



## Голова | Head

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)  
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1523>

# Магнитно-резонансная морфометрия головного мозга у детей с детальной оценкой височных долей

© Семибраторов Н.Н.<sup>1\*</sup>, Фокин В.А.<sup>2</sup>, Труфанов Г.Е.<sup>2</sup>, Ефимцев А.Ю.<sup>2</sup>,  
Абрамов К.Б.<sup>2</sup>, Кондратьев Г.В.<sup>3</sup>, Левчук А.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ “Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический) имени Н.П. Напалкова”; 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68а, лит. А, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России; 197341 Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет” Минздрава России; 194100 Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

**Введение.** Постоянное совершенствование методов нейровизуализации и количественного анализа изображений способствует расширению наших знаний об анатомии головного мозга. В настоящее время методика магнитно-резонансной морфометрии позволяет проводить анализ структурных изменений головного мозга на разных уровнях – от крупных областей до отдельных извилин. Несмотря на значимость, количество исследований, посвященных изучению структурных изменений у детей в процессе нормального онтогенеза, остается ограниченным. В раннем детстве, когда происходит интенсивное развитие мозга, височные доли подвергаются значительным структурным изменениям. Исследование этих изменений у детей может расширить наше понимание в определении нормального развития нервной системы и помочь в выявлении патологий, связанных с неврологическими расстройствами, такими как эпилепсия и нейродегенеративные заболевания.

**Цель исследования:** провести морфометрический анализ структур височных долей головного мозга у неврологически здоровых детей с целью выявления возрастных и половых различий.

**Материал и методы.** В исследование включили 49 детей в возрасте от 6 мес до 18 лет. Наблюдения были разделены на 2 возрастные группы: первая группа – от 0 до 7 лет (17 человек), вторая группа – от 7 до 18 лет (32 человека). Для анализа была проведена автоматическая МР-морфометрия с использованием программного обеспечения FreeSurfer, в ходе которой определялись морфометрические показатели: объем для каждой структуры височных долей, площадь поверхности и толщина коры.

**Результаты.** В ходе исследования были обнаружены возрастные изменения в объеме, площади и толщине различных структур височной доли у детей. Несмотря на отсутствие статистически значимых гендерных различий в морфометрических показателях этих структур, наблюдалась тенденция к увеличению относительных размеров (рассчитанных относительно внутристепенного объема) у мальчиков по сравнению с девочками. Данные результаты свидетельствуют о сложной и разнонаправленной динамике развития височной доли в процессе взросления, проявляющейся в симметричных и асимметричных изменениях.

**Заключение.** Данное исследование демонстрирует эффективность МР-морфометрии для оценки развития структур височных долей у неврологически здоровых детей. Представленные морфометрические показатели могут быть использованы в качестве референсных значений при изучении детей с нейродегенеративными заболеваниями, позволяя выявлять отклонения от нормы.

**Ключевые слова:** магнитно-резонансная томография; магнитно-резонансная морфометрия; височная доля; дети; старение; рост и развитие; головной мозг

**Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.**

**Для цитирования:** Семибраторов Н.Н., Фокин В.А., Труфанов Г.Е., Ефимцев А.Ю., Абрамов К.Б., Кондратьев Г.В., Левчук А.Г. Магнитно-резонансная морфометрия головного мозга у детей с детальной оценкой височных долей. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (4): 22–35. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1523>

**Поступила в редакцию:** 21.03.2025. **Принята к печати:** 04.07.2025. **Опубликована online:** 13.10.2025.



# Features of voxel-based morphometry in children: focusing on the temporal lobes

© Nikolay N. Semibratov<sup>1\*</sup>, Vladimir A. Fokin<sup>2</sup>, Gennadiy E. Trufanov<sup>2</sup>, Aleksandr Y. Efimtsev<sup>2</sup>, Konstantin B. Abramov<sup>2</sup>, Gleb V. Kondratiev<sup>3</sup>, Anatoly G. Levchuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint-Petersburg Clinical Scientific and Practical Center for Specialised Types of Medical Care (Oncological); 68a, Lit. A, Leningradskaya str., vill. Pesochniy, St. Petersburg 197758, Russian Federation

<sup>2</sup> Almazov National Medical Research Centre; 2, Akkuratova str., St. Petersburg 197341, Russian Federation

<sup>3</sup> Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2, Litovskaya str., St. Petersburg 194100, Russian Federation

**Introduction.** Advances in neuroimaging and quantitative image analysis have enhanced our understanding of cerebral anatomy. Voxel-based morphometry (VBM) enables precise evaluation of structural brain changes. Early childhood is a critical period of rapid brain maturation. Research focusing on structural changes of the temporal lobes in children during normal ontogeny remains limited. Investigating these structural changes could improve diagnostics for neurological disorders such as epilepsy and neurodegenerative conditions. Investigating these structural changes in children may deepen our understanding of normal nervous system development and improve diagnostics for neurological disorders such as epilepsy and neurodegenerative diseases.

**Aim.** To perform morphometric analysis of temporal lobes structures in neurologically healthy children and analyze age- and gender-related variations.

**Methods.** VBM was performed using FreeSurfer software, determining morphometric parameters volume ( $\text{mm}^3$ ), area ( $\text{mm}^2$ ), and thickness (mm) for each structure of the temporal lobes. The study included 49 MRI data from children aged between 6 months and 18 years. All participants were divided into two age groups: from 0 to 7 years (17 individuals) and from 7 to 18 years (32 individuals).

**Results.** Age-related differences in the volume, surface area, and thickness were observed across temporal lobes regions in children. While no statistically significant gender differences in the morphometric parameters of these structures were observed, boys exhibited a tendency for greater relative sizes (normalized to intracranial volume) compared to girls. These results indicate a complex and dynamic developmental pattern of the temporal lobes, with evidence of both symmetric and asymmetric changes.

**Conclusion.** MRI morphometry is shown to be an effective method for assessing temporal lobes development in neurologically healthy children in this study. The morphometric data presented here can serve as reference points for identifying deviations from normal development in children with neurodegenerative disorders.

**Keywords:** magnetic resonance imaging; voxel-based morphometry; temporal lobe; children; aging; growth and development; brain

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

**For citation:** Semibratov N.N., Fokin V.A., Trufanov G.E., Efimtsev A.Y., Abramov K.B., Kondratiev G.V., Levchuk A.G. Features of voxel-based morphometry in children: focusing on the temporal lobes. *Medical Visualization*. 2025; 29 (4): 22–35. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1523>

Received: 21.03.2025.

Accepted for publication: 04.07.2025.

Published online: 13.10.2025.

## Введение

Развитие головного мозга – это динамичный процесс прогрессивных и регressive изменений, продолжающийся на протяжении всей жизни, ранние этапы которого являются критически важными для нормального функционирования и адаптации к окружающей среде в будущем. Патологические состояния, препятствующие таким процессам созревания, могут привести к задержке развития нервной системы во взрослом возрасте [1]. Исследования показывают, что характер изменений зависит от множества факторов, включая возраст и пол ребенка [2–5]. Процессы формирования нервной системы наиболее интенсивно про-

исходят в течение первых 3 мес постнатального периода. К моменту достижения трехлетнего возраста завершается дифференцировка нейронов, характеризующаяся удлинением аксонов, их усиленной миелинизацией, а также увеличением количества и степени ветвления дендритов [6]. К восьми годам организация коры головного мозга соответствует коре взрослого человека [7]. Перекрестные исследования, изучающие развитие мозга у детей и подростков, демонстрируют увеличение объема белого вещества и уменьшение объема серого вещества в более позднем детском и раннем подростковом возрасте [8–10]. В зарубежной литературе описывается U-образная



траектория изменения объема серого вещества коры головного мозга у детей, характеризующаяся увеличением в раннем детстве с последующим уменьшением в пубертатный период: максимально размер достигается к 16,5 годам у мальчиков и к 16,7 годам у девочек [8, 11–13]. Особенностью процесса развития головного мозга является значительное увеличение площади коры при относительно незначительном увеличении ее толщины [14]. Объем белого вещества увеличивается на протяжении всего детского и подросткового возраста с максимальными размерами в возрасте 10,5 лет у девочек и 14,5 лет у мальчиков [3, 15]. Максимальный объем мозга достигается в возрасте около 10,5 лет у девочек и 14,5 лет у мальчиков [3]. У взрослых мужчин объем мозга примерно на 7–10% больше, чем у женщин [2–4].

