НЕЙРОХИРУРГИЯ/NEUROSURGERY

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.90

ДИНАМИКА ЭНЦЕФАЛОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОЗОЛИСТОГО ТЕЛА И АСИММЕТРИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЛУШАРИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ ПОДРОСТКОВОГО ВОЗРАСТНОГО ПЕРИОДА

Научная статья

Байбаков С.Е.[1], Бахарева Н.С.[2], Лифенко К.О.[3,] *, Гордеева Е.К.[4], Чагиев М.А.[5], Яковлева Е.В.[6], Михайленко Д.А.[7], Авакимян С.Б.[8], Бараева Л.М.[9], Васильченко Д.А.[10], Кучерявенко В.А.[11]

[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (lifenkoksma1a0[at]gmail.com)

Аннотация

Цель исследования — изучение особенностей динамики показателей мозолистого тела и билатеральной асимметрии полушарий у детей подросткового возрастного периода. Одной из приоритетных задач современной нейроанатомии и нейрофизиологии является установление энцефалометрических вариантов нормы для морфогенеза больших полушарий и мозолистого тела у детей, и в особенности у подростков, в контексте межполушарного взаимодействия и латерализации высших нервных и психических функций при обучении и коммуникации. Нами был проведен ретроспективный анализ энцефалометрических параметров полушарий большого мозга и мозолистого тела по материалам архивных МР-томограмм головного мозга у 240 мальчиков и девочек 13–16 лет и 12–15 лет соответственно (60 человек по 30 мальчиков и девочек в каждой возрастной группе), целях рационального и эквивалентного сравнения по полу возраст был дифференцирован на 4 возрастных интервала (IIV). Динамика определялась по коэффициенту приращения параметра. По результатам исследования нам не удалось обнаружить определённую морфологическую паттерность для асимметрической изменчивости полушарий при внутригрупповом сравнении мальчиков и девочек разных возрастных интервалов. Однако были определены и статичные асимметрические различия полушарий мальчиков во всех анализируемых возрастах и правополушарная асимметрия для ширины полушарий и длин лобных и височных долей у девочек (14 и 15 лет). При анализе нейроразвития мозолистого тела установлена положительная зависимость всех параметров от пола (у мальчиков 14-ти лет; девочек 12-ти и 14-ти лет) за исключением конца подросткового возрастного периода (IV интервал), характеризующегося полным исчезновением половых различий. Для девочек характерно более стабильное нейроразвитие мозолистого тела (пики активности морфогенеза 12–13 и 13–14 лет), тогда как у мальчиков наблюдается более вариабельная модель роста, с пиком выраженных морфологических изменений в 15–16 лет. Обнаруженные в ходе половозрастной динамики морфометрические различия в билатеральной асимметрии полушарий и морфогенезе структур мозолистого тела могут быть использованы в нейровизуализации и детской неврологии как паттерны нормального развития головного мозга.

Ключевые слова: нейроразвитие, асимметрия полушарий головного мозга, половозрастная динамика, мозолистое тело, подростковый возрастной период.

DYNAMICS OF ENCEPHALOMETRIC PARAMETERS OF THE CORPUS CALLOSUM AND ASYMMETRIC VARIABILITY OF THE CEREBRAL HEMISPHERES IN TEENAGERS

Research article

Baibakov S.Y.[1], Bakhareva N.S.[2], Lifenko K.O.[3,] *, Gordeeva Y.K.[4], Chagiev M.A.[5], Yakovleva Y.V.[6], Mikhailenko D.A.[7], Avakimyan S.B.[8], Baraeva L.M.[9], Vasilchenko D.A.[10], Kucheryavenko V.A.[11]

[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] Kuban State Medical University, Krasnodar, Russian Federation

* Corresponding author (lifenkoksma1a0[at]gmail.com)

