



ОЦЕНКА МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕМЕННЫХ ДОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ ПРИ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОМ ИССЛЕДОВАНИИ

Н.Н. Семибратов^{1,2}, В.А. Фокин³, Г.Е. Труфанов³, А.Ю. Ефимцев³,
К.Б. Абрамов³, Г.В. Кондратьев², А.Г. Левчук²

¹Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический) имени Н.П. Напалкова, Ленинградская ул., д. 68А, пос. Песочный, г. Санкт-Петербург, 197758, Россия

²Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, ул. Литовская, д. 2, г. Санкт-Петербург, 194100, Россия

³Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, ул. Аккуратова, д. 2, г. Санкт-Петербург, 197341, Россия

Резюме. *Введение.* Настоящее исследование посвящено количественному анализу теменных долей головного мозга у детей с использованием магнитно-резонансной морфометрии. Теменные доли играют ключевую роль в восприятии тактильной информации, пространственной ориентации тела и регуляции целенаправленных движений. В раннем детском возрасте, когда происходит интенсивное развитие мозга, теменные доли претерпевают значительные структурные изменения, что обосновывает необходимость проведения подробного морфометрического исследования. Полученные данные способствуют углублению знаний о нормальном развитии нервной системы и повышению точности диагностики патологий, ассоциированных с аномалиями строения теменных долей, такими как синдром дефицита внимания и гиперактивности, аутизм, эпилепсия и когнитивные расстройства. *Цель исследования:* изучение морфометрических показателей структур теменных долей головного мозга у неврологически здоровых детей с целью выявления возрастных и половых различий. *Материал и методы.* Всего обследовано 49 детей в возрасте от 2 месяцев до 18 лет. Наблюдения были разделены на две группы: от рождения до 7 лет (17 человек), от 7 до 18 лет (32 человека). Морфометрический анализ теменных долей головного мозга выполнен с использованием программного обеспечения «FreeSurfer», в ходе которого были проанализированы следующие параметры: объём для каждой структуры теменных долей, площадь поверхности и толщина коры. *Результаты.* В ходе исследования были обнаружены возрастные изменения объёма, площади и толщины коры различных структур теменной доли у детей. Хотя статистически значимых гендерных различий в морфометрических показателях этих структур не выявлено, наблюдалась тенденция к увеличению относительных размеров (рассчитанных относительно внутричерепного объёма) у мальчиков по сравнению с девочками. Полученные данные свидетельствуют о сложной и разнонаправленной динамике развития теменной доли в онтогенезе, проявляющейся как симметричных, так и в асимметричных изменениях. *Заключение.* Настоящее исследование демонстрирует эффективность магнитно-резонансной морфометрии в анализе развития структур теменных долей у неврологически здоровых детей. Полученные морфометрические показатели могут быть использованы в качестве сравнительных референсных данных при исследовании структурных изменений при различных неврологических состояниях.

Ключевые слова / Keywords [MeSH]: магнитно-резонансная томография / magnetic resonance imaging [D008279]; магнитно-резонансная морфометрия / magnetic resonance morphometry [D059906 (Neuroimaging)]; теменная доля / parietal lobe [D010296]; дети / children [D002648]; рост и развитие / growth and development [D006128 (Growth and Development)]; головной мозг / brain [D001921]; возрастные изменения / age-related changes [D000375 (Age Factors)]; кора головного мозга / cerebral cortex [D002540]; нейровизуализация / neuroimaging [D059906]; морфометрия / morphometry [D009682 (Anatomy)].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Соответствие нормам этики. Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно необходимо.

Для цитирования: Семибратов Н.Н., Фокин В.А., Труфанов Г.Е., Ефимцев А.Ю., Абрамов К.Б., Кондратьев Г.В., Левчук А.Г. Оценка морфометрических параметров теменных долей головного мозга у детей при магнитно-резонансном исследовании. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2025;15(6):304-313. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.6.MIM.2>

ASSESSMENT OF MORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE PARIETAL LOBES IN CHILDREN USING MAGNETIC RESONANCE IMAGING

Nikolay N. Semibratov^{1,2}, Vladimir A. Fokin³, Gennadiy E. Trufanov³, Aleksandr Yu. Yefimtsev³,
Konstantin B. Abramov³, Gleb V. Kondrat'yev², Anatoliy G. Levchuk²

¹Saint-Petersburg Clinical Scientific and Practical Center for Specialised Types of Medical Care (Oncological),
Leningradskaya str., 68a, vill. Pesochniy, St. Petersburg, 197758, Russia

²Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Litovskaya str., 2, St. Petersburg 194100, Russia

³Almazov National Medical Research Centre, Akkuratova str., 2, St. Petersburg, 197341, Russia

Abstract. *Introduction.* This study is dedicated to the quantitative analysis of the parietal lobes in the pediatric brain using magnetic resonance morphometry. The parietal lobes play a key role in tactile perception, spatial body orientation, and the regulation of goal-directed movements. In early childhood, a period marked by intensive brain development, the parietal lobes undergo significant structural changes, which justifies the need for detailed morphometric analysis. The obtained data contribute to a deeper understanding of normal nervous system development and improve the accuracy of diagnosing pathologies associated with structural abnormalities of the parietal lobes, such as attention deficit hyperactivity disorder, autism spectrum disorder, epilepsy, and cognitive impairments. *Aim.* To perform a detailed study of morphometric parameters of the parietal lobe brain structures in neurologically healthy children to identify age- and gender-related variations. *Methods.* The study included 49 children aged between 2 months and 18 years. All observations were divided into two age groups: from birth to 7 years (17 subjects) and from 7 to 18 years (32 subjects). Morphometric analysis of the parietal lobes was performed using the FreeSurfer software, the following parameters were analyzed: volume of each parietal lobe structure, surface area, and cortical thickness. *Results.* Age-related changes in the volume, surface area, and cortical thickness of various parietal lobe structures were identified. Although no statistically significant gender differences in the morphometric parameters of these structures were found, there was a tendency for increased relative sizes (normalized to intracranial volume) in boys compared to girls. The data indicate complex and heterogeneous developmental dynamics of the parietal lobe during ontogenesis, manifested in both symmetrical and asymmetrical changes. *Conclusion.* This study demonstrates the effectiveness of using morphometry for analyzing the development of parietal lobe structures in neurologically healthy children. The obtained morphometric measures may serve as comparative reference data for studies of structural changes in various neurological conditions.