Кора височных долей, особенно их задние отделы, является важным гетеромодальным ассоциативным участком мозга, интегрирующим различные виды информации: зрительную, слуховую, тактильную. Верхняя височная борозда и прилегающие области участвуют в интеграции аудиовизуальной информации. Средняя и нижняя височные извилины вовлечены в процессы зрительного восприятия и распознавания объектов. Гиппокамп, расположенный в медиальной части височной доли, играет ключевую роль в консолидации памяти [16–18]. Гиппокампы претерпевают резкий рост в период до 2 лет, а затем продолжают медленно увеличиваться в объеме даже после начала полового созревания [19].

В настоящее время в медицине наблюдается тенденция к цифровизации и автоматизации процессов диагностики и лечения, и одной из актуальных научных задач является формирование многомерных баз данных, на основе которых создаются автоматические алгоритмы, способные их обрабатывать и интерпретировать. Магнитно-резонансная морфометрия зарекомендовала себя как эффективный метод количественной оценки структур головного мозга и применяется для измерения объема и площади серого и белого вещества, а также толщины коры различных отде-

лов больших полушарий [20–22]. В этом исследовании представлены результаты морфометрии, которые отражают влияние возраста и пола на развитие височных долей головного мозга у детей. Понимание траектории возрастных морфометрических изменений при нормальном развитии головного мозга, а также половых различий важно при интерпретации методов нейровизуализации.

**Цель исследования:** изучение возрастных и половых особенностей развития височных долей головного мозга у детей с использованием метода МР-морфометрии.

## Материал и методы

Исследование было проведено на базе ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России. Исследование включало ретроспективный и проспективный этапы обработки информации о пациентах в период с сентября 2016 г. по май 2024 г.

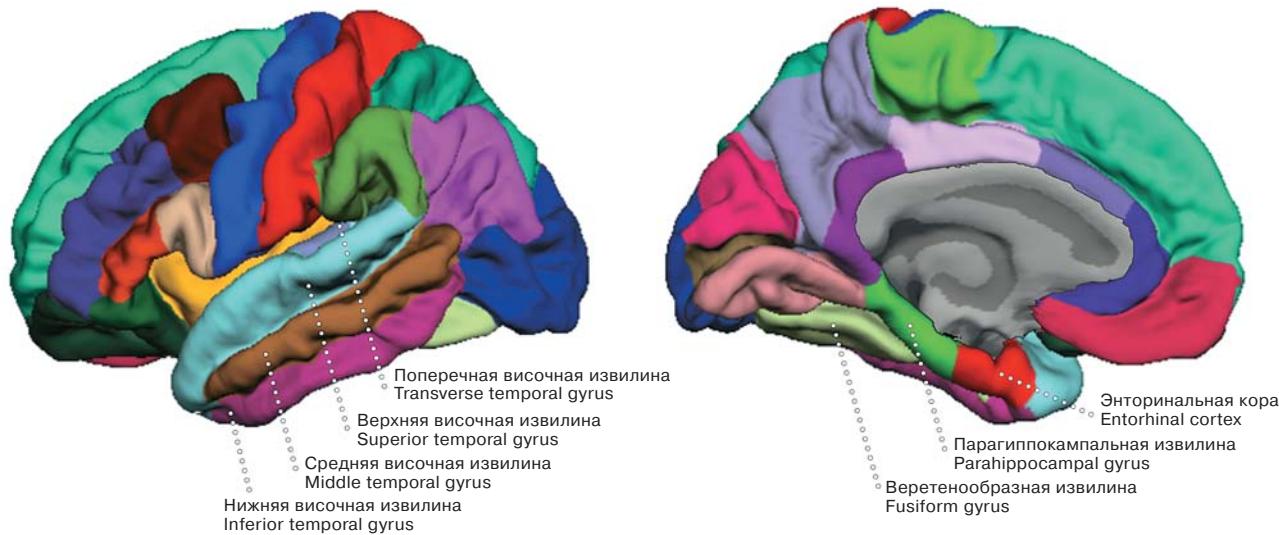
В исследование вошло 49 детей (30 мальчиков, 19 девочек) в возрасте от 6 мес до 18 лет, не имеющих видимых на МР-томограммах структурных изменений головного мозга. У участников не было выявлено неврологических или психических расстройств, хронических заболеваний, нарушений обучаемости или приема лекарств, которые повлияли бы на работу нервной системы. Средний возраст участников составил  $7,94 \pm 5,08$  года. Распределение по возрасту представлено следующим образом: от рождения до 1 года – 4 человека, 1 год – 3, 2 года – 4, 3 года – 3, 4 года – 1, 5 лет – 1, 6 лет – 1, 7 лет – 4, 8 лет – 5, 9 лет – 2, 10 лет – 4, 11 лет – 5, 12 лет – 1, 13 лет – 3, 14 лет – 2, 15 лет – 3, 16 лет – 2, 17 лет – 1 человек. Распределение по полу и возрастным интервалам представлено в табл. 1. Исследование проводилось с письменного согласия родителей пациентов. Анестезиологическое обеспечение применялось в случаях невозможности проведения исследования без анестезии.

Всем обследуемым была проведена магнитно-резонансная томография головного мозга на то-

**Таблица 1.** Распределение участников исследования по возрасту и полу

**Table 1.** Age and gender distribution of participants

Возраст пациентов, годы / Age of patients, years	0–2	2–4	4–7	7–10	10–14	14–18
Количество девочек / Number of girls (n = 19)	4	2	0	6	3	4
Количество мальчиков / Number of boys (n = 30)	3	5	3	5	10	4
Общее количество / Total number (n = 49)	7	7	3	11	13	8



**Рис. 1.** Структуры височной доли, используемые в атласе Desikan–Killiany: верхнелатеральная (слева) и нижнемедиальная (справа) поверхности. Адаптировано из [26].

**Fig. 1.** Temporal lobe structures used in the Desikan–Killiany atlas: superolateral (left) and inferomedial (right) surfaces. Adapted from [26].

мографах с индукцией магнитного поля 1,5 и 3 Тл по стандартизированному протоколу исследования головного мозга с применением стандартных импульсных последовательностей в трех взаимно перпендикулярных плоскостях (T1-, T2-, TIRM), а также 3D T1- MPRAGE (Magnetization Prepared Rapid Acquisition Gradient Echo) – T1-импульсная последовательность градиентного эха с ускоренным сбором данных со следующими параметрами: время повторения (TR) 2000 мс, время эхо (TE) 4,38 мс, угол отклонения (FA) 10°, FOV 250 мм, матрица 256 × 256, толщина среза 1 мм, количество срезов 160, время сканирования 11 мин. Для анализа структур головного мозга были использованы различные инструменты, доступные в программном обеспечении FreeSurfer версии 7.3.2 [23]. В автоматическом режиме была проведена МР-морфометрия с определением морфометрических показателей (объема в  $\text{мм}^3$ , площади в  $\text{мм}^2$  и толщины в мм) для каждой структуры височных долей, представленной на рис. 1. Постпроцессинговая обработка состояла из нескольких последовательных этапов. Подготовительный этап включал линейное преобразование Талайраха, нормализацию интенсивности, удаление черепа и внемозговых тканей с помощью поверхностной деформации, отделение мозжечка и ствола мозга от головного мозга и разделение левого и правого полушарий [23]. Для определения внутренних (серо-белых) и пиальных (серо-ликворных) поверхностей коры применялся алгоритм деформируемой поверхности [24]. Процесс обработки

также включал в себя автоматизированную топологическую коррекцию, сферизацию поверхности и регистрацию в сферическом атласе [25]. Для парцеляции коры головного мозга применялся встроенный атлас (атлас Desikan–Killiany), разделивший кортикалную поверхность на области в каждом полушарии [26]. Стандартный атлас ASEG (Automatically Segmented Brain Volume) обеспечил автоматическую маркировку подкорковых структур, включая гиппокамп и миндалевидное тело [24]. Анализ объема (в  $\text{мм}^3$ ) субкортикальных структур височных долей проводился с использованием схемы парцеляции HBT (Head, Body, Tail) [27].

