.5 years, 9 boys and 8 girls), for functional resting MRI — 14 patients (aged of from 6.2 to 15.1 years, average age of 9.5 ± 2.5 years, 8 boys and 6 girls).

Results. Statistically significant asymmetry indices were identified for the thickness of gray matter in the lateral occipital cortex, for the volume of the thalamus, as well as for the local coherence of the hemodynamic signal in the inferior lateral occipital cortex, primary and secondary visual cortices, and lingual gyrus, although these parameters did not correlate with visual acuity in the amblyopic eye.

Conclusion. The findings may be associated with changes in neuroontogenesis, although further studies are required to confirm this.

Keywords: amblyopia; brain; children; MRI; functional MRI

Compliance with ethical standards. The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. All patients or their legal representatives signed voluntary informed consent.

For citation: Gorbunov A.V., Gorev V.V., Panikratova Ya.R., Tomyshev A.S., Zavadenko N.N., Khatsenko I.E., Khasanova K.A., Gorbunov M.A., Lebedeva I.S. Study of the brain functional and structural characteristics (according to MRI data) in left-sided amblyopia in children. *Nevrologicheskiy zhurnal imeni L.O. Badalyana (L.O. Badalyan Neurological Journal)*. 2025; 6(1): 6–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.46563/2686-8997-2025-6-1-6-12> <https://elibrary.ru/vfgzii>

For correspondence: Aleksandr V. Gorbunov, e-mail: agorbunov@morozdgb.ru

Contribution:

Gorbunov A.V. — review of publications, data collection and analysis, writing the text of the manuscript;
Gorev V.V. — writing the text of the article, final approval for the publication of the manuscript;
Lebedeva I.S. — review of publications, data collection and analysis, writing the text of the manuscript;
Zavadenko N.N. — writing the text of the article, final approval for the publication of the manuscript;
Khatsenko I.E. — data collection and analysis, writing text;
Panikratova Ya.R. — data collection and analysis, writing text;
Tomyshev A.S. — data collection and analysis, writing text;
Khasanova K.A. — data collection and analysis, writing text;
Gorbunov M.A. — data collection and analysis, writing text.

All co-authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of its final version.

Acknowledgements. The study had no sponsorship.

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

Received: December 23, 2024

Accepted: February 4, 2025

Published: April 30, 2025

Введение

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является одним из наиболее информативных неинвазивных методов определения анатомо-морфологического статуса головного мозга, при этом тенденцией научно-клинических исследований последних лет стало внедрение мультимодальных подходов, где структурные протоколы дополняются данными о функциональных особенностях. И хотя данные функциональной МРТ (фМРТ) ещё используются в ограниченном числе областей медицины, развитие методов обработки получаемых изображений существенно объективизирует результа-

ты и ускоряет их анализ, что, очевидно, ставит вопрос о трансляции их в клиническую практику.

В предыдущем исследовании мы изучали данные структурной и функциональной МРТ покоя при анизотропической амблиопии [1]. У детей с левосторонней амблиопией (ЛСА) выявлены межполушарные различия в толщине серого вещества латеральной затылочной коры, локальной согласованности гемодинамического сигнала внутри первичной зрительной коры и функциональной связанности первичной и вторичной областей зрительной коры.

Повторное обращение к этому анализу связано с несколькими факторами. Во-первых, по ряду фрагментов

Таблица 1, Данные офтальмологического обследования пациентов
Table 1, The ophthalmology data on the patients