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Funding. This research received no external funding.

Compliance with ethical principles. The authors confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent when it is necessary.

Cite as: Semibratov N.N., Fokin V.A., Trufanov G.E., Yefimtsev A.Yu., Abramov K.B., Kondrat'yev G.V., Levchuk A.G. Assessment of morphometric parameters of the parietal lobes in children using magnetic resonance imaging. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ": Rehabilitation, Doctor and Health.* 2025;15(6):304-313. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2025.6.MIM.2>

ВВЕДЕНИЕ

Нервная система формируется под взаимодействием генетических, эпигенетических и внешних факторов, регулирующих ключевые процессы нейрогенеза и кортикогенеза, нарушение которых может привести к задержке её развития во взрослом возрасте. В процессе созревания нервной системы происходит пролиферация и миграция нейронов, формирование их морфологических и молекулярных особенностей, установление цитоархитектонических связей, развитие нейронных сетей с последующей «обрезкой» избыточных элементов, а также пролиферация глиальных клеток и миелинизация, поддерживающие пластичность нейрональных цепей с внутриутробного периода и на протяжении всей жизни [1]. Возраст и пол ребёнка рассматриваются как значимые факторы, регулирующие процессы формирования нервной системы [2-5]. К восьмилетнему возрасту морфологическая организация коры мозга достигает уровня, близкого к взрослому [6]. В период детства и начала подросткового возраста объём белого вещества продолжает увеличиваться, тогда как объём серого вещества постепенно уменьшается [7-9]. Зарубежные исследования описывают U-образную динамику траектории изменения объёма серого вещества: его рост

наблюдается в раннем детстве, после чего следует снижение в период полового созревания, достигая пика примерно к 16,5 годам у мальчиков и 16,7 годам у девочек [7, 10, 11]. Процесс развития мозга сопровождается значительным увеличением площади коры при сравнительно небольшой её толщине [12]. Белое вещество продолжает увеличиваться на протяжении всего детства и подросткового периода, достигая максимально возможных объёмов к 10,5 годам у девочек и 14,5 годам у мальчиков [3]. У взрослых мужчин объём мозга примерно на 7-10% выше, чем у женщин [2-4]. Теменные доли головного мозга выполняют ключевую роль в интеграции и обработке соматосенсорной информации, включая восприятие тактильных ощущений, температуры и болевых стимулов. Они обеспечивают пространственное восприятие, координацию движений, поддержание тела в пространстве, а также участвуют в высших когнитивных функциях, таких как внимание, мотивация, восприятие речи и математические способности [13]. Развитие этих функций связано с морфологическими и функциональными изменениями в коре теменных долей. Постцентральная извилина – это первичная соматосенсорная кора, ответственная за восприятие тактильных ощущений, температурных и болевых стимулов, а также

проприоцептивной информации с мышц и суставов для всей противоположной половины тела. Функции этой области лежат в основе осознанного восприятия сенсорной информации и служат фундаментом для последующей когнитивной обработки. Надкраевая извилина задействована в пространственном восприятии и внимании. Она интегрирует данные из различных сенсорных систем, что необходимо для координации движений. Эта структура участвует в обработке тактильной и визуальной информации, что позволяет ощущать положение тела в пространстве. Верхняя теменная доля считается вторичной зоной кожной чувствительности, ответственной за сложные тактильные ощущения: за восприятие на ощупь формы предметов, их веса, поверхности. Нижняя теменная доля отвечает за способность распознавать предметы при помощи осязания, а также моторную координацию и речь. Предклинье связано с когнитивными процессами, такими как планирование и принятие решений, что играет важную роль в адаптивном поведении и регуляции эмоциональных реакций. Изменения в морфологии теменной доли часто связаны с такими неврологическими и психоневрологическими состояниями, как синдром дефицита внимания, аутизм, эпилепсия и когнитивные расстройства. В детском возрасте теменные доли подвержены динамичному развитию и пластичности, что делает её исследование морфометрическими методами особенно актуальным и информативным для диагностики и понимания патологии. Ранняя неинвазивная диагностика неврологических заболеваний способствует улучшению их прогноза, однако требует надежных показателей нормы, учитывающих возрастные и гендерные особенности [14, 15].

Современная медицина всё активнее развивается в направлении цифровизации и внедрения автоматизированных технологий диагностики и терапии. Одним из значимых направлений научных исследований становится создание многомерных баз данных, которые служат основой для разработки алгоритмов автоматической обработки и анализа медицинской информации. Магнитно-резонансная морфометрия (MP-морфометрия) доказала свою эффективность как метод объективного количественного исследования структур мозга. Она позволяет оценивать объём и площадь серого и белого вещества, а также толщину коры различных областей больших полушарий [16–18]. В данной работе приводятся результаты морфометрического анализа, демонстрирующие влияние возрастных и гендерных факторов на формирование теменных долей головного мозга у детей в возрасте от 2 месяцев до 18 лет. Знание закономерностей возрастных изменений и половых различий при нормальном развитии головного мозга имеет принципи-

альное значение для корректной интерпретации данных нейровизуализации.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ: изучение морфометрических показателей теменных долей головного мозга у детей в зависимости от возраста и пола с использованием MP-морфометрии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России. В анализ включены данные пациентов, собранные ретроспективно и проспективно в период с сентября 2016 по май 2024 года.

Всего обследовано 49 детей (30 мальчиков и 19 девочек), в возрасте от 2 месяцев до 18 лет, без выявленных при МРТ структурных изменений головного мозга. Участники не имели неврологических или психических расстройств, хронических заболеваний, нарушений обучаемости, а также не получали медикаментозной терапии, способной повлиять на работу нервной системы. Средний возраст обследованных составил $7,94 \pm 5,08$ года. Данные о распределении по полу и возрасту приведены в таблице 1. Все обследования проводились при наличии письменного информированного согласия родителей пациентов. При невозможности выполнения процедуры без медикаментозной поддержки у 12 детей применялось анестезиологическое обеспечение.