Обследуемые были разделены на 2 возрастные группы: от 0 до 7 лет ( $n = 17$ ) и от 7 до 18 лет ( $n = 32$ ). Средний возраст детей первой группы составил  $2,19 \pm 1,7$  года, второй группы –  $11,1 \pm 3,0$  года. Выбор конкретных возрастных интервалов обусловлен необходимостью выявить ключевые возрастные изменения морфометрических показателей структур височных долей, соответствующих критическим периодам созревания центральной нервной системы. Период от рождения до 7 лет охватывает ранние этапы нейрогенеза, характеризующиеся быстрым ростом объема мозга, активной миелинизацией, созреванием нейронных связей и высокой пластичностью височных структур, участвующих в формировании речевых и сенсомоторных функций. Период от 7 до 18 лет соответствует младшему школьному и подростковому возрасту, который сопровождается активным формированием навыков чтения и письма,



развитием абстрактного мышления и совершенствованием когнитивных и речевых функций.

### Статистический анализ

Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения Jamovi 2.3.28 и Microsoft Excel 2007 [28, 29]. Для анализа полученных результатов и выявления статистически значимых различий между группами были применены соответствующие методы статистического анализа. Количественные данные были описаны с использованием среднего значения и стандартного отклонения. При сравнении средних значений двух возрастных групп для количественных переменных использовался непараметрический У-критерий Манна–Уитни, что позволило учесть возможные выбросы и асимметрию в данных. Графическое изображение полученных результатов сегментации структур головного мозга с помощью программного пакета FreeSurfer показано на рис. 2 и рис. 4. Был проведен анализ линейной регрессии и определено процентное изменение средних значений для оценки трендов в изменении морфометрических показателей (объема в  $\text{мм}^3$ , площади в  $\text{мм}^2$  и толщины в мм) структур височных долей. Для вычисления процентного изменения средних значений использовали формулу:

$$\Delta P = ((M_{\text{end}} - M_{\text{start}}) / M_{\text{start}}) \times 100 \%,$$

где  $\Delta P$  – процентное изменение;  $M_{\text{end}}$  – конечное среднее значение;  $M_{\text{start}}$  – начальное среднее значение.

Также проведен анализ изменения средних значений объема (в  $\text{мм}^3$ ) гиппокампа, его субполей и миндалевидного тела с обеих сторон. Для оценки асимметрии объема рассчитывался индекс асимметрии по следующей формуле:

$$AI = (MR - ML) / ((MR + ML) / 2),$$

где  $AI$  – индекс асимметрии;  $MR$  – среднее значение параметра справа;  $ML$  – среднее значение параметра слева.

Для систематизации данных и последующего сравнительного анализа мы определили процентные диапазоны для различных уровней выраженности изменений морфометрических показателей структур височных долей. Изменения до 10% классифицированы как маловыраженные, изменения от 10 до 30% – как выраженные, а изменения свыше 30% – как значительные. Симметричность оценивалась по следующим критериям: разница морфометрических показателей контралатеральных структур до 10% считалась симметричной, в то время как разница более 10% указывала на асимметрию.

### Результаты исследования

При анализе полученных с помощью МР-морфометрии данных двух исследуемых групп были обнаружены изменения в структурах височных долей головного мозга.

**Общие изменения структур височных долей.** Процентное изменение средних значений объема ( $\text{мм}^3$ ), площади поверхности ( $\text{мм}^2$ ) и толщины структур (мм) височных долей при сравнении исследуемых возрастных групп представлено в табл. 2, на рис. 2 и 3. Сегментация субполей гиппокампа и миндалевидного тела выполнялась с помощью отдельного анализа объемов этих структур. Процентное изменение средних значений объема ( $\text{мм}^3$ ) субполей гиппокампа и миндалевидного тела при сравнении исследуемых возрастных групп представлено в табл. 3 и на рис. 4.

**Верхняя височная извилина.** В ходе исследования в рассматриваемых возрастных группах (от 0 до 7 лет и от 7 до 18 лет) было выявлено значительное симметричное увеличение объема (правая на 29,70%, левая на 35,06%) и толщины (правая на 13,81%, левая на 17,25%) верхних височных извилин, что подтверждено статистической значимостью различий по критерию Манна–Уитни ( $p < 0,05$ ). Выраженное симметричное увеличение площади поверхности верхней височной извилины отмечалось как справа (на 14,04%), так и слева (на 14,49%), однако статистически значимые различия по площади левой верхней височной извилины не были выявлены ( $p > 0,05$ ).

**Средняя височная извилина.** Морфометрические показатели средней височной извилины демонстрируют выраженное увеличение в обоих полушариях. Было выявлено значительное симметричное увеличение объема (правая на 35,47%, левая на 42,66%), выраженное симметричное увеличение площади поверхности (правая на 18,35%, левая на 20,22%) и толщины (правая на 14,61%, левая на 19,35%) средних височных извилин.

**Нижняя височная извилина.** Исследование выявило выраженное симметричное увеличение объема (правая на 21,61%, левая на 31,38%) и площади поверхности (правая на 22,92%, левая на 22,55%) нижних височных извилин в обоих полушариях. Увеличение толщины нижних височных извилин (правая на 6,14%, левая на 8,00%) отмечалось в обеих гемисферах, однако статистически значимых различий по этому параметру выявлено не было ( $p > 0,05$ ).

**Поперечная височная извилина.** Траектории изменений морфометрических показателей поперечной височной извилины указывают на отличия в процессах развития мозга, однако носят симметричный характер. С помощью критерия Манна–