Abstract

The aim of the study is to examine the dynamics of corpus callosum indicators and hemispheric bilateral asymmetry in teenage children. One of the priority tasks of modern neuroanatomy and neurophysiology is to establish encephalometric variants of the norm for the morphogenesis of the large hemispheres and corpus callosum in children, and especially in adolescents, in the context of interhemispheric interaction and lateralisation of higher nervous and mental functions in learning and communication. We conducted a retrospective analysis of the encephalometric parameters of the cerebral hemispheres and corpus callosum based on archived MR tomograms of the brain in 240 boys and girls aged 13–16 and 12–15, respectively (60 people, 30 boys and girls in each age group). For the purposes of rational and equivalent comparison by gender, age was differentiated into four age intervals (IIV). The dynamics were determined by the augmenting factor parameter. Based on the results of the research, we were unable to detect a specific morphological pattern for the asymmetric variability of the hemispheres in the intragroup comparison of boys and girls of different age intervals. However, static asymmetrical differences between the hemispheres of boys were identified in all age groups analysed, as well as right-hemisphere asymmetry in the width of the hemispheres and the length of the frontal and temporal lobes in girls (aged 14 and 15). When analysing the neurodevelopment of the corpus callosum, a positive dependence of all parameters on gender was established (in 14-year-old boys; 12- and 14-year-old girls), except for the end of adolescence (interval IV), characterised by the complete disappearance of gender differences. Girls are characterised by more stable neurodevelopment of the corpus callosum (peaks of morphogenesis activity at 12–13 and 13–14 years), while boys show a more variable growth pattern, with a peak of pronounced morphological changes at 15–16 years. The morphometric differences in bilateral asymmetry of the hemispheres

and morphogenesis of the corpus callosum structures found in the course of sex-age dynamics can be used in neuroimaging and paediatric neurology as patterns of normal brain development.

Keywords: neurodevelopment, cerebral hemisphere asymmetry, sex-age dynamics, corpus callosum, adolescent age period.

Введение

Изучение морфометрических особенностей полушарий конечного мозга представляет значительный научный междисциплинарный интерес, особенно в аспекте нейроразвития и возникающей в ходе него половозрастной изменчивости [1]. Согласно установленным нейробиологическим концепциям, для полушарий большого мозга характерно возникновение билатеральной асимметрии, выраженность которой детерминирована половым диморфизмом [2]. При этом некоторые исследователи выдвигают гипотезы о зависимости двусторонней асимметрии церебральных структур от индивидуальных аллометрических пропорций тела, однако данные взгляды не являются общепризнанными в нейроанатомическом сообществе [2], [3], [4]. Данная вариабельность результатов обусловлена недостаточным количеством прикладных рентгенологических исследований, освещающих нормальный морфогенез энцефалометрических параметров, поскольку акцент большинства современных работ в области лучевой диагностики смещен на изучение макро- и микроанатомических структурных изменений в условиях патологии, что придает актуальность выбранной теме исследования [1], [5]. В то же время благодаря развитию таких не инвазивных методов нейровизуализации, как магнитно-резонансная томография, стало возможным прижизненное рассмотрение отдельных церебральных структур как в статическом режиме, так и в динамике с коррелятами на пол и асимметричную изменчивость в любой возрастной группе [6]. Особый интерес вызывает подростковый возрастной период, с характерными для него интенсивными гормональными изменениями, которые влияют как на целый организм, так и на его отдельные составляющие, в том числе и на нервную ткань больших полушарий и мозолистого тела [5], [7].

Общеизвестно, что по ходу полового созревания для полушарий конечного мозга мальчиков отмечается более выраженная левополушарная асимметрия, обусловленная интенсивным развитием латеритизации высших корковых функций, в то время как развитие полушарий у девочек характеризуется более равномерным и симметричным, без определённой тенденции к билатеральной асимметрии [3], [8]. В настоящий момент активно обсуждается и роль комиссурального аппарата, как ключевого в подростковом возрасте звена межполушарного взаимодействия, участвующего в формировании и закреплении типов мышления и индивидуальных поведенческих моделей [9].