Таблица 1. Распределение участников исследования по возрасту и полу

Table 1. Age and gender distribution of participants

Возраст пациентов, годы	0-2	2-4	4-7	7-10	10-14	14-18
Количество девочек (n=19)	4	2	0	6	3	4
Количество мальчиков (n=30)	3	5	3	5	10	4
Общее количество (n=49)	7	7	3	11	13	8

Всем участникам исследования была выполнена магнитно-резонансная томография (МРТ) головного мозга на томографах с индукцией магнитного поля 1,5 Тесла (n=31) и 3 Тесла (n=18) по стандартизированному протоколу исследования головного мозга с применением стандартных импульсных последовательностей в трёх взаимно перпендикулярных проекциях (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 минут. Для морфометрического анализа структур головного мозга применялось программное обеспечение FreeSurfer версии 7.3.2 [19]. МР-морфометрия выполнена в автоматическом режиме, в ходе которой были определены морфометрические показатели (объёма в мм³, площади в мм² и толщины в мм) для каждой структуры теменных долей, представленной на рисунке 1. Постпроцессинговая обработка данных проводилась поэтапно. 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 [19]. Для выделения внутренних (серо-белых) и пинальных (серо-ликворных) поверхностей коры применялся алгоритм деформируемой поверхности [20]. Обработка также включала в себя топологическую коррекцию, сферизацию поверхности и регистрацию в сферическом атласе [21]. Парцелляция коры головного мозга выполнялась с использованием встроенного атласа (атлас Desikan-Killiany), разделивший кортикальную поверхность на области в каждом полушарии [22].

Все наблюдения были распределены на две возрастные группы: от 0 до 7 лет (n=17) и от 7 до 18 лет (n=32). Средний возраст первой группы составил $2,19 \pm 1,7$ года, средний возраст второй группы составил $11,1 \pm 3,0$ года. Выбор конкретных возрастных интервалов обусловлен необходимостью выявить ключевые возрастные изменения морфометрических показателей структур теменных долей,

соответствующих критическим периодам созревания центральной нервной системы. Период от рождения до 7 лет охватывает ранние этапы нейрогенеза, характеризующиеся быстрым ростом объёма мозга, активной миелинизацией, созреванием нейронных связей и высокой пластичностью и формированием базовых сенсомоторных и пространственных функций. Период от 7 до 18 лет соответствует младшему школьному и подростковому возрасту, когда структурное созревание теменных долей уже завершено, а функциональное развитие сосредоточено на совершенствовании пространственно-когнитивных способностей, визуально-пространственного анализа, планирования движений и контроля действий.

Этическая экспертиза

Исследование проводилось в рамках диссертационной работы, одобренной локальным этическим комитетом (ЛЭК) ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова», выписка №29 из протокола заседания ЛЭК от 12.02.2018 г.

Статистический анализ

Обработка и анализ данных выполнялись с использованием программного обеспечения Jamovi 2.3.28 и Microsoft Excel 2007 [22, 23]. Для выявления статистически значимых различий между группами были применены соответствующие методы статистического анализа. Количественные переменные описывались с помощью среднего значения (M) и стандартного отклонения (SD). При сравнении двух возрастных групп для количественных переменных применялся непараметрический критерий Манна – Уитни, что позволило учитывать возможные выбросы и асимметрию распределения данных.

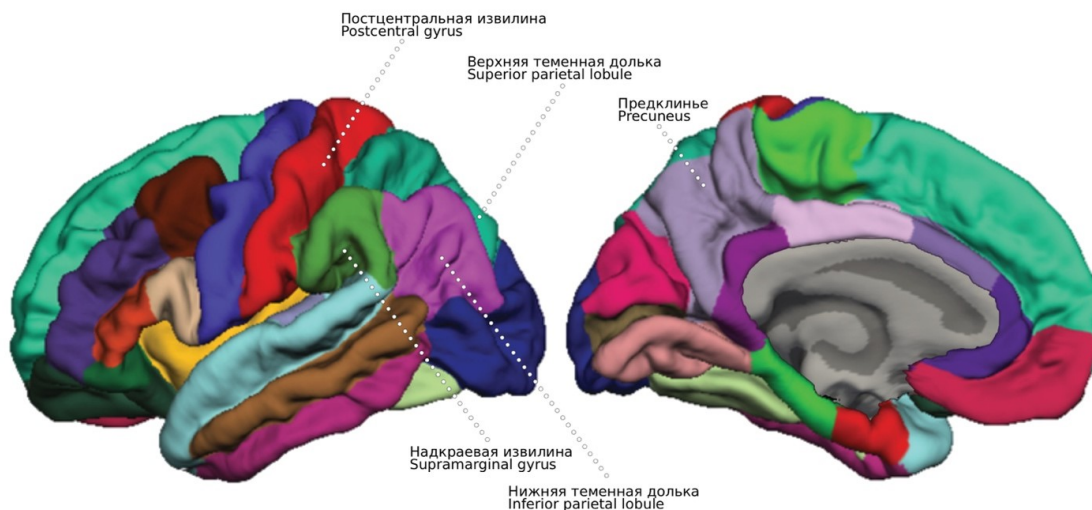


Рисунок 1. Структуры теменной доли, используемые в атласе Desikan-Killiany: верхнелатеральная (слева) и нижнемедиальная (справа) поверхности. Адаптированная иллюстрация Klein A and Tourville J [22]

Figure 1. Parietal lobe structures used in the Desikan-Killiany atlas: superolateral (left) and inferomedial (right) surfaces. Adapted illustration Klein A and Tourville J [22]

Визуализация результатов сегментации структур теменных долей головного мозга с помощью программного пакета FreeSurfer показана на рисунке 2. Для оценки трендов в изменении морфометрических показателей (объёма в мм³, площади в мм² и толщины в мм) структур теменных долей был проведён анализ линейной регрессии и определено процентное изменение средних значений. Процентное изменение средних значений вычислялось по формуле:

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

где ΔP – процентное изменение; M_{end} – конечное среднее значение; M_{start} – начальное среднее значение.