**Таблица 2.** Сравнение морфометрических показателей височных долей

Table 2. A morphometric comparison of the temporal lobes

Структура Structure	Страна Side	Показатель Parameter	Группа 1 (0–7 лет) Group 1 (0–7 years) n=17	Группа 2 (7–18 лет) Group 2 (7–18 years) n=32	ΔР	U	p
Верхняя височная извилина Superior temporal gyrus	Правая Right	Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	14797 ± 5689	19191 ± 2168	29.70%	135	0.003*
		Площадь, мм <sup>2</sup> / Area, mm <sup>2</sup>	4692 ± 1419	5351 ± 585	14.04%	170	0.032*
	Левая Left	Толщина, мм / Thickness, mm	2.68 ± 0.491	3.05 ± 0.16	13.81%	166	0.026*
		Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	15364 ± 6728	20750 ± 2370	35.06%	131	0.003*
Средняя височная извилина Middle temporal gyrus	Правая Right	Площадь, мм <sup>2</sup> / Area, mm <sup>2</sup>	5134 ± 1534	5877 ± 590	14.49%	193	0.1
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.55 ± 0.517	2.99 ± 0.157	17.25%	141	0.006*
	Левая Left	Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	12302 ± 5833	17551 ± 2464	42.66%	127	0.002*
		Площадь, мм <sup>2</sup> / Area, mm <sup>2</sup>	4094 ± 1238	4922 ± 635	20.22%	154	0.013*
Нижняя височная извилина Inferior temporal gyrus	Правая Right	Толщина, мм / Thickness, mm	2.48 ± 0.571	2.96 ± 0.143	19.35%	172	0.037*
		Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	11101 ± 4802	13500 ± 1921	21.61%	174	0.041*
	Левая Left	Площадь, мм <sup>2</sup> / Area, mm <sup>2</sup>	3012 ± 1179	3702 ± 445	22.92%	157	0.016*
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.77 ± 0.471	2.94 ± 0.137	6.14%	244	0.556
Поперечная височная извилина Transverse temporal gyrus	Правая Right	Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	1092 ± 486	1097 ± 154	0.54%	249	0.629
		Площадь, мм <sup>2</sup> / Area, mm <sup>2</sup>	327 ± 117	371 ± 49	13.41%	195	0.108
	Левая Left	Толщина, мм / Thickness, mm	2.82 ± 0.569	2.65 ± 0.214	-6.03%	170	0.032*
		Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	1399 ± 582	1436 ± 244	2.69%	238	0.482
Парагиппо- кампальная извилина Parahippo- campal gyrus	Правая Right	Площадь, мм <sup>2</sup> / Area, mm <sup>2</sup>	456 ± 145	505 ± 63	10.75%	193	0.097
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.72 ± 0.522	2.56 ± 0.275	-5.88%	196	0.113
	Левая Left	Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	1574 ± 847	2213 ± 324	40.56%	126	0.002*
		Площадь, мм <sup>2</sup> / Area, mm <sup>2</sup>	484 ± 224	660 ± 72	36.40%	122	0.002*
Веретено- образная извилина Fusiform gyrus	Правая Right	Толщина, мм / Thickness, mm	2.53 ± 0.595	2.86 ± 0.205	13.04%	188	0.079
		Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	2007 ± 781	2337 ± 360	16.47%	207	0.175
	Левая Left	Площадь, мм <sup>2</sup> / Area, mm <sup>2</sup>	599 ± 253	698 ± 91	16.58%	169	0.03*
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.73 ± 0.445	2.81 ± 0.268	2.93%	270	0.975
Энто- ринальная кора Entorhinal cortex	Правая Right	Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	7889 ± 3324	9451 ± 1359	19.81%	194	0.104
		Площадь, мм <sup>2</sup> / Area, mm <sup>2</sup>	2259 ± 912	2880 ± 378	27.45%	150	0.01*
	Левая Left	Толщина, мм / Thickness, mm	2.68 ± 0.61	2.87 ± 0.127	7.09%	252	0.685
		Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	9009 ± 3013	9559 ± 1355	6.10%	260	0.809
	Левая Left	Площадь, мм <sup>2</sup> / Area, mm <sup>2</sup>	2708 ± 756	3000 ± 380	10.80%	236	0.456
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.73 ± 0.463	2.82 ± 0.117	3.30%	231	0.395
	Правая Right	Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	1444 ± 571	1793 ± 486	24.11%	172	0.037*
		Площадь, мм <sup>2</sup> / Area, mm <sup>2</sup>	373 ± 107	380 ± 89	1.71%	217	0.252
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.89 ± 0.645	3.25 ± 0.374	12.46%	181	0.057
	Левая Left	Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	1475 ± 591	1828 ± 517	23.98%	187	0.076
		Площадь, мм <sup>2</sup> / Area, mm <sup>2</sup>	395 ± 142	425 ± 110	7.51%	224	0.318
		Толщина, мм / Thickness, mm	2.77 ± 0.656	3.1 ± 0.381	11.91%	197	0.118

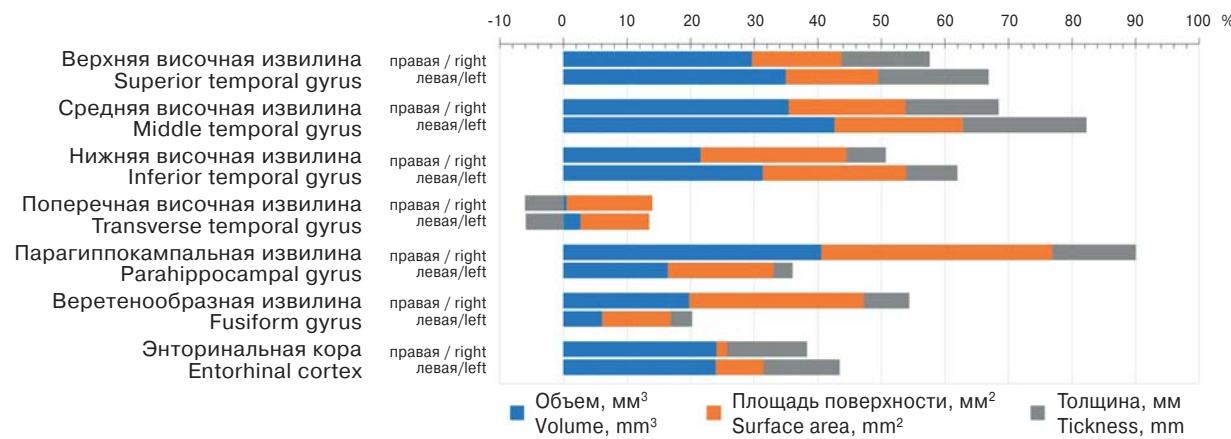
**Примечание.** Значения объема структур (мм<sup>3</sup>), площади поверхности структур (мм<sup>2</sup>), толщины структур (мм), выраженные как среднее ± стандартное отклонение (Mean ± SD) для каждой возрастной группы. ΔР – процентное изменение, U – U-критерий Манна–Уитни. \* – p < 0,05.

**Note.** Volume (mm<sup>3</sup>), surface area (mm<sup>2</sup>), and thickness values of structures (mm), expressed as mean ± standard deviation (Mean ± SD) for each age group. ΔP – Percent change, U – Mann–Whitney U test. \* – p < 0.05.



**Рис. 2.** Значения объема,  $\text{мм}^3$  (слева), площади поверхности,  $\text{мм}^2$  (в центре) и толщины,  $\text{мм}$  (справа) структур височных долей для возрастных групп 0–7 лет (верхние столбцы) и 7–18 лет (нижние столбцы). Вертикальные линии обозначают медианы, левые и правые границы прямоугольников указывают на нижний и верхний квартили соответственно.

**Fig. 2.** Values of volume,  $\text{mm}^3$  (left), surface area,  $\text{mm}^2$  (middle), and thickness,  $\text{mm}$  (right) of temporal lobes structures for the age groups 0–7 years (upper columns) and 7–18 years (lower columns). Vertical lines indicate medians, while the left and right borders of the rectangles denote the lower and upper quartiles, respectively.



**Рис. 3.** Процентное изменение средних значений объема ( $\text{мм}^3$ ), площади поверхности ( $\text{мм}^2$ ) и толщины структур (мм) при сравнении возрастных групп 0–7 и 7–18 лет.

**Fig. 3.** Percentage change in mean values of volume ( $\text{mm}^3$ ), surface area ( $\text{mm}^2$ ), and thickness (mm) of structures in comparing age groups 0–7 years and 7–18 years.