№	Возраст, лет Age, years	Фиксация Fixation	Visus OS	Visus OD	Рефракция Refraction OS	Рефракция Refraction OD	Возраст в начале лечения, лет Age at the beginning of treatment, years
1	6.21	ННФ UOF	0.05	0.90	+1.25 +1.5	+1.0 +1.5	—
2	7.02	ПЦФ CCF	0.30	1.00	+1.25 +1.25	+1.0 +1.0	—
3	7.22	ПЦФ CCF	0.20	0.60	+2.0 +2.5	+1.25 +1.50	4
4	7.50	ПЦФ CCF	0.30	1.00	+5.5 +7.0	+2.5 +3.25	3
5	7.88	ННФ UOF	0.08	1.00	+5.0 +6.5	+5.0 +5.0	5
6	8.06	ПЦФ CCF	0.07	0.80	+5.5 +6.0	+3.25 +3.25	6
7	8.11	ПЦФ CCF	0.10	0.70	+7.0 +5.75	+6.25 +6.25	2
8	10.14	ПЦФ CCF	0.02	1.00	+10.25 +10.5	+6.5 +6.75	3
9	10.63	ННФ UOF	0.02	1.25	+6.75 +7.25	0.0 +0.5	-
10	10.44	ПЦФ CCF	0.30	1.00	+2.25 0.0	+0.25 -0.75	9
11	11.41	ННФ UOF	0.08	1.00	+6.25 +6.25	+4.0 +4.0	2
12	11.32	ПЦФ CCF	0.15	0.90	-2.0 +1.0	-4.25 -2.75	3
13	12.20	ННФ UOF	0.10	1.00	+5.5 +4.75	+3.75 +3.0	2
14	15.11	ННФ UOF	0.09	1.00	+3.75 +4.0	+2.0 +2.0	4

Примечание. ПЦФ — правильная центральная фиксация; ННФ — неустойчивая нецентральная фиксация. Для 3 испытуемых информацию о начале лечения получить не удалось.

Note. CCF – correct central fixation, UOF – unstable off-center fixation. For 3 subjects information about the beginning of treatment could not be obtained.

работы была увеличена выборка пациентов. Во-вторых, в настоящей работе анализировали показатель межполушарной асимметрии (МПА), что дало возможность сопоставить полученные данные с результатами недавно опубликованного большого мультицентрового исследования МПА головного мозга [2]. И, наконец, в настоящей работе были дополнительно проанализированы две области головного мозга: верхняя теменная доля, которая является частью дорсального зрительного пути [3], вовлечена в обеспечение процессов зрительно-моторного внимания [4] и в которой был обнаружен гипометаболизм у больных с амблиопией [5], а также височно-затылочная часть нижней височной извилины и область латеральной затылочно-височной борозды, являющиеся частью вентрального зрительного пути [3].

Целью настоящей работы стало определение показателей МПА по структурным и функциональным показателям и выявление корреляций этих показателей между собой, а также с клиническими характеристиками у детей с ЛСА.

Материалы и методы

Выборка

Отбор испытуемых в экспериментальную группу осуществлён одним из авторов настоящего исследования — канд. мед. наук И.Е. Хаценко согласно следующим критериям: анизометропия, отсутствие косоглазия, ЛСА высокой степени с длительным (более года) неэффективным лечением в анамнезе, отсутствие перинатальной и врождённой патологии. В группу для проведения МРТ были включены 20 пациентов с ЛСА, однако по итогам

проверки качества изображений анализируемая выборка для структурной МРТ составила 17 человек (возраст 6,2–15,1 года; средний возраст $9,5 \pm 2,5$ года; 9 мальчиков и 8 девочек), для фМРТ покоя — 14 человек (возраст 6,2–15,1 года; средний возраст $9,5 \pm 2,5$ года; 8 мальчиков и 6 девочек). Демографические данные и результаты офтальмологического обследования детей представлены в **табл. 1**. Острота зрения лучшего глаза (visus OD) у детей этой группы была в пределах возрастной нормы; значения остроты зрения амблиопичного глаза были в диапазоне 0,015–0,300.

Магнитно-резонансная томография

МРТ проводили на томографе «3T Philips Ingenia» в ГБУЗ «Морозовская ДГКБ ДЗМ». T1-взвешенные изображения были получены с использованием последовательности турбо-полевого эхо (TR = 8 мс; TE = 4 мс; FA = 8°; размер вокселя $0,6 \times 1,0 \times 1,0$ мм, 250 срезов, межсрезное расстояние 0).