Для систематизации данных и сравнительного анализа введены описательные процентные диапазоны изменений морфометрических показателей теменных долей: изменения менее 10% классифицировались как мало выраженные, от 10% до 30% – выраженные, а превышающие 30% – значительные. Симметричность оценивалась по разнице между контрлатеральными областями: до 10% считалось симметричным, свыше 10% интерпретировалась как асимметрия. Эти диапазоны имеют описательный, эвристический характер и предназначены исключительно для интерпретации результатов, не являясь формальными статистическими критериями.

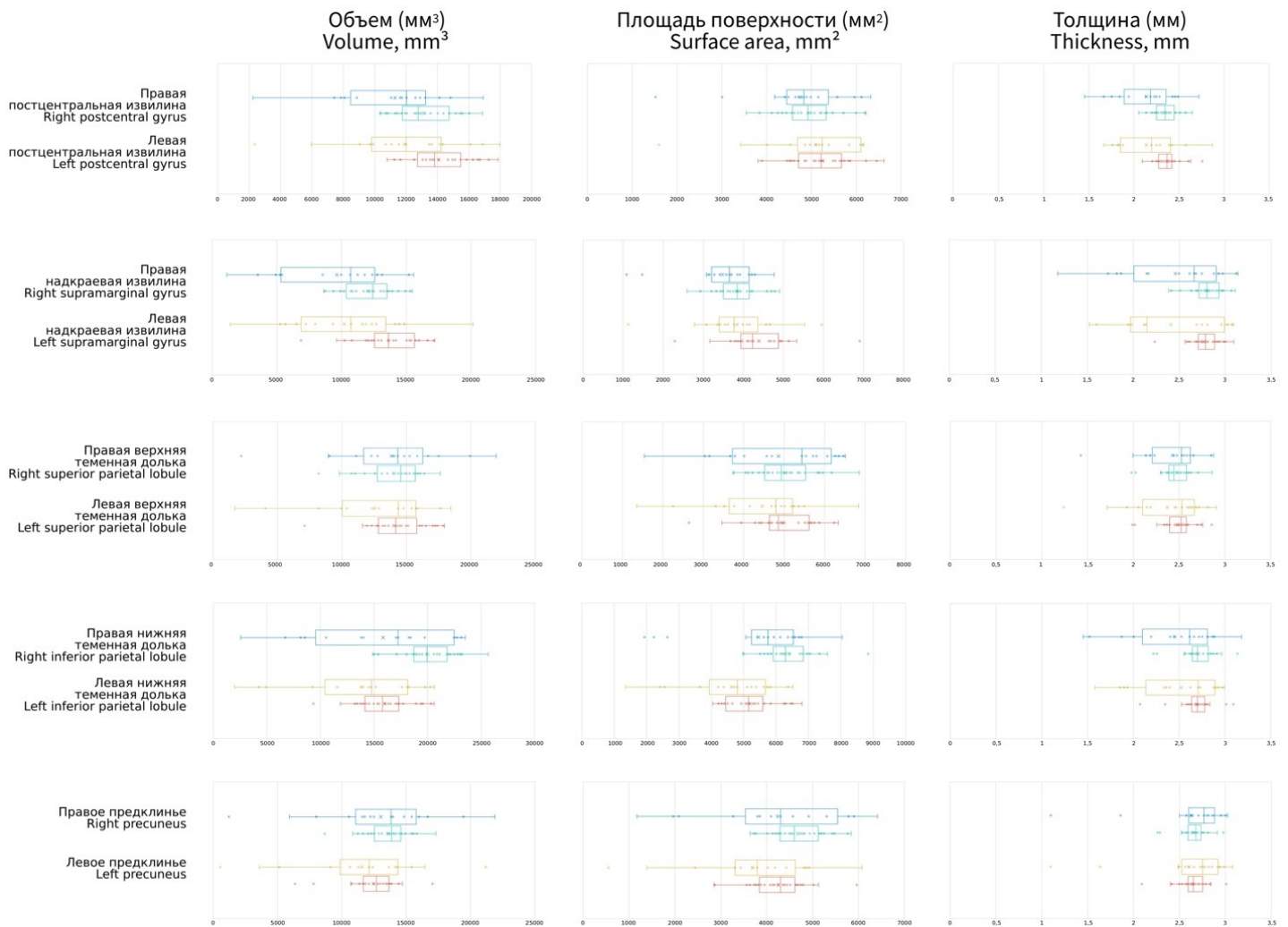


Рисунок 2. Значения объёма, мм³ (слева), площади поверхности, мм³ (в центре), и толщины, мм (справа) структур теменных долей для возрастных групп 0-7 лет (верхние столбцы) и 7-18 лет (нижние столбцы). Вертикальные линии обозначают медианы, левые и правые границы прямоугольников указывают на нижний и верхний квартили соответственно. Средние значения показателей приведены в таблице 2

Figure 2. Values of volume, mm³ (left), surface area, mm³ (middle), and thickness, mm (right) of parietal 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. Mean values are presented in Table 2

Таблица 2. Сравнение морфометрических показателей теменных долей
Table 2. A morphometric comparison of the parietal lobes