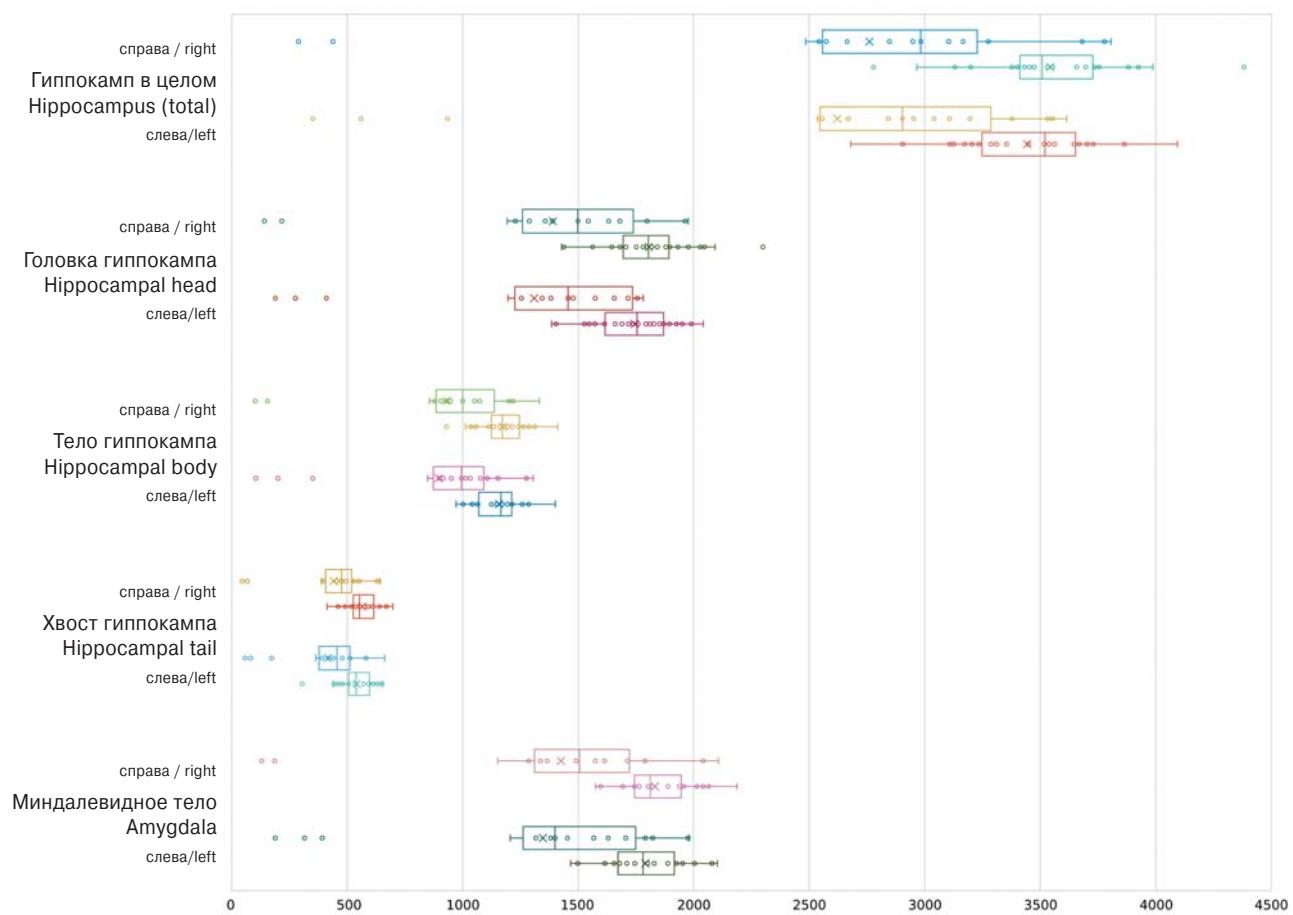
**Таблица 3.** Сравнение объемов гиппокампа, его субполей и миндалевидного тела между возрастными группами (с обеих сторон)

**Table 3.** Volume values comparison of the hippocampus, its subfields, and the amygdala between age groups (bilaterally)

Структура / Structure	Страна / Side	Объем структуры, $\text{мм}^3$ Structure volume, $\text{mm}^3$		$\Delta P$	U	p
		группа 1 (0–7 лет) Group 1 (0–7 years) n = 17	группа 2 (7–18 лет) Group 2 (7–18 years) n = 32			
Гиппокамп (целый) Hippocampus (total)	Правая /Right Левая / Left	2761 ± 987.9 2622 ± 1016.8	3544 ± 307.7 3444 ± 285.9	28.36%	95	<0.001*
Головка гиппокампа Hippocampal head	Правая /Right Левая / Left	1390 ± 513.8 1309 ± 524	1805 ± 180.9 1745 ± 162.9	29.86% 33.31%	98 97	<0.001* <0.001*
Тело гиппокампа Hippocampal body	Правая /Right Левая / Left	929 ± 330.7 895 ± 347.1	1173 ± 97 1157 ± 93	26.26% 29.27%	111 101	<0.001* <0.001*
Хвост гиппокампа Hippocampal tail	Правая /Right Левая / Left	442 ± 160.7 417 ± 165.5	565 ± 65.1 542 ± 72.9	27.83% 29.98%	101 112	<0.001* <0.001*
Миндалевидное тело Amygdala	Правая /Right Левая / Left	1425 ± 537.8 1347 ± 549.6	1833 ± 153.1 1790 ± 158.7	28.63% 32.89%	101 107	<0.001* <0.001*

Примечание. Значения объема структур ( $\text{мм}^3$ ), выраженные как среднее ± стандартное отклонение (Mean ± SD) для каждой возрастной группы.  $\Delta P$  – процентное изменение; U – U-критерий Манна–Уитни. \* –  $p < 0.05$ .

Note. Volume values of structures ( $\text{mm}^3$ ), expressed as mean ± standard deviation (Mean ± SD) for each age group.  $\Delta P$  – Percent change, U – Mann–Whitney U test. \* –  $p < 0.05$ .



**Рис. 4.** Значения объема ( $\text{мм}^3$ ) гиппокампа, его субполей и миндалевидного тела для возрастных групп 0–7 лет (верхние столбцы) и 7–18 лет (нижние столбцы). Вертикальные линии обозначают медианы, левые и правые границы прямоугольников указывают на нижний и верхний квартили соответственно.

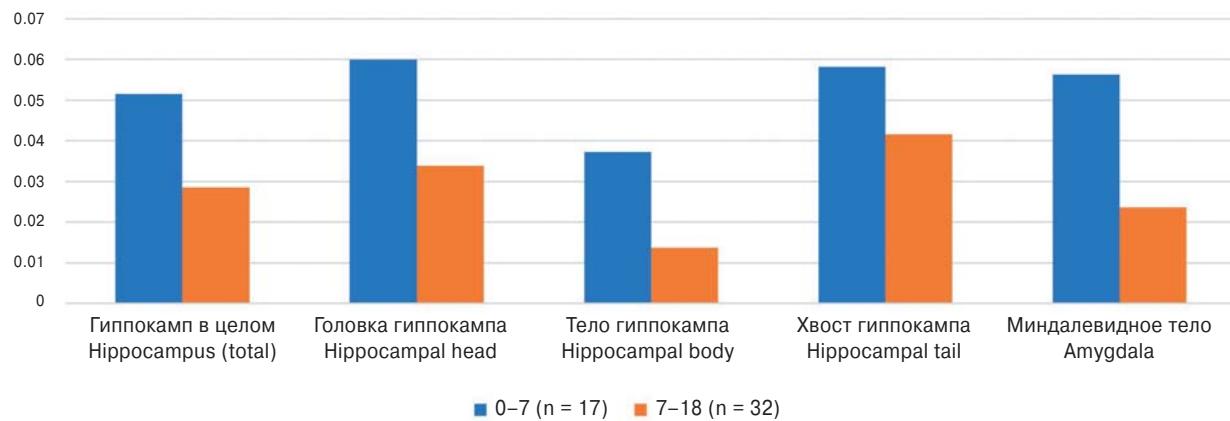
**Fig. 4.** Volume values ( $\text{mm}^3$ ) of the hippocampus, its subfields, and the amygdala for the age groups 0–7 years (upper columns) and 7–18 years (lower columns). Vertical lines indicate medians, while the left and right borders of the rectangles denote the lower and upper quartiles, respectively.