Функциональные T2*-взвешенные изображения получали с помощью эхо-планарной последовательности (TR = 2 с; TE = 35 мс; FA = 90°; 300 объёмов; 34 среза; матрица 64×64 ; размер вокселя $3,12 \times 3,12 \times 3,12$ мм; межсрезное расстояние 0,31 мм, примерное время сканирования 10 мин).

Обработка структурной МРТ

T1-взвешенные изображения были обработаны в пакете FreeSurfer v. 7.4.1¹, который позволяет получить детальные анатомические реконструкции головного мозга

¹URL: <https://surfer.nmr.mgh.harvard.edu>

для испытуемых старше 5 лет. Использованные алгоритмы FreeSurfer: нормализация интенсивности, удаление немозговой ткани из изображений, присваивание анатомических меток (например, таламус, гиппокамп, желудочки и т. д.) каждому вокселу [6–8]. Далее были реконструированы модели кортикальных поверхностей и определены показатели толщины серого вещества коры с использованием алгоритмов, описанных ранее [9–13]. В итоге для каждого испытуемого были получены средние показатели толщины серого вещества (в мм) для двух полушарий согласно атласам [14, 15], а также показатели объёма серого вещества (в мм³) для подкорковых образований согласно атласу *aseg* FreeSurfer.

Для последующего анализа были выбраны следующие области коры в левом и правом полушариях: латеральная затылочная, язычная извилина, верхняя теменная доля из атласа [14], а также область латеральной затылочно-височной борозды из атласа [15]. Кроме того, в качестве областей интереса были выделены следующие участки коры:

- 1) зона V1 (поле Бродмана 17) — первичная зрительная кора;
- 2) зона V2 (поле Бродмана 18) — вторичная зрительная кора;
- 3) V5/MT — среднее височное поле в соответствии с атласами [16, 17].

Также для анализа был выбран таламус в каждом полушарии.

Обработка данных фМРТ покоя

Предварительную обработку T2*-взвешенных и вспомогательных в данном случае T1-взвешенных изображений проводили в пакетах SPM12² и CONN [18], версия 22.a (RRID:SCR_009550) [19]. Все изображения ориентировали параллельно плоскости, проходящей через переднюю и заднюю комиссуры. Выполняли следующие процедуры: поправку на неодновременность регистрации срезов; корректировку артефактов движения в функциональных изображениях; корегистрацию T1-взвешенных изображений с T2*-взвешенными; сегментацию T1-взвешенных изображений на объёмы серого, белого вещества и спинномозговой жидкости; пространственную нормализацию всех изображений; пространственное сглаживание функциональных изображений с использованием фильтра Гаусса (8 мм). Сегментацию выполняли на основе вероятностных карт серого, белого вещества и спинномозговой жидкости, созданных для выборки данного возраста и пола с использованием Template-O-Matic Toolbox³ [20]. Вероятностные карты создавали на основе анатомических изображений 404 детей 4,75–18,58 лет [21]. Все вышеуказанные процедуры выполняли в пакете SPM12. С использованием пакета CONN выявляли объёмы, являющиеся выбросами

по движению головы или общему изменению яркости; устраняли из анализа компоненты, потенциально связанные с шумом, с помощью линейной регрессии; применяли частотный фильтр 0,008–0,090 Гц.

В качестве областей интереса для анализа данных фМРТ покоя в каждом полушарии были выбраны первичная (поле Бродмана 17) и вторичная (поля Бродмана 18+19) зрительная кора; нижняя латеральная затылочная кора; язычная извилина; верхняя теменная доля; височно-затылочная часть нижней височной извилины. Маски первичной и вторичной зрительной коры созданы с использованием пакета *marsbar*⁴ на основе атласа полей Бродмана⁵; разделение масок по полушариям выполнено с использованием атласа AAL [22]. Оба атласа включены в пакет MRICron v1.0.20190902⁶. Маски остальных областей были выделены согласно атласу Harvard-Oxford⁷, адаптированному для использования в CONN. Размер воксела всех масок был приведён в соответствие с функциональными данными.