Структура	Сторона	Показатель	Группа 1 (0-7 лет)	Группа 2 (7-18 лет)	ΔР	U	p
Постцентральная извилина	правая	объём, мм ³	11291±3484	13139±1832	16,37%	201	0,14
		площадь, мм ²	4749±1143	4941±625	4,06%	256	0,747
		толщина, мм	2,14±0,324	2,35±0,138	9,81%	150	0,011*
	левая	объём, мм ³	11903±3905	14095±1794	18,42%	169	0,03*
		площадь, мм ²	5096±1207	5248±694	2,97%	261	0,827
		толщина, мм	2,14±0,338	2,37±0,14	10,75%	157	0,016*
Надкраевая извилина	правая	объём, мм ³	9646±4183	12084±1992	25,27%	174	0,04*
		площадь, мм ²	3478±944	3829±540	10,10%	222	0,294
		толщина, мм	2,46±0,555	2,83±0,241	15,04%	162	0,021*
	левая	объём, мм ³	10204±4534	13656±2307	33,82%	125	0,002*
		площадь, мм ²	3846±1074	4387±777	14,08%	160	0,019*
		толщина, мм	2,43±0,573	2,77±0,201	13,99%	190	0,087
Верхняя теменная доля	правая	объём, мм ³	13821±4519	14057±2128	1,71%	264	0,876
		площадь, мм ²	4857±1458	5014±743	3,22%	269	0,959
		толщина, мм	2,43±0,351	2,47±0,178	1,65%	248	0,614
	левая	объём, мм ³	12519±4635	14026±2509	12,04%	244	0,567
		площадь, мм ²	4453±1301	4951±768	11,17%	220	0,283
		толщина, мм	2,37±0,438	2,49±0,181	5,06%	269	0,959
Нижняя теменная доля	правая	объём, мм ³	15855±6556	20009±2440	26,20%	179	0,051
		площадь, мм ²	5457±1677	6393±758	17,15%	171	0,034*
		толщина, мм	2,47±0,479	2,71±0,174	9,72%	197	0,115
	левая	объём, мм ³	13796±5680	16010±2581	16,05%	228	0,365
		площадь, мм ²	4625±1429	5198±783	12,39%	225	0,324
		толщина, мм	2,52±0,457	2,69±0,173	6,75%	260	0,801
Предклинье	правая	объём, мм ³	13034±4906	13604±1684	4,37%	264	0,876
		площадь, мм ²	4237±1482	4677±560	10,40%	232	0,411
		толщина, мм	2,64±0,488	2,65±0,156	0,38%	212	0,211
	левая	объём, мм ³	11559±4964	12465±1928	7,83%	246	0,596
		площадь, мм ²	3697±1326	4254±622	15,06%	196	0,113
		толщина, мм	2,61±0,506	2,67±0,266	2,30%	216	0,239

Примечание: значения объема структур (мм³), площади поверхности структур (мм²), 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.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведённый морфометрический анализ выявил структурные изменения в теменных долях у участников обеих групп.

Общие изменения структур теменных долей. Средние значения морфометрических показателей структур теменных долей при сравнении исследуемых возрастных групп представлены в таблице 2, распределение показателей и их вариабельность продемонстрированы на рисунке 2. Процентные изменения средних значений объема (мм³), площади поверхности (мм²) и толщины (мм) коры теменных долей при сравнении возрастных групп представлено на рисунке 3.

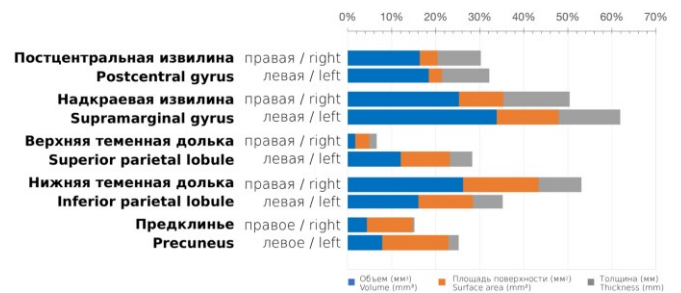


Рисунок 3. Процентное изменение средних значений объема (мм³), площади поверхности (мм²) и толщины структур (мм) при сравнении возрастных групп 0-7 лет и 7-18 лет
Figure 3. Percentage change in mean values of volume (mm³), surface area (mm²), and thickness (mm) of structures in comparing age groups 0-7 years and 7-18 years

Постцентральная извилина. В ходе исследования было выявлено выраженное симметричное увеличение толщины (правая на 9,81%, левая на 10,75%) коры постцентральных извилин, с достоверной статистической значимостью (критерий Манна - Уитни, $p < 0,05$). Объём постцентральных извилин также выраженно симметрично увеличился (правая на 16,37%, левая на 18,42%), при этом показатель правой извилины не является статистически значимым. Достоверных изменений площади поверхности обеих постцентральных извилин не было выявлено (увеличение правой на 4,06%, левой на 2,97%).

Надкраевая извилина. Морфометрические показатели надкраевой извилины демонстрируют значительное и выраженное симметричное увеличение в обоих полушариях. Было выявлено статистически значимое выраженное симметричное увеличение объёма правой надкраевой извилины на 25,27%, и значительное симметричное увеличение левой надкраевой извилины на 33,82%. Площадь поверхности надкраевых извилин выраженно симметрично увеличилась (правая на 10,10%, левая на 14,08%), при этом статистическая значимость достигнута лишь для показателя площади поверхности левой надкраевой извилины. Толщина коры надкраевых извилин выраженно симметрично увеличилась (правая на 15,04%, левая на 13,99%), при этом статистическая значимость подтверждена для правой надкраевой извилины.

Верхняя теменная доля. По критерию Манна - Уитни достоверных изменений объёма, площади и толщины коры не выявлено. Морфометрические показатели изменяются асимметрично. В возрастной группе 0-7 лет объём правой верхней теменной доли превышает объём левой, однако в возрастной группе 7-18 лет показатели выравниваются за счёт выраженного увеличения объёма левой верхней теменной доли (на 12,04%) и маловыраженного увеличения объёма правой (на 1,71%). Аналогично увеличилась площадь поверхности (левая на 11,17%, правая на 3,22%). Толщина коры маловыраженно увеличилась (левая на 5,06%, правая на 1,65%).

Нижняя теменная доля. Среди изученных морфометрических показателей только площадь поверхности правой нижней теменной доли продемонстрировала статистически значимое увеличение с возрастом, тогда как остальные изменения не достигли значимости. Морфометрические показатели объёма и площади поверхности правой нижней теменной доли выраженно симметрично увеличились (на 26,20% и 17,15% соответственно), левая нижняя теменная доля увеличилась менее выражено (на 16,05% и 12,39% соответственно). Толщина коры маловыраженно увеличилась (правая на 9,72%, левая на 6,75%).

Предклинье. Наблюдаемые изменения морфометрических параметров правого и левого предклиньев не достигли статистической значимости, указывая на отсутствие достоверных различий. Площадь поверхности выраженно и симметрично увеличилась (правая на 10,40%, левая на 15,06%), а объём и толщина коры продемонстрировали незначительное увеличение (справа на 4,37% и 0,38%, слева на 7,83% и 2,30% соответственно).