Установлено, что общий размер мозолистого тела больше у мальчиков по сравнению с девочками, при этом установлены зависимые от пола модели роста объёма белого вещества, определяющие преимущественное развитие мозолистого тела [7], [8]. Так, у мальчиков-подростков отмечается преобладание миелинизированных волокон по объёму в передних и средних сегментах, в то время как у девочек — в задних [10]. Важно учитывать, что морфометрические изменения структур конечного мозга детерминированы как внутренними, физиологическими изменениями организма, так и внешними социально-гуманитарными факторами по типу адаптации в социальной среде, обучения и коммуникации в школах и учреждениях дополнительного образования, что представляет актуальность изучения асимметрической изменчивости структур полушарий и особенностей возрастной динамики мозолистого тела уже не только для лучевой диагностики в педиатрии, но и для детской нейропсихологии в контексте межполушарного взаимодействия [2]. Таким образом, целью данного исследования является изучение особенностей динамики показателей мозолистого тела и билатеральной асимметрии полушарий у детей подросткового возрастного периода.

Методы и принципы исследования

Было проведено ретроспективное исследование по материалам заключений архивных МР-томограмм головного мозга 240 мальчиков и девочек (60 человек по 30 мальчиков и девочек в каждой возрастной группе) 13–16 лет и 12–15 лет соответственно, согласно возрастной периодизации онтогенеза, принятой АПН СССР (Москва, 1965). В исследование были включены дети, в анамнезе которых не было зарегистрировано органической патологии ЦНС, психических поведенческих расстройств. В целях пропорционального сопоставления энцефалометрических структур у мальчиков и девочек в динамике, исходя из отличающихся границ для их подросткового возраста, он был разделён на 4 возрастных интервала (I — девочки 12-ти лет/мальчики 13-ти лет; II — девочки 13-ти лет/ мальчики 14-ти лет; III — девочки 14-ти лет/ мальчики 15-ти лет; IV — девочки 15-ти лет/мальчики 16-ти лет).

Были проанализированы следующие церебральные параметры:

1) высота (мм);
2) ширина (мм);
3) общий объём мозга (см^3);
4) широтно-продольный показатель мозга (%);
5) высотно-продольный показатели мозга (%);
6) длина (мм);
7) ширина (мм);
8) высота (мм);
9) широтно-продольный показатель для правого и левого полушарий (%);
10) высотно-продольный показатели для правого и левого полушарий (%);
11) длина лобной доли для правого и левого полушарий (мм);
12) длина теменной доли для правого и левого полушарий (мм);
13) длина затылочной доли для правого и левого полушарий (мм);
14) длина височной доли для правого и левого полушарий (мм).

Половозрастная изменчивость мозолистого тела оценивалась по таким морфометрическим показателям, как: общие

1) общая длина;
2) общая толщина мозолистого тела;
3) площадь поперечного сечения;
4) длина валика;
5) длина колена мозолистого тела.

Оцениваемая при сравнении выборок динамика определялась по коэффициенту приращения показателя (Wc, %), согласно формуле Шмальгаузена [10]. Количественные показатели энцефалометрических параметров полушарий и мозолистого тела оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета Statistica 12.0 (StatSoftInc., США) и Microsoft Excel 2016 (MicrosoftCorp., США) для Windows. Для сравнения средних величин в нормально распределенных совокупностях численных данных использовался t-критерий Стьюдента. Различия энцефалометрических показателей считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Основные результаты

В ходе проведения статистического анализа при внутригрупповом расчёте для большинства морфометрических параметров большого мозга нами не было определено значимых различий в межполушарной асимметрии для обоих полов. Во всех возрастных группах мальчиков выраженная межполушарная разность единична и демонстрирует статичность в виде превалирования высотно-продольного показателя для левого полушария у детей 15-ти лет (на 2,40% относительно правого полушария), а для длины височной доли у мальчиков 16-ти лет выявлена правополушарная асимметрия (разность 2,35%) (см. рис. 1).