По всем указанным маскам был рассчитан средний показатель локальной согласованности гемодинамического сигнала (local correlation, LCOR) в левом и правом полушариях. Данный показатель отражает согласованность функционирования локальной области головного мозга и определяется как среднее значение коэффициентов корреляции между данным вокселом и областью соседних вокселей (в нашем анализе FWHM = 25 мм).

Анализ асимметрии

Все статистические расчёты проводили в R (версия 4.2.1). Для каждого анализируемого показателя толщины коры, объёма подкорковых образований и LCOR были рассчитаны индексы асимметрии (ИА) по формуле:

$$\text{ИА} = (\text{лево} - \text{право}) / (0,5 \times [\text{лево} + \text{право}]).$$

Положительные значения свидетельствуют о левосторонней асимметрии, отрицательные — о правосторонней [2]. Далее были проведены два вида анализа с использованием обобщённых линейных моделей (функция *glm* пакета *stats v4.2.1*). Произведена оценка значимости показателя МПА и связанных с возрастом изменений МПА. В обоих случаях в качестве зависимой переменной выступал ИА, а в качестве независимой в первом анализе — свободный коэффициент, для определения наличия асимметрии (значимого отличия от нуля); во втором анализе — возраст и возраст в квадрате для определения связи возраста с ИА. В первом случае размер эффекта рассчитывали по формуле: $d = t/\sqrt{df}$ (значение t-статистики, разделённое на квадратный корень числа степеней свободы) [23]. Во втором случае размер эффекта был рассчитан как

²URL: <https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software>

³URL: <https://neuro-jena.github.io/software.html#tom>

⁴URL: <https://github.com/marsbar-toolbox/marsbar>

⁵URL: <https://people.cas.sc.edu/rorden/mricron/lesion.html>

⁶URL: <https://www.nitrc.org/projects/mricron>

⁷URL: <https://cma.mgh.harvard.edu>

показатель парциального коэффициента корреляции: $r = t / (\sqrt{t^2 + df})$ [23].

Полученные результаты корректировали на множественность сравнений (количество тестируемых зон интереса) по методу FDR ($q = 0,05$) отдельно для показателей структурной МРТ и фМРТ покоя.

Кроме того, дополнительно были рассчитаны общие линейные модели для значимых ИА показателей LCOR с независимой переменной — количеством искажённых из-за движения T2*-взвешенных изображений, для проверки влияния этого показателя на результаты исследования.

Корреляционный анализ

Проведён корреляционный анализ между значимыми ИА и остротой зрения в левом, поражённом глазу, а также между значимыми ИА структурных и функциональных показателей в анатомически пересекающихся областях.

В расчётах использовали обобщённые линейные модели, где независимая переменная — ИА, а зависимая — острота зрения. В качестве дополнительной независимой переменной во всех моделях учитывали возраст, в моделях с ИА подкорковых образований дополнительно учитывали интракраниальный объём, а в моделях с ИА LCOR — количество искажённых из-за движения T2*-взвешенных изображений. Размеры эффекта рассчитаны как показатели парциального коэффициента корреляции: $r = t / (\sqrt{t^2 + df})$ [23]. Результаты корректировали на множественность сравнений (по количеству корреляций) по методу FDR ($q = 0,05$) отдельно для показателей структурной МРТ и фМРТ покоя.

Результаты

Структурная МРТ

Статистически значимая асимметрия толщины серого вещества обнаружена в латеральной затылочной коре (ИА = $-0,034$; $p = 0,0012$; $d = -0,99$).

Также была выявлена значимая левосторонняя МПА по объёму таламуса (ИА = $0,018$; $p = 0,0275$; $d = 0,61$). При этом по результатам второго анализа ИА всех указанных показателей не коррелировал с возрастом.