Половые различия. Сравнительный анализ гендерных различий объёма, площади поверхности и толщины коры теменных долей с учётом процентного соотношения этих морфометрических показателей к общему внутрочерепному объёму не выявил статистически значимых различий между возрастными группами 0-7 и 7-18 лет ($p > 0,05$). Тем не менее, у мальчиков обеих возрастных групп (0-7 и 7-18 лет) наблюдалась тенденция к большему объёму и площади поверхности в постцентральной и надкраевых извилинах с обеих сторон, а также в верхней и нижней теменных долях справа по сравнению с девочками. В младшей возрастной группе толщина коры преимущественно была больше у мальчиков в надкраевых извилинах и нижних теменных долях с обеих сторон по сравнению с девочками. В старшей возрастной группе у девочек наблюдалась тенденция к большей толщине коры в надкраевых извилинах с обеих сторон и левой постцентральной извилине, а также к более высоким показателям объёма, площади поверхности и толщины коры верхней теменной доли, а также объёма и толщины коры предклинья с обеих сторон по сравнению с мальчиками. При этом площадь поверхности коры предклинья с обеих сторон была преимущественно больше у мальчиков.

ОБСУЖДЕНИЕ

Современные методы нейровизуализации позволяют более детально изучать особенности развития головного мозга у детей. В настоящем исследовании мы сосредоточились на прицельной оценке теменных долей. Полученные данные выявили различные траектории изменения морфометрических показателей, которые подтверждаются результатами зарубежных исследований [10, 24, 25]. Научная новизна нашего исследования заключается в комплексной оценке морфометрических параметров теменных долей у неврологически здоровых детей, а также в выявлении возрастных и половых различий в критические периоды формирования нервной системы.

Участники были разделены на две возрастные группы (0-7 и 7-18 лет), что позволило отразить ключевые этапы созревания центральной нервной системы и выявить особенности морфометрических параметров теменных долей. В первые месяцы жиз-

ни темпы развития мозга особенно высоки, к трём годам завершается процесс активной дифференцировки нейронов, а к восьми годам кора по строению похожа на кору взрослого человека. Период от рождения до 7 лет характеризуется интенсивным формированием нейронных связей и структурной организацией коры головного мозга. Во втором возрастном периоде (7-18 лет) происходят значимые изменения как в нейроанатомии, так и в функциональной организации мозга, что связано с процессами обучения, когнитивного развития и социальной адаптации. Сравнительный анализ данных двух групп позволил определить возрастные тенденции изменения структур теменных долей и проследить влияние факторов внешней среды на их формирование.

При анализе структур головного мозга у мальчиков и девочек в различных возрастных группах не было выявлено достоверно значимых гендерных различий. Некоторые выявленные тенденции могут быть обусловлены различиями в объёме головного мозга, что согласуется с данными о преобладании на 8-15% объёма мозга у мужчин по сравнению с женщинами [27-29]. Вместе с тем, исследования показывают, что у женщин, несмотря на меньший средний объём мозга, большие размеры коры и объёма серого вещества часто сопровождаются более выраженным снижением этих параметров с возрастом по сравнению с мужчинами [29, 30]. Это указывает на существование взаимосвязи между общей величиной мозговых структур и динамикой их возрастного развития. Полученные нами результаты согласуются с данными предыдущих исследований, демонстрирующих преимущественное увеличение объёмов у мальчиков за счёт правого полушария, тогда как у девочек более выраженный рост отмечается в левом полушарии [14]. Эти различия особенно заметны в детском и подростковом возрасте, когда мозг девочек созревает на 2-3 года быстрее по сравнению с мозгом мальчиков, что требует учёта влияния гендерной принадлежности при оценке морфометрических данных [32].

Ограничения исследования

Основные ограничения исследования связаны с трудностью набора репрезентативной выборки здоровых детей, сложностью в получении инфор-

мированного согласия от родителей и техническими проблемами – обеспечением неподвижности ребенка во время МРТ для получения качественных изображений без артефактов движения. Размер выборки и неравномерное соотношение мальчиков и девочек (30:19) ограничивают возможность получения устойчивых нормативных оценок. Полученные результаты следует интерпретировать с осторожностью, с учётом размера выборки и вариабельности показателей, представленных в таблицах.

Дополнительными ограничениями являются использование томографов с различной напряжённостью магнитного поля (1,5 и 3 Тесла) и применение анестезиологического обеспечения у части детей младшего возраста, влияние которых на морфометрические показатели не может быть полностью исключено. Следует учитывать, что в работе не применялась формальная коррекция на множественные сравнения, что требует осторожной интерпретации отдельных статистически значимых результатов.

Большая вариативность структурной конфигурации головного мозга также создаёт трудности для создания популяционных атласов. Полученные данные требуют подтверждения в ходе продольных исследований, однако уже сейчас они позволяют выявить ключевые закономерности развития теменных долей и служат основой для дальнейших исследований нейродегенеративных и неврологических заболеваний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

МР-морфометрия зарекомендовала себя как перспективный метод количественной оценки структур головного мозга, который позволяет выявлять специфические возрастные и половые изменения. При анализе теменных долей установлено, что морфометрические показатели у мальчиков в среднем выше, чем у девочек. Настоящее исследование дополняет существующие работы, подробно описывая морфометрические параметры теменной доли головного мозга. Полученные нами результаты могут быть использованы для повышения объективности исследований, а также для улучшения диагностики нормального развития мозга и раннего выявления нейродегенеративных процессов в детском возрасте.