Уитни не выявлено достоверной значимости изменения объема и площади правой и левой поперечных височных извилин, а также толщины левой поперечной височной извилины. При этом толщина правой поперечной височной извилины незначительно уменьшилась (на 6,03%), что было статистически значимо ( $p < 0,05$ ).

**Парагиппокампальная извилина.** В ходе исследования было выявлено значительное различие в развитии правой парагиппокампальной извилины по сравнению с левой, что проявляется в асимметричном увеличении объема и площади поверхности в рассматриваемых возрастных группах. Показатели объема и площади поверхности демонстрируют значительное увеличение правой парагиппокампальной извилины (на 40,56 и 36,40% соответственно), тогда как увеличение левой из-

вилины менее выражено (на 16,47 и 16,58% соответственно). Однако с помощью критерия Манна–Уитни не выявлено статистически значимых различий в толщине правой и левой парагиппокампальных извилин, а также в объеме левой парагиппокампальной извилины ( $p > 0,05$ ).

**Веретенообразная извилина.** Было установлено, что морфометрические показатели объема, площади и толщины правой веретенообразной извилины превосходят аналогичные значения левой веретенообразной извилины в анализируемых возрастных группах, и развитие этих структурносит асимметричный характер. С помощью критерия Манна–Уитни не выявлено достоверной значимости изменения объема и площади правой и левой веретенообразных извилин, а также толщины левой веретенообразной извилины ( $p > 0,05$ ).



**Рис. 5.** Значения индекса асимметрии гиппокампа, его субполей и миндалевидного тела для возрастных групп 0–7 лет (синие столбцы) и 7–18 лет (оранжевые столбцы).

**Fig. 5.** Asymmetry index values of the hippocampus, its subfields, and the amygdala for the age groups 0–7 years (blue bars) and 7–18 years (orange bars).

При этом толщина правой веретенообразной извилины незначительно увеличилась (на 7,09%), что было статистически значимо ( $p < 0,05$ ).

**Энторинальная кора.** Изменения площади и толщины правой и левой энторинальной коры, а также объема левой энторинальной коры не достигли статистической значимости ( $p > 0,05$ ). Объем правой энторинальной коры увеличился незначительно (на 1,71%), при этом это изменение оказалось статистически значимым ( $p < 0,05$ ).

**Гиппокамп и миндалевидное тело.** Объемы гиппокампа, его субполей и миндалевидного тела в правом и левом полушариях выраженно симметрично увеличиваются. Вместе с тем не выявлено ведущего субполя гиппокампа, за счет которого бы увеличивался гиппокамп. При определении индекса асимметрии гиппокампа и его субполей наибольшая асимметрия в младшем возрасте наблюдается в области головки гиппокампа (0,06), а в старшем возрасте – в области хвоста (0,042). Миндалевидное тело также демонстрирует асимметрию, которая более выражена в раннем возрасте (в младшем возрасте 0,056, в старшем возрасте 0,024). Показатели индекса асимметрии гиппокампа, его субполей и миндалевидного тела представлены на рис. 5.

#### Половые различия

Сравнительный анализ гендерных различий в объеме, площади поверхности и толщине коры височных долей с учетом процентного соотношения этих морфометрических показателей к общему внутричерепному объему не выявил статистически значимых различий между возрастными группами

0–7 и 7–18 лет ( $p > 0,05$ ). Аналогично статистически значимых гендерных различий в объемах субполей гиппокампа и миндалевидного тела между указанными группами также не обнаружено. Несмотря на это, сохранялась тенденция к преобладанию морфометрических показателей височной доли у мальчиков по сравнению с девочками.

В возрастной группе от 0 до 7 лет выявлены отдельные статистически значимые гендерные различия: толщина левой поперечной височной извилины была выше у мальчиков ( $p = 0,015$ ). Кроме того, площадь и объем левой веретенообразной извилины, а также площадь и объем левой энторинальной коры были значительно больше у мальчиков ( $p$  от 0,003 до 0,048). Наблюдалась также тенденция к большему объему правой средней височной извилины и площади правой веретенообразной извилины у мальчиков, хотя эти различия не достигли статистической значимости ( $p = 0,062$  и  $p = 0,098$  соответственно).

В возрастной группе от 7 до 18 лет гендерные различия проявлялись более выраженно: у мальчиков отмечено статистически значимое увеличение площади и объема правой и левой средней височной извилины, а также площади и объема веретенообразной извилины с обеих сторон ( $p$  от 0,004 до 0,041). Также площадь левой энторинальной коры была значительно выше у мальчиков ( $p = 0,011$ ). При этом наблюдалась тенденция к увеличению площади правой верхней височной извилины и толщины левой поперечной височной извилины у мальчиков, хотя эти различия не достигли статистической значимости ( $p = 0,059$  и  $p = 0,084$  соответственно).



## Обсуждение

Основываясь на последних достижениях методов нейровизуализации, мы попытались улучшить представление об особенностях развития височных долей у здоровых детей, сфокусировавшись на прицельном изучении ее структур. В нашем исследовании выявлены различные траектории изменения морфометрических показателей корковых и подкорковых структур, изменения в которых подтверждаются зарубежными исследованиями [12, 30, 31]. Научная новизна нашего исследования заключается в комплексной оценке морфометрических параметров височных долей у неврологически здоровых детей, а также в выявлении возрастных различий в критические периоды созревания нервной системы. Использование автоматизированного анализа изображений позволило обеспечить высокую точность и воспроизведимость полученных данных.

На основании разделения исследуемых на 2 возрастные группы (0–7 и 7–18 лет), соответствующие критическим периодам созревания центральной нервной системы, нами выявлены характерные изменения в морфометрических параметрах структур височных долей. Темп развития нервной системы особенно высокий в течение первых 3 мес жизни. Дифференцировка нервных клеток достигается к 3 годам, а к 8 годам кора головного мозга по строению похожа на кору взрослого человека. Первый период, от 0 до 7 лет, характеризуется интенсивным формированием нейронных связей и структурной организацией коры головного мозга. Во втором рассматриваемом периоде, 7–18 лет, наблюдаются значительные изменения в нейроанатомии и функциональности мозга. Этот возрастной интервал характеризуется активным обучением и социализацией, что также оказывает влияние на морфометрические показатели. Сопоставление данных двух групп позволило определить изменения в структурах височных долей, связанных с возрастным развитием и влиянием окружающей среды.

Полученные нами результаты согласуются с данными предыдущих исследований, демонстрирующих асимметрию полушарий головного мозга. В частности, мы наблюдали большую величину правой височной доли и правого гиппокампа по сравнению со структурами с контралатеральной стороны [11]. Быстрый рост гиппокампа в раннем младенчестве может рассматриваться как потенциальная уязвимость к воздействию окружающей среды в этот период. Симметричное увеличение объемов гиппокампа и его субполей в обоих полушариях указывает на сбалансированное развитие этих структур, а отсутствие ведуще-

го субполя в увеличении объема гиппокампа свидетельствует о равномерном росте всех его компонентов. Полученные в ходе исследования результаты согласуются с существующими литературными данными: равномерное увеличение всех субполей гиппокампа может свидетельствовать о пропорциональном развитии различных функций, связанных с памятью и пространственной ориентацией [32, 33]. Наше исследование показало соразмерное увеличение объема миндалевидного тела и гиппокампа, что свидетельствует о взаимосвязанном развитии этих лимбических структур. Полученные данные могут быть полезны для выявления аномалий гиппокампа и височных долей у детей. Кроме того, мы обнаружили, что объем головного мозга у мальчиков больше, чем у девочек, что соответствует результатам других исследований [34]. Е.Г. Потемкина и соавт. в своем обзоре отмечают значимость МР-морфометрии в исследовании нейродегенеративных заболеваний, в частности эпилепсии. Полученные нами результаты согласуются с этими данными, что создает основу для дальнейших исследований в этой области [35].