Функциональная МРТ покоя

Значимая МПА показателей локальной согласованности гемодинамического сигнала обнаружена в следующих областях: нижняя латеральная затылочная кора (ИА = $-0,088$; $p < 0,0001$; $d = -2,14$), первичная (ИА = $0,253$; $p < 0,0001$; $d = 4,5$) и вторичная зрительная кора (ИА = $-0,095$; $p < 0,0001$; $d = -2,19$) и язычная извилина (ИА = $-0,133$; $p < 0,0001$; $d = -3,68$).

При этом по результатам дополнительного анализа ИА всех указанных показателей не коррелировал ни с возрастом, ни с количеством искажённых из-за движения T2*-взвешенных изображений.

Корреляционный анализ

По результатам корреляционного анализа не обнаружено статистически значимых корреляций.

Обсуждение

Проведённое исследование выявило значимые МПА по структурным и функциональным показателям у детей с ЛСА, хотя значимых корреляций этих показателей между собой и с клиническими характеристиками (остротой зрения в здоровом и амблиопичном глазу) не обнаружено. Последнее, вероятно, отражает более локальную, чем было проанализировано, патологию в структуре и функции анализируемых областей головного мозга.

Сопоставляя результаты с данными предыдущего исследования, можно указать на подтверждение на большей по объёму выборке правополушарной асимметрии для толщины серого вещества латеральной затылочной коры. Данная область ассоциируется со зрительным распознаванием объектов [24] и входит в сеть восприятия лиц [25]. Отсутствие группы контроля не позволяет однозначно интерпретировать данный результат, однако нормативные данные [2] указывают также на правополушарную асимметрию, хотя и с существенно меньшей величиной эффекта ($-0,19$ в нормативной выборке по сравнению с $-0,99$ в нашей выборке). Исходя из такой разницы в размерах эффекта, одной из интерпретаций обнаруженной правосторонней асимметрии может являться неравномерный онтогенез кортикального серого вещества в левом и правом полушариях. Так, по данным крупнейшего к настоящему моменту мультицентрового исследования возрастной траектории изменений кортикального серого вещества [26], толщина коры в латеральной затылочной области в возрасте 3–15 лет снижается в среднем с 2,504 до 2,246 мм в левом полушарии, и с 2,571 до 2,313 мм — в правом (приведены данные 50% центилей), т. е. в среднем на 10,3% в левом полушарии и на 10,0% — в правом. Таким образом, различие в величине эффекта обнаруженной в настоящем исследовании правосторонней латерализации и нормативными данными [2] предположительно может быть обусловлено разной скоростью онтогенетических изменений толщины кортикального серого вещества в левом и правом полушариях. Так, S. Qi и соавт. показано, что у детей с анизометропической амблиопией по сравнению со здоровым контролем наблюдается повышенная толщина коры как в левой, так и в правой латеральной затылочной коре [27], причём размер эффекта справа был больше, чем слева — 1,5 по сравнению с 1,1 (размер эффекта рассчитан по данным указанной статьи с использованием функции t_to_d пакета R `effectsize` v.0.8.9). Однако в указанной работе анализировали смешанную выборку детей как с ЛСА, так и с правосторонней амблиопией. Таким образом, сопоставление полученных данных со здоровым кон-

тролем станет дальнейшим направлением настоящей серии исследований.

Кроме того, перспективными для исследования могут быть и данные об отсутствии значимой МПА. Например, у детей школьного возраста для височно-затылочной коры описан преимущественно левополушарный фокус по данным фМРТ и, более того, большая выраженность смещения влево коррелирует с лучшим выполнением задачи на зрительное внимание [28] — в то время как в нашей выборке данная асимметрия отсутствовала, что, с осторожностью, можно также рассматривать как определённое отклонение. Правополушарная асимметрия для данных фМРТ (как патологический феномен) была описана,

например, у детей с расстройствами аутистического спектра [29].

Заключение

Проведённое исследование, по своему наполнению являющееся уникальным для отечественной науки, позволило выявить статистически значимую МПА для структурных и функциональных (локальная согласованность BOLD-сигнала) показателей ряда областей головного мозга у детей с ЛСА. Полученные результаты позволят лучше понять механизмы заболевания, являются значимыми для раскрытия структурно-функциональных основ работы головного мозга.