Рисунок 1 - Различия в межполушарной асимметрии энцефалометрических показателей полушарий у мальчиков и девочек в конце подросткового периода при внутригрупповом сравнении

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.90.1

Примечание: 15-16 лет, IV возрастной интервал; здесь и далее знаками «» и «×» обозначены статистически значимые различия в группах сравнения мальчиков и девочек соответственно*

И тем не менее, полученные результаты для девочек позволили установить вектор асимметрии по ходу возрастной динамики. Так, выявлена большая ширина левого полушария в группе детей 13-ти лет (на 3,66% по сравнению с шириной правого полушария), в то время как у девочек 14-ти и 15-ти лет превалирующим по ширине становится правое полушарие (на 3,20% и 2,58% соответственно). Для девочек установлены также и следующие правополушарные асимметрические различия, имеющие статичный характер: в группе девочек 15-ти лет высота, высотно-продольный показатель и длина височной доли правого полушария превосходят аналогичные показатели левого полушария на 5,28%, 4,89%, 3,64% соответственно; в группе девочек 16-ти лет длина лобной доли правого полушария больше длины лобной доли левого на 8,21% (см. рис. 2).

Рисунок 2 - Различия в межполушарной асимметрии энцефалометрических показателей полушарий у мальчиков и девочек в 14-15 лет при внутригрупповом сравнении

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.90.2

Примечание: III возрастном интервал

При анализе половой изменчивости для параметров мозолистого тела нами выявлена положительная зависимость с мужским полом для всех оцениваемых морфометрических показателей во II возрастном интервале, в то время как для I и III интервалов длина колена и валика превалируют по процентажу у девочек (на 3,91% и 2,82% для длины колена; 2,18% и 4,78% для длины валика в I и III интервалах соответственно). Стоит отметить, что в конце подросткового возрастного периода (IV возрастной интервал) половые различия для всех структур и параметров мозолистого тела нивелируются (см. таб. 1).

Таблица 1 - Обобщение данных за половую динамику энцефалометрических показателей полушарий в четырех возрастных интервалах (I-IV)

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.90.3

Показатель/ возрастной интервал	Длина мозолистого тела (мм)	Длина колена мозолистого тела (мм)	Длина валика мозолистого тела (мм)	Толщина мозолистого тела (мм)	Площадь поперечного сечения (см²)	Превалирующие различия по полу
I	-1,31	-3,91x	-2,18x	-0,46	1,15	♀
II	3,09*	5,80*	5,68*	2,04*	3,43*	♂
III	-1,60	-2,82x	-4,78x	-0,69	7,27*	♀
IV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-

Примечание: изменчивость половых различий - Wc, %; здесь и далее знаком «» в ячейках таблицы обозначены показатели мальчиков, статистически значимо различающиеся от аналогичных структур у девочек Знаком «×» обозначены показатели девочек, статистически значимо различающиеся от аналогичных параметров мальчиков. В последней строке таблицы символ «♂»- обозначает превалирующий по количеству статистически достоверных различий мужской пол, а символ «♀» - женский*

У мальчиков было выявлено отсутствие возрастной изменчивости для длины мозолистого тела, а наименьшую пластичность и отрицательный по отношению к динамике процентаж демонстрировали его толщина и площадь поперечного сечения (см. таб. 2). Для девочек определяется иной характер изменений. Так, нами зафиксировано отсутствие динамики для толщины мозолистого тела, в то время как площадь поперечного сечения обладает наименьшей чувствительностью к изменению возрастных диапазонов (см. таб. 3).

Таблица 2 - Обобщение данных по возрастной динамике энцефалометрических показателей полушарий у девочек подросткового возрастного периода

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.90.4

Показатель	Девочки 12/13 лет	Девочки 13/14 лет	Девочки 14/15 лет	Характеристика прироста
Длина мозолистого тела (мм)	-5,80x	8,20x	-7,65x	↓↑↓
Длина колена мозолистого тела (мм)	-32,32x	21,43x	-18,87x	↓↑↓
Длина валика мозолистого тела (мм)	-12,38x	19,85x	-29,70x	↓↑↓
Толщина мозолистого тела (мм)	-20,69	1,69	-5,36	−−−
Площадь поперечного сечения (см²)	-6,67x	0,00	4,76x	↓−↑

Примечание: (изменчивость возрастных различий - Wc, %); здесь и далее в последнем столбце символ «↑» - характеризует положительную динамику для показателя с течением возраста; символ «↓» - характеризует отрицательную динамику; символ «−» обозначает отсутствие статистически достоверной динамики

Таблица 3 - Обобщение данных по возрастной динамике энцефалометрических показателей полушарий у мальчиков подросткового возрастного периода