Основное ограничение количества участников в подобных исследованиях обусловлено рядом методологических проблем: малым количеством исследований, посвященных детям без неврологических нарушений, сложностями в получении согласия родителей на участие их детей, а также проблемами обеспечения неподвижности ребенка во время процедуры для получения качественных изображений без артефактов движения. Большая вариативность структурной конфигурации головного мозга создает значительные трудности для создания популяционных атласов. Хотя данные результаты получены в ходе поперечного исследования и нуждаются в подтверждении в ходе продольного исследования, результаты показывают, что существуют возрастные и половые различия в процессах созревания мозга. Некоторые ученые в своих работах определили этническую принадлежность как один из факторов, оказывающих влияние на морфометрические результаты [36]. Дальнейшие исследования, направленные на изучение этих аспектов, могут помочь в понимании развития головного мозга и диагностике неврологических расстройств у детей.

## Заключение

МР-морфометрия зарекомендовала себя как перспективный метод для изучения головного мозга у детей. На основе проведенного исследования с использованием программного обеспечения FreeSurfer обнаружены специфические изме-



нения в структурах височных долей, связанные с возрастом и полом. В целом морфометрические показатели структур височных долей были больше у мальчиков, чем у девочек. Результаты подчеркивают важность учета возрастных и гендерных особенностей при оценке развития мозга у детей и открывают новые возможности для ранней диагностики и исследования нейродегенеративных процессов в детском возрасте. Для изучения половых различий в продолжение исследования планируется значительно увеличить выборку участников и осуществить комплексный анализ данных, охватывающий несколько возрастных групп.

#### **Дополнительная информация**

**Этическая экспертиза.** Исследование проводилось в рамках докторской диссертации, одобренной локальным этическим комитетом (ЛЭК) ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова», выписка №29 из протокола заседания ЛЭК от 12.02.2018 г. Все участники исследования до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утвержденную в составе протокола исследования этическим комитетом.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Раскрытие интересов авторов.** Авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

**Оригинальность.** При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные), за исключением иллюстрации структур височной доли (рис. 1), заимствованной и адаптированной из работы [26] (распространяется на условиях лицензии CC-BY 3.0).

#### **Additional information**

**Ethics approval.** This study was conducted as part of a dissertation project approved by the Local ethics committee (LEC) of the Almazov National Medical Research Centre, extract No. 29 from the LEC protocol dated February 12, 2018. All participants provided informed written consent before enrollment in the study, in accordance with the study protocol approved by the LEC.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Disclosure of potential conflicts of interest.** The authors declare that they have no competing interests.

**Statement of originality.** In the creation of this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data), except for the illustration of temporal lobe structures (Fig. 1), which was borrowed and adapted from [26] (distributed under the CC-BY 3.0 license).

#### **Участие авторов**

Семибраторов Н.Н. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Фокин В.А. – участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Труфанов Г.Е. – участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Ефимцев А.Ю. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных.

Абрамов К.Б. – сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста.

Кондратьев Г.В. – участие в научном дизайне, подготовка и редактирование текста.

Левчук А.Г. – сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста.

#### **Authors' participation**

Semibratov N.N. – concept and design of the study, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, preparation and creation of the published work.

Fokin V.A. – participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Trufanov G.E. – participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Efimtsev A.Y. – conducting research, analysis and interpretation of the obtained data.

Abramov K.B. – collection and analysis of data, text preparation and editing.

Kondratiev G.V. – participation in scientific design, text preparation and editing.

Levchuk A.G. – collection and analysis of data, text preparation and editing.

#### **Список литературы [References]**

1. Bartzokis G., Beckson M., Lu P.H. et al. Age-related changes in frontal and temporal lobe volumes in men: a magnetic resonance imaging study. *Arch. Gen. Psychiatry*. 2001; 58 (5): 461–465.  
<https://doi.org/10.1001/archpsyc.58.5.461>
2. Giedd J.N., Castellanos F.X., Rajapakse J.C. et al. Sexual dimorphism of the developing human brain. *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry*. 1997; 21 (8): 1185–1201.  
[https://doi.org/10.1016/s0278-5846\(97\)00158-9](https://doi.org/10.1016/s0278-5846(97)00158-9)
3. Lenroot R.K., Gogtay N., Greenstein D.K. et al. Sexual dimorphism of brain developmental trajectories during childhood and adolescence. *Neuroimage*. 2007; 36 (4): 1065–1073.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.053>
4. Sowell E.R., Trauner D.A., Gamst A., Jernigan T.L. Development of cortical and subcortical brain structures in childhood and adolescence: a structural MRI study. *Dev. Med. Child. Neurol*. 2002; 44 (1): 4–16.  
<https://doi.org/10.1017/s0012162201001591>
5. Wilke M., Schmithorst V.J., Holland S.K. Assessment of spatial normalization of whole-brain magnetic resonance