ЛИТЕРАТУРА (пп. 2–29 см. REFERENCES)

1. Горев В.В., Горбунов А.В., Паникратова Я.Р., Томышев А.С., Хаценко И.Е., Кулешов Н.Н. и др. Изменения в зрительных зонах коры головного мозга у детей при левосторонней ани-

зометропической амблиопии по данным структурной МРТ и функциональной МРТ покоя. *Сенсорные системы*. 2024; 38(1): 30–44. <https://doi.org/10.31857/S0235009224010027>

REFERENCES

1. Gorev V.V., Gorbunov A.V., Panikratova Y.R., Tomyshev A.S., Hatsenko I.E., Kuleshov N.N., et al. Changes in the visual areas of the cerebral cortex in children with left-sided anisometric amblyopia according to structural MRI and resting-state fMRI. *Sensornye sistemy*. 2024; 38(1): 30–44. <https://doi.org/10.31857/S0235009224010027> (in Russian)
2. Kurth F., Schijven D., van den Heuvel O.A., Hoogman M., van Rooij D., Stein D.J., et al. Large-scale analysis of structural brain asymmetries during neurodevelopment: Associations with age and sex in 4265 children and adolescents. *Hum. Brain Mapp*. 2024; 45(11): e26754. <https://doi.org/10.1002/hbm.26754>
3. Dekker T., Mareschal D., Sereno M.I., Johnson M.H. Dorsal and ventral stream activation and object recognition performance in school-age children. *Neuroimage*. 2011; 57(3): 659–70. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.11.005>
4. Sulpizio V., Fattori P., Pitzalis S., Galletti C. Functional organization of the caudal part of the human superior parietal lobule. *Neurosci. Biobehav. Rev*. 2023; 153: 105357. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105357>
5. Choi M.Y., Lee D.S., Hwang J.M., Choi D.G., Lee K.M., Park K.H., et al. Characteristics of glucose metabolism in the visual cortex of amblyopes using positron-emission tomography and statistical parametric mapping. *J. Pediatr. Ophthalmol. Strabismus*. 2002; 39(1): 11–9. <https://doi.org/10.3928/0191-3913-20020101-05>
6. Fischl B., Salat D.H., Busa E., Albert M., Dieterich M., Haselgrove C., et al. Whole brain segmentation: automated labeling of neuroanatomical structures in the human brain. *Neuron*. 2002; 33(3): 341–55. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(02\)00569-x](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(02)00569-x)
7. Fischl B., Salat D.H., van der Kouwe A.J., Makris N., Ségonne F., Quinn B.T., et al. Sequence-independent segmentation of magnetic resonance images. *Neuroimage*. 2004; 23(Suppl. 1): S69–84. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.07.016>
8. Ségonne F., Dale A.M., Busa E., Glessner M., Salat D., Hahn H.K., et al. A hybrid approach to the skull stripping problem in MRI. *Neuroimage*. 2004; 22(3): 1060–75. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.03.032>
9. Dale A.M., Fischl B., Sereno M.I. Cortical surface-based analysis. I. Segmentation and surface reconstruction. *Neuroimage*. 1999; 9(2): 179–94. <https://doi.org/10.1006/nimg.1998.0395>
10. Dale A.M., Sereno M.I. Improved localization of cortical activity by combining EEG and MEG with MRI cortical surface reconstruction: a linear approach. *J. Cogn. Neurosci*. 1993; 5(2): 162–76. <https://doi.org/10.1162/jocn.1993.5.2.162>
11. Fischl B. FreeSurfer. *Neuroimage*. 2012; 62(2): 774–81. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.01.021>
12. Fischl B., Sereno M.I., Dale A.M. Cortical surface-based analysis. II: Inflation, flattening, and a surface-based coordinate system. *Neuroimage*. 1999; 9(2): 195–207. <https://doi.org/10.1006/nimg.1998.0396>
13. Fischl B., van der Kouwe A., Destrieux C., Halgren E., Ségonne F., Salat D.H., et al. Automatically parcellating the human cerebral cortex. *Cereb. Cortex*. 2004; 14(1): 11–22. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhg087>
14. Desikan R.S., Ségonne F., Fischl B., Quinn B.T., Dickerson B.C., Blacker D., et al. An automated labeling system for subdividing the human cerebral cortex on MRI scans into gyral based regions of interest. *Neuroimage*. 2006; 31(3): 968–80. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.01.021>
15. Destrieux C., Fischl B., Dale A., Halgren E. Automatic parcellation of human cortical gyri and sulci using standard anatomical nomenclature. *Neuroimage*. 2010; 53(1): 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.06.010>
16. Fischl B., Rajendran N., Busa E., Augustinack J., Hinds O., Yeo B.T., et al. Cortical folding patterns and predicting cytoarchitecture. *Cereb. Cortex*. 2008; 18(8): 1973–80. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm225>
17. Hinds O.P., Rajendran N., Polimeni J.R., Augustinack J.C., Wiggins G., Wald L.L., et al. Accurate prediction of V1 location from cortical folds in a surface coordinate system. *Neuroimage*. 2008; 39(4): 1585–99.
18. Whitfield-Gabrieli S., Nieto-Castanon A. CONN: a functional connectivity toolbox for correlated and anticorrelated brain networks. *Brain Connect*. 2012; 2(3): 125–41. <https://doi.org/10.1089/brain.2012.0073>
19. Nieto-Castanon A., Whitfield-Gabrieli S. CONN functional connectivity toolbox: RRID SCR_009550, release 22. Boston, MA; 2022.
20. Wilke M., Holland S.K., Altaye M., Gaser C. Template-O-Matic: a toolbox for creating customized pediatric templates. *Neuroimage*. 2008; 41(3): 903–13. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.02.056>
21. Evans A.C.; Brain Development Cooperative Group. The NIH MRI study of normal brain development. *Neuroimage*. 2006; 30(1): 184–202. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.09.068>
22. Tzourio-Mazoyer N., Landeau B., Papathanassiou D., Crivello F., Etard O., Delcroix N., et al. Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. *Neuroimage*. 2002; 15(1): 273–89. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0978>
23. Rosnow R.L. Effect sizes for experimenting psychologists. *Can. J. Exp. Psychol*. 2003; 57(3): 221–37. <https://doi.org/10.1037/h0087427>
24. Grill-Spector K., Kourtzi Z., Kanwisher N. The lateral occipital complex and its role in object recognition Vision Research. *Vision*