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.90.5

Показатель	Мальчики 13/14 лет	Мальчики 14/15 лет	Мальчики 15/16 лет	Характеристика прироста
Длина мозолистого тела (мм)	6,16	-3,98	-3,38	−−−
Длина колена мозолистого тела (мм)	18,71*	-20,87*	-8,49*	↑↓↓
Длина валика мозолистого тела (мм)	18,46*	-19,27*	-7,92*	↑↓↓
Толщина мозолистого тела (мм)	13,04	-21,05*	-1,79	−↓−
Площадь поперечного сечения (см²)	0,30	1,18	-7,94*	−−↓

Примечание: изменчивость возрастных различий - Wc, %

Обсуждение

Результаты исследования не выявили статистически значимой зависимости между возрастными интервалами и динамикой асимметрической изменчивостью церебральных структур у мальчиков и девочек. Тем не менее мы можем говорить о единичных и статичных по возрастному интервалу различиях, демонстрирующих большее их значение для правого полушария у обоих полов.

При изучении половозрастной изменчивости мозолистого тела нами были установлены следующие энцефалометрические тенденции. Так, для девочек характерно более равномерное нейроразвитие в виде параболы с двумя пиками, характеризующими наиболее интенсивные морфологические возрастные изменения: в начале (группа девочек 12–13 лет) и в конце (группа девочек 14–15 лет) подросткового возраста (см. рис. 3). У мальчиков, напротив, отмечается более неравномерный морфогенез, вероятно, характеризующий становление латерализации для функций

ориентации и координации при межполушарном взаимодействии, а общий рисунок возрастной динамики соответствует логарифмической зависимости, с пиком наибольших морфологических изменений в конце полового созревания (15–16 лет) (см. рис. 4), что не противоречит данным прочих нейроанатомических исследований [8], [11].

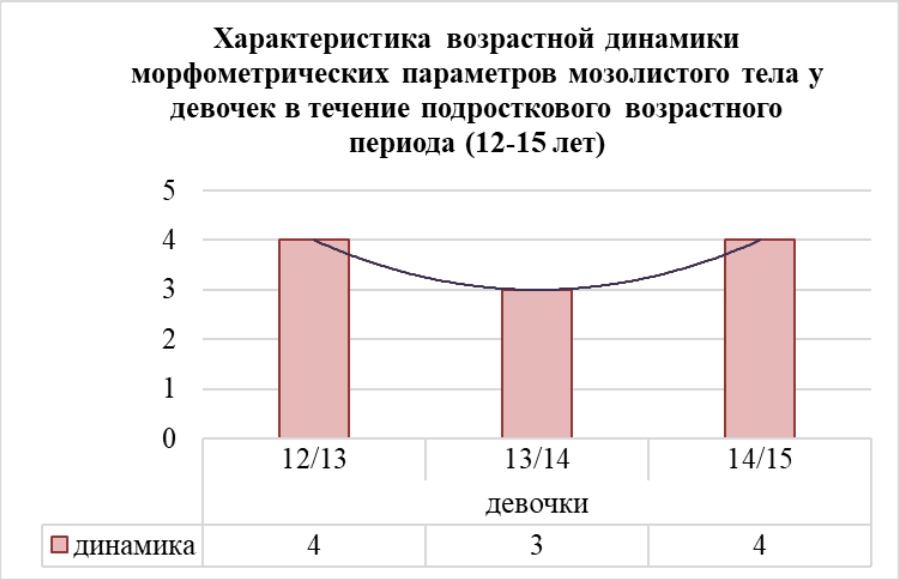

Рисунок 3 - Параболическая характеристика динамики структур мозолистого тела у девочек в течение подросткового возрастного периода
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.90.6

Примечание: 12-15 лет; здесь и далее числа на горизонтальной оси обозначают суммарное количество статистически значимых различий в трёх рассматриваемых возрастных промежутках

Рисунок 4 - Логарифмическая характеристика динамики церебральных структур мозолистого тела у мальчиков в течение подросткового возрастного периода
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.90.7

Примечание: 13-16 лет

Заключение

При изучении асимметрической изменчивости показателей полушарий головного мозга у подростков были определены нелинейные поло-зависимые модели, заключающиеся в статичной по билатеральной асимметрии