- images in children. *Hum. Brain. Mapp.* 2002; 17 (1): 48–60. <https://doi.org/10.1002/hbm.10053>
6. Мамажонов З.А. Анатомо-топографические особенности височной доли мозга в постнатальном онтогенезе. *Экономика и социум*. 2020; 73 (6): 867–872. Mamajonov Z.A. Anatomical and topographic features of the temporal lobe of the brain in postnatal ontogenesis. *Ekonomika i Socium*. 2020; 73 (6): 867–872. (In Russian)
7. Воронова Н.В., Климова Н.М., Мендгеритцкий А.М. Анатомия центральной нервной системы: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению и специальности “Психология”. М.: Аспект Пресс, 2005. 128 с. Voronova N.V., Klimova N.M., Mendgeritsky A.M. Anatomy of the Central Nervous System: A Textbook for University Students Specializing in Psychology. M.: Aspect Press, 2005. 128 p. (In Russian)
8. Giedd J.N., Blumenthal J., Jeffries N.O. et al. Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nat. Neurosci.* 1999; 2 (10): 861–863. <https://doi.org/10.1038/13158>
9. Jernigan T.L., Tallal P. Late childhood changes in brain morphology observable with MRI. *Dev. Med. Child. Neurol.* 1990; 32 (5): 379–385. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1990.tb16956.x>
10. Pfefferbaum A., Mathalon D.H., Sullivan E.V. et al. A quantitative magnetic resonance imaging study of changes in brain morphology from infancy to late adulthood. *Arch. Neurol.* 1994; 51 (9): 874–887. <https://doi.org/10.1001/archneur.1994.00540210046012>
11. Tanaka C., Matsui M., Uematsu A. et al. Developmental trajectories of the fronto-temporal lobes from infancy to early adulthood in healthy individuals. *Dev. Neurosci.* 2012; 34(6): 477–487. <https://doi.org/10.1159/000345152>
12. Vijayakumar N., Allen N.B., Youssef G. et al. Brain development during adolescence: A mixed-longitudinal investigation of cortical thickness, surface area, and volume. *Hum. Brain. Mapp.* 2016; 37 (6): 2027–2038. <https://doi.org/10.1002/hbm.23154>
13. Sowell E.R., Thompson P.M., Holmes C.J. et al. Localizing age-related changes in brain structure between childhood and adolescence using statistical parametric mapping. *Neuroimage*. 1999; 9 (6, Pt 1): 587–597. <https://doi.org/10.1006/nimg.1999.0436>
14. Rakic P., Ayoub A.E., Breunig J.J., Dominguez M.H. Decision by division: making cortical maps. *Trends Neurosci.* 2009; 32 (5): 291–301. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2009.01.007>
15. Mills K.L., Goddings A.L., Herting M.M. et al. Structural brain development between childhood and adulthood: Convergence across four longitudinal samples. *Neuroimage*. 2016; 141: 273–281. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.07.044>
16. Gogtay N., Giedd J.N., Lusk L. et al. Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2004; 101 (21): 8174–8179. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>
17. Martin A., Chao L.L. Semantic memory and the brain: structure and processes. *Curr. Opin. Neurobiol.* 2001; 11 (2): 194–201. [https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(00\)00196-3](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(00)00196-3)
18. Calvert G.A. Crossmodal processing in the human brain: insights from functional neuroimaging studies. *Cereb. Cortex*. 2001; 11 (12): 1110–1123. <https://doi.org/10.1093/cercor/11.12.1110>
19. Utsunomiya H., Takano K., Okazaki M., Mitsudome A. Development of the temporal lobe in infants and children: analysis by MR-based volumetry. *Am. J. Neuroradiol.* 1999; 20 (4): 717–723.
20. Backhausen L.L., Herting M.M., Tamnes C.K., Vetter N.C. Best Practices in Structural Neuroimaging of Neurodevelopmental Disorders. *Neuropsychol. Rev.* 2022; 32 (2): 400–418. <https://doi.org/10.1007/s11065-021-09496-2>
21. Fjell A.M., Walhovd K.B. Structural brain changes in aging: courses, causes and cognitive consequences. *Rev. Neurosci.* 2010; 21 (3): 187–221. <https://doi.org/10.1515/revneuro.2010.21.3.187>
22. Heinen R., Bouvy W.H., Mendrik A.M. et al. Robustness of Automated Methods for Brain Volume Measurements across Different MRI Field Strengths. *PLoS One*. 2016; 11 (10): e0165719. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165719>
23. Fischl B. FreeSurfer. *Neuroimage*. 2012; 62 (2): 774–781. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.01.021>
24. Fischl B., Salat D.H., Busa E. et al. Whole brain segmentation: automated labeling of neuroanatomical structures in the human brain. *Neuron*. 2002; 33 (3): 341–355. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(02\)00569-x](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(02)00569-x)
25. 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>
26. Klein A., Tourville J. 101 Labeled Brain Images and a Consistent Human Cortical Labeling Protocol. *Front. Neurosci.* 2012; 6. <https://doi.org/10.3389/fnins.2012.00171>
27. Iglesias J.E., Augustinack J.C., Nguyen K. et al. A computational atlas of the hippocampal formation using ex vivo, ultra-high resolution MRI: Application to adaptive segmentation of in vivo MRI. *Neuroimage*. 2015; 115: 117–137. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.04.042>
28. The jamovi project. jamovi. Version 2.5 [Computer Software] — [cited 2025 Jan 25]. Available from: <https://www.jamovi.org>
29. Microsoft Corporation. Microsoft Excel. Version 16.88 [Computer Software]. — [cited 2025 Jan 25]. Available from: <https://www.microsoft.com>
30. Herting M.M., Johnson C., Mills K.L. et al. Development of subcortical volumes across adolescence in males and females: A multisample study of longitudinal changes. *Neuroimage*. 2018; 172: 194–205. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.01.020>
31. Tamnes C.K., Herting M.M., Goddings A.L. et al. Development of the Cerebral Cortex across Adolescence: A Multisample Study of Inter-Related Longitudinal Changes in Cortical Volume, Surface Area, and Thickness. *J. Neurosci.* 2017; 37 (12): 3402–3412. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3302-16.2017>
32. Ананьева Н.И., Андреев Е.В., Саломатина Т.А. и др. МР-морфометрия субполей и субрегионов гипокампа в норме и при ряде психических заболеваний. *Лучевая диагностика и терапия*. 2019; 2: 50–58. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-2-50-58>  
Ananyeva N.I., Andreev E.V., Salomatina T.A. et al. MR morphometry of the hippocampus in normal volunteers and patients with psychotic disorders disease. *Diagnostic*



- Radiology and Radiotherapy.* 2019; 2: 50–58. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-2-50-58> (In Russian)
33. Anand K.S., Dhikav V. Hippocampus in health and disease: An overview. *Ann. Indian Acad. Neurol.* 2012; 15 (4): 239–246. <https://doi.org/10.4103/0972-2327.104323>
  34. Brain Development Cooperative Group. Total and regional brain volumes in a population-based normative sample from 4 to 18 years: the NIH MRI Study of Normal Brain Development. *Cereb. Cortex.* 2012; 22 (1): 1–12. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr018>
  35. Потемкина Е.Г., Саломатина Т.А., Андреев Е.В. и др. Применение МР-морфометрии в эпилептологии: достижения и перспективы. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко.* 2023; 87 (3): 113–119. <https://doi.org/10.17116/neiro202387031113>
  - Potemkina E.G., Salomatina T.A., Andreev E.V. et al. MR morphometry in epileptology: progress and perspectives. *Burdenko's Journal of Neurosurgery.* 2023; 87 (3): 113–119. <https://doi.org/10.17116/neiro202387031113> (In Russian)
  36. Dong H.M., Castellanos F.X., Yang N. et al. Charting brain growth in tandem with brain templates at school age. *Sci. Bull. (Beijing).* 2020; 65 (22): 1924–1934. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2020.07.027>

**Для корреспонденции\***: Семибраторов Николай Николаевич – e-mail: nsemibr@gmail.com

**Семибраторов Николай Николаевич** – врач-рентгенолог отделения амбулаторного лечения с дневным стационаром в составе радиотерапевтического отделения ГБУЗ “Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический) имени Н.П. Напалкова”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-0034-7413>

**Фокин Владимир Александрович** – доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой, заведующий отделом лучевой диагностики, заведующий НИЛ магнитно-резонансной томографии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-7885-9024>

**Труфанов Геннадий Евгеньевич** – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой, заведующий НИО лучевой диагностики ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-1611-5000>

**Ефимцев Александр Юрьевич** – доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой, ведущий научный сотрудник НИЛ лучевой визуализации ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-2249-1405>

**Абрамов Константин Борисович** – канд. мед. наук, заместитель главного врача, врач-нейрохирург Российского научно-исследовательского нейрохирургического института им. проф. А.Л. Поленова – филиала Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-1290-3659>

**Кондратьев Глеб Валентинович** – ассистент кафедры онкологии, детской онкологии и лучевой терапии, врач-детский онколог ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-1462-6907>

**Левчук Анатолий Геннадьевич** – младший научный сотрудник НИЛ магнитно-резонансной томографии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-8848-3136>

**Contact\***: Nikolay N. Semibratov – e-mail: nsemibr@gmail.com

**Nikolay N. Semibratov** – Radiologist at the Radiotherapy outpatient department with a day hospital within the radiotherapy department at the Saint-Petersburg Clinical Scientific and Practical Center for Specialised Types of Medical Care (Oncological), St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-0034-7413>

**Vladimir A. Fokin** – Doct. of Sci. (Med.), Professor at the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with Clinic, Head of the Department of Radiation Diagnostics, Head of the Research Laboratory of Magnetic Resonance Imaging at the Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-7885-9024>

**Gennadiy E. Trufanov** – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with Clinic, Head of the Research Institute of Radiation Diagnostics at the Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-1611-5000>

**Aleksandr Y. Efimtsev** – Doct. of Sci. (Med.), Professor at the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with Clinic, Leading Researcher at the Research Institute of Radiation Imaging at the Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-2249-1405>

**Konstantin B. Abramov** – Cand. of Sci. (Med.), Deputy Chief Physician for Neurosurgery, Neurosurgeon at the Polenov Neurosurgery Institute – the branch of the Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-1290-3659>

**Gleb V. Kondratiev** – Assistant Department of Oncology, Pediatric Oncology and Radiation Therapy, Pediatric Oncologist at Saint Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-1462-6907>

**Anatoly G. Levchuk** – Junior Researcher at Research Laboratory of Magnetic Resonance Imaging at the Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-8848-3136>