- Res. 2001; 41(10-11): 1409–22. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(01\)00073-6](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(01)00073-6)
25. Nagy K., Greenlee M., Kovács G. The lateral occipital cortex in the face perception network: an effective connectivity study. *Front. Psychol.* 2012; 3: 141. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00141>
26. Frangou S., Modabbernia A., Williams S.C.R., Papachristou E., Doucet G.E., Agartz I., et al. Cortical thickness across the lifespan: Data from 17,075 healthy individuals aged 3-90 years. *Hum. Brain Mapp.* 2022; 43(1): 431–51. <https://doi.org/10.1002/hbm.25364>
27. Qi S., Mu Y.F., Cui L.B., Li R., Shi M., Liu Y., et al. Association of optic radiation integrity with cortical thickness in children with anisometric amblyopia. *Neurosci. Bull.* 2016; 32(1): 51–60. <https://doi.org/10.1007/s12264-015-0005-6>
28. Gracia-Tabuenca Z., Moreno M.B., Barrios F.A., Alcauter S. Hemispheric asymmetry and homotopy of resting state functional connectivity correlate with visuospatial abilities in school-age children. *Neuroimage.* 2018; 174: 441–8. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.03.051>
29. Cardinale R.C., Shih P., Fishman I., Ford L.M., Müller R.A. Pervasive rightward asymmetry shifts of functional networks in autism spectrum disorder. *JAMA Psychiatry.* 2013; 70(9): 975–82. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2013.382>