Литература [References]

- 1 Сидорова И.С., Никитина Н.А., Унанян А.Л., Агеев М.Б. Развитие головного мозга плода и влияние пренатальных повреждающих факторов на основные этапы нейрогенеза. *Российский вестник акушера-гинеколога*. 2022;22(1):35-44. Sidorova I.S., Nikitina N.A., Unanyan A.L., Ageev M.B. Development of the human fetal brain and the influence of prenatal damaging factors on the main stages of neurogenesis. *Russian Bulletin of Obstetrician-Gynecologist*. 2022;22(1):35-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/rosakush20222201135>
- 2 Giedd J.N., Castellanos F.X., Rajapakse J.C., Vaituzis A.C., Rapoport J.L. Sexual dimorphism of the developing human brain. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 1997;21(8):1185-1201. PMID: 9460086 [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., Wells E.M., Wallace G.L., Clasen L.S., et al. Sexual dimorphism of brain developmental trajectories during childhood and adolescence. *Neuroimage*. 2007;36(4):1065-1073. PMID: 17513132 <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. PMID: 11811649 <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. *Human brain mapping*. 2002;17(1):48-60. PMID: 12203688 <https://doi.org/10.1002/hbm.10053>
- 6 Воронова Н.В., Климова Н.М., Менджеричский А.М. Анатомия центральной нервной системы. Москва: Аспект Пресс; 2005. Voronova N.V., Klimova N.M., Mendgeritsky A.M. Anatomy of the Central Nervous System. Moscow: Aspect Press; 2005. (In Russ.)
- 7 Giedd J.N., Blumenthal J., Jeffries N.O., Castellanos F.X., Liu H., Zijdenbos A., et al. Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nat Neurosci*. 1999;2(10):861-863. PMID: 10491603 <https://doi.org/10.1038/13158>
- 8 Jernigan T.L., Tallal P. Late childhood changes in brain morphology observable with MRI. *Dev Med Child Neurol*. 1990;32(5):379-385. PMID: 2354751 <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1990.tb16956.x>
- 9 Pfefferbaum A., Mathalon D.H., Sullivan E.V., Rawles J.M., Zipursky R.B., Lim K.O. A quantitative magnetic resonance imaging study of changes in brain morphology from infancy to late adulthood. *Arch Neurol*. 1994;51(9):874-887. PMID: 8080387 <https://doi.org/10.1001/archneur.1994.00540210046012>
- 10 Vijayakumar N., Allen N.B., Youssef G., Dennison M., Yücel M., Simmons J.G., et al. Brain development during adolescence: A mixed-longitudinal investigation of cortical thickness, surface area, and volume. *Hum Brain Mapp*. 2016;37:2027-2038. PMID: 26946457 <https://doi.org/10.1002/hbm.23154>
- 11 Sowell E.R., Thompson P.M., Holmes C.J., Bath R., Jernigan T.L., Toga A.W. Localizing age-related changes in brain structure between childhood and adolescence using statistical parametric mapping. *Neuroimage*. 1999;9(6Pt1):587-597. PMID: 10334902 <https://doi.org/10.1006/nimg.1999.0436>
- 12 Rakic P, Ayoub A.E., Breunig J.J., Dominguez M.H. Decision by division: making cortical maps. *Trends in neurosciences*. 2009;32(5):291-301. PMID: 19380167 <https://doi.org/10.1016/j.tins.2009.01.007>
- 13 Горчаков В.Н., Сергеева И.Г., Тулупов А.А. Нейрохирургическая анатомия головного мозга. Новосибирск: НГУ; 2015. Gorchakov V.N., Sergeeva I.G., Tulupov A.A. Neurosurgical Anatomy of the Brain. Novosibirsk: NSU; 2015. (In Russ.)
- 14 Байбаков С.Е., Бахарева Н.С., Гордеева Е.К., Бараева Л.М., Хромов Д.А., Юсупова А.И. и др. Динамика роста полушарий головного мозга и его долей у детей периода раннего детства. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2024;150(12). Baibakov S.E., Bakhareva N.S., Gordeeva E.K., Baraeva L.M., Khromov D.A., Yusupova A.I., et al. Dynamics of growth of cerebral hemispheres and their lobes in children of early childhood period. *International Research Journal*. 2024;150(12). (In Russ.) <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.13>
- 15 Потемкина Е.Г., Саломатина Т.А., Андреев Е.В., Абрамов К.Б., Банникова В.Д., Денгыгина Н.О. и др. Применение МР-морфометрии в эпилептологии: достижения и перспективы. *Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко*. 2023;87(3):113-119. Potemkina E.G., Salomatina T.A., Andreev E.V., Abramov K.B., Bannikova V.D., Dengina N.O., et al. MR morphometry in epileptology: progress and perspectives. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2023;87(3):113-119. (In Russ.) PMID: 37325834 <https://doi.org/10.17116/neuro202387031113>
- 16 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. PMID: 33893904 <https://doi.org/10.1007/s11065-021-09496-2>
- 16 Fjell A.M., Walhovd K.B. Structural brain changes in aging: courses, causes and cognitive consequences. *Rev Neurosci*. 2010;21(3):187-221. PMID: 20879692 <https://doi.org/10.1515/revneuro.2010.21.3.187>
- 17 Heinen R., Bouvy W.H., Mendrik A.M., Viergever M.A., Biessels G.J., de Bresser J. Robustness of Automated Methods for Brain Volume Measurements across Different MRI Field Strengths. *PLoS One*. 2016;11(10):e0165719. PMID: 27798694 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165719>
- 18 Fischl B. FreeSurfer. *Neuroimage*. 2012;62(2):774-781. PMID: 22248573 <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.01.021>
- 19 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):341-355. PMID: 11832223 [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(02\)00569-x](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(02)00569-x)
- 20 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. PMID: 9931269 <https://doi.org/10.1006/nimg.1998.0396>
- 21 Klein A., Tourville J. 101 Labeled Brain Images and a Consistent Human Cortical Labeling Protocol. *Front Neurosci*. 2012;6. PMID: 23227001 <https://doi.org/10.3389/fnins.2012.00171>
- 22 The jamovi project. jamovi. Version 2.5 [Computer Software] – [cited 2025 Sep 10]. Available from: <https://www.jamovi.org>
- 23 Microsoft Corporation. Microsoft Excel. Version 16.88 [Computer Software]. – [cited 2025 Sep 10]. Available from: <https://www.microsoft.com>
- 24 Herting M.M., Johnson C., Mills K.L., Vijayakumar N., Dennison M., Liu C., et al. Development of subcortical volumes across adolescence in males and females: A multisample study of longitudinal changes. *Neuroimage*. 2018;172:194-205. PMID: 29353072 <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.01.020>
- 25 Tamnes C.K., Herting M.M., Goddings A.L., Meuwese R., Blakemore S.J., Dahl R.E., 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. PMID: 28242797 <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3302-16.2017>
- 26 Leonard C.M., Towler S., Welcome S., Halderman L.K., Otto R., Eckert M.A., et al. Size matters: cerebral volume influences sex differences in neuroanatomy. *Cerebral cortex*. 2008;18(12):2920-2931. PMID: 18440950 <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn052>
- 27 Luders E., Gaser C., Narr K.L., Toga A.W. Why sex matters: brain size independent differences in gray matter distributions between men and women. *J Neurosci*. 2009;29(45):14265-14270. PMID: 19906974 <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2261-09.2009>
- 28 Lenroot R.K., Giedd J.N. Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neurosci Biobehav Rev*. 2006;30(6):718-729. PMID: 16887188 <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.06.001>
- 29 Sullivan E.V., Rosenbloom M., Serventi K.L., Pfefferbaum A. Effects of age and sex on volumes of the thalamus, pons, and cortex. *Neurobiol Aging*. 2004;25(2):185-192. PMID: 14749136 [https://doi.org/10.1016/s0197-4580\(03\)00044-7](https://doi.org/10.1016/s0197-4580(03)00044-7)
- 30 Resnick S.M., Goldszal A.F., Davatzikos C., Golski S., Kraut M.A., Metter E.J., et al. One-year age changes in MRI brain volumes in older adults. *Cereb Cortex*. 2000;10(5):464-472. PMID: 10847596 <https://doi.org/10.1093/cercor/10.5.464>
- 31 Полунина А.Г., Брюн Е.А. Нейроанатомические особенности головного мозга у мужчин и женщин. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2017;3(11):68-75. Polunina A.G., Bryun E. A. Neuroanatomic differences of the brain in males and females. *Annals Of Clinical and Experimental Neurology*. 2017;11(3):68-75. <https://doi.org/10.17816/ACEN.2017.3.10>

Авторская справка**Семибратов Николай Николаевич**

Врач-рентгенолог отделения амбулаторного лечения с дневным стационаром в составе радиотерапевтического отделения, Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический) имени Н.П. Напалкова; ассистент кафедры онкологии, детской онкологии и лучевой терапии, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет.
ORCID 0000-0002-0034-7413; nsemibr@gmail.com
Вклад автора: сбор и обработка материала, анализ полученных данных.

Фокин Владимир Александрович

Д-р мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации, Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова.
ORCID 0000-0002-2937-6322; vladfokin@mail.ru
Вклад автора: разработка концепции и дизайна исследования.

Труфанов Геннадий Евгеньевич

Д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации, Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова.
ORCID 0000-0002-1611-5000; trufanovge@mail.ru
Вклад автора: редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

Ефимцев Александр Юрьевич

Д-р мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации, ведущий научный сотрудник НИЛ лучевой визуализации, Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова.
ORCID 0000-0003-2249-1405; atralf@mail.ru
Вклад автора: сбор и обработка материала, интерпретация и анализ полученных данных.

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.
ORCID 0000-0002-1290-3659; kalyghanin@mail.ru
Вклад автора: сбор и обработка материала, анализ полученных данных.

Кондратьев Глеб Валентинович

Ассистент кафедры онкологии, детской онкологии и лучевой терапии, врач-детский онколог, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет.
ORCID 0000-0002-1462-6907; spbgvk@mail.ru
Вклад автора: поиск литературы, подготовка текста.

Левчук Анатолий Геннадьевич

Младший научный сотрудник НИЛ магнитно-резонансной томографии, Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова.
ORCID 0000-0002-8848-3136; feuerlag999@yandex.ru
Вклад автора: поиск литературы, подготовка текста.

Author's reference**Nikolay N. Semibratov**

Radiologist, Outpatient Treatment Department with Day Hospital, Radiotherapy Department, N.P. Napalkov St. Petersburg Clinical Scientific and Practical Center for Specialized Medical Care (Oncology); Assistant Professor, Department of Oncology, Pediatric Oncology, and Radiation Therapy, St. Petersburg State Pediatric Medical University.
ORCID 0000-0002-0034-7413; nsemibr@gmail.com
Author's contribution: collection and processing of material, analysis of the obtained data.

Vladimir A. Fokin

Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging, V.A. Almazov National Medical Research Center.
ORCID 0000-0002-2937-6322; vladfokin@mail.ru
Author contribution: development of the concept and design of the study.

Gennadiy E. Trufanov

Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging, V.A. Almazov National Medical Research Center.
ORCID 0000-0002-1611-5000; trufanovge@mail.ru
Author contribution: editing, approval of the final version of the article.

Aleksandr Yu. Efimtsev

Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging, Leading Researcher at the Research Laboratory of Radiation Imaging, V.A. Almazov National Medical Research Center.
ORCID 0000-0003-2249-1405; atralf@mail.ru
Author's contribution: collection and processing of material, interpretation and analysis of the obtained data.

Konstantin B. Abramov

Cand. Sci. (Med.), Deputy Chief Physician, Neurosurgeon, Russian Research Neurosurgical Institute named after Professor A.L. Polenov, a branch of the V.A. Almazov National Medical Research Center.
ORCID 0000-0002-1290-3659; kalyghanin@mail.ru
Author's contribution: collection and processing of material, analysis of the obtained data.

Gleb V. Kondrat'ev

Assistant Professor, Department of Oncology, Pediatric Oncology, and Radiation Therapy; Pediatric Oncologist, St. Petersburg State Pediatric Medical University.
ORCID 0000-0002-1462-6907; spbgvk@mail.ru
Author's contribution: literature search, text preparation.

Anatoliy G. Levchuk

Junior Researcher, Magnetic Resonance Imaging Research Laboratory, V.A. Almazov National Medical Research Center
ORCID 0000-0002-8848-3136; feuerlag999@yandex.ru
Author's contribution: literature search, text preparation.