изменчивости полушарий у мальчиков в течение всего периода полового созревания, и правополушарной асимметрии для ширины полушарий, длины лобных и височных долей у девочек 14-ти и 15-ти лет. При исследовании гендерной изменчивости структур мозолистого тела была установлена положительная динамика по всем параметрам у мальчиков 14-ти лет, и девочек 12-ти и 14 лет, при этом в конце подросткового возраста половые различия нивелируются. Возрастная динамика морфогенеза мозолистого тела у девочек является более стабильной, с пиками наиболее интенсивного развития в 12–13 и 14–15 лет, в то время как у мальчиков динамика параметров мозолистого тела характеризуется более наиболее неравномерным развитием, с пиком в 15–16 лет.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Баландин А.А. Возрастные изменения площади мозолистого тела человека / А.А. Баландин, Г.С. Юрушбаева, И.А. Баландина // Человек и его здоровье. — 2022. — Т. 25. — № 2. — С. 64–69. — DOI: 10.21626/vestnik/2022-2/06.

2. Ковязина М.С. Гендерные и мануальные различия и мозолистое тело (обзор литературы) / М.С. Ковязина // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. — 2013. — № 3. — С. 102–111.

3. Luders E. The development of the corpus callosum in the healthy human brain / E. Luders, P.M. Thompson, A.W. Toga // J. Neurosci. — 2010. — Vol. 30. — № 33. — P. 10985–10990. — DOI: 10.1523/JNEUROSCI.5122-09.2010.

4. Бахарева Н.С. Гендерные различия морфометрических параметров полушарий головного мозга у детей двенадцатилетнего возраста / Н.С. Бахарева, С.Б. Авакимян, Л.М. Бараева [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. — 2024. — № 9 (147).

5. Kurth F. Development of sex differences in the human brain / F. Kurth, C. Gaser, E. Luders // Cogn. Neurosci. — 2020. — P. 1–13. — DOI: 10.1080/17588928.2020.1800617.

6. Ardekani B.A. Sexual dimorphism in the human corpus callosum: an MRI study using the OASIS brain database / B.A. Ardekani, K. Figarsky, J.J. Sidtis // Cereb. Cortex. — 2013. — Vol. 23. — № 10. — P. 2514–2520. — DOI: 10.1093/cercor/bhs331.

7. Lenroot R.K. Sex differences in the adolescent brain / R.K. Lenroot, J.N. Giedd // Brain Cogn. — 2010. — Vol. 72. — № 1. — P. 46–55. — DOI: 10.1016/j.bandc.2009.10.008.

8. Al-Hadidi M.T. Gender and age-related differences in the morphometry of corpus callosum: MRI study / M.T. Al-Hadidi, H.M. Kalbouneh, A. Ramzy [et al.] // European Journal of Anatomy. — 2021. — Vol. 25. — № 1. — P. 15–24.

9. Баландин А.А. Возрастная корреляционная взаимосвязь показателей площадей мозолистого тела и ствола головного мозга / А.А. Баландин, Г.С. Юрушбаева, И.А. Баландина // Сибирский научный медицинский журнал. — 2022. — Т. 42. — № 3. — С. 70–75. — DOI: 10.18699/SSMJ20220309.

10. Байбаков С.Е. Динамика морфометрических параметров боковых желудочков у детей подросткового возрастного периода / С.Е. Байбаков, Н.С. Бахарева, К.О. Лифенко [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. — 2025. — № 10 (160).

11. Schmied A. Sex differences associated with corpus callosum development in human infants: A longitudinal multimodal imaging study / A. Schmied, S. Soda, G. Gerig [et al.] // Neuroimage. — 2020. — Vol. 215. — P. 116821. — DOI: 10.1016/j.neuroimage.2020.116821.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Balandin A.A. Vozrastnie izmeneniya ploshchadi mozolistogo tela cheloveka [Age-related changes in the area of the human corpus callosum] / A.A. Balandin, G.S. Yurushbaeva, I.A. Balandina // Chelovek i yego zdorove [Man and his health]. — 2