Сведения об авторах

Горбунов Александр Валерьевич, доктор мед. наук, профессор, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ГБУЗ «Морозовская ДГКБ» ДЗМ, 119049, Москва, Россия, профессор кафедры неонатологии ФДПО РНИМУ им. Н.И. Пирогова, 117513, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-0159-781X> e-mail: agorbunov@morozdgb.ru

Горев Валерий Викторович, канд. мед. наук, гл. врач ГБУЗ «Морозовская ДГКБ» ДЗМ, 119049, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-8272-3648>

Паникратова Яна Романовна, канд. психол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории нейровизуализации и мультимодального анализа ФГБНУ НЦПЗ, 115522, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-5698-4251>

Томышев Александр Сергеевич, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории нейровизуализации и мультимодального анализа ФГБНУ НЦПЗ, 115522, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-6688-4329>

Заваденко Николай Николаевич, доктор мед. наук, профессор, зав. кафедрой неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики им. акад. Л.О. Бадаляна Института нейронаук и нейротехнологий ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, 117513, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-0103-7422>

Хаченко Игорь Евгеньевич, канд. мед. наук, врач-офтальмолог консультативного центра ГБУЗ «Морозовская ДГКБ» ДЗМ, 119049, Москва, Россия, <https://orcid.org/0009-0007-0457-545X>

Хасанова Ксения Андреевна, канд. мед. наук, врач-рентгенолог, врач-радиолог, зав. отделением лучевой диагностики ГБУЗ «Морозовская ДГКБ» ДЗМ, 119049, Москва, Россия, доцент кафедры лучевой диагностики Сеченовского университета, 119048, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-6926-3165>

Горбунов Михаил Александрович, студент 6 курса Медицинского института РУДН, 117198, Москва, Россия, <https://orcid.org/0009-0006-0213-6093>

Лебедева Ирина Сергеевна, доктор биол. наук, руководитель лаборатории нейровизуализации и мультимодального анализа ФГБНУ НЦПЗ, 115522, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-0649-6663>

Information about the authors

Aleksandr V. Gorbunov, DSc (Medicine), radiologist of the Radiology Department, Morozov Pediatric City Clinical Hospital, Moscow, 119049, Russian Federation, Professor of the Department of Neonatology, Faculty of Further Professional Education, Institute of Continuous Professional Development, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, 117513, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0159-781X> e-mail: agorbunov@morozdgb.ru

Valeriy V. Gorev, MD, PhD, Chief physician of the Morozov Pediatric Municipal Clinical Hospital, Moscow, 119049, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8272-3648>

Yana R. Panikratova, PhD (Psychology), senior researcher of the Laboratory of Neuroimaging and Multimodal Analysis, Mental Health Research Center, Moscow, 115522, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-5698-4251>

Aleksandr S. Tomyshev, PhD (Biology), senior researcher of the Laboratory of Neuroimaging and Multimodal Analysis, Mental Health Research Center, Moscow, 115522, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-6688-4329>

Nikolay N. Zavadenko, MD, PhD, DSc (Medicine), professor, Head of the Department of neurology, neurosurgery and medical genetics named after academician L.O. Badalyan, Institute of Neuroscience and Neurotechnologies, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, 117513, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0103-7422>

Igor E. Khatsenko, PhD (Medicine), ophthalmologist of the consultative center, Morozov Pediatric Municipal Clinical Hospital, Moscow, 119049, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0007-0457-545X>

Ksenia A. Khasanova, PhD (Medicine), radiologist, Head of the Radiology Department, Morozov Pediatric Municipal Clinical Hospital, Moscow, 119049, Russian Federation, Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics at Sechenov University, Moscow, 119048, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-6926-3165>

Mikhail A. Gorbunov, 6th year student of the Medical Institute of the Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, 117198, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0006-0213-6093>

Irina S. Lebedeva, DSc (Biology), Head of the Laboratory of Neuroimaging and Multimodal Analysis, Mental Health Research Center, Moscow, 115522, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0649-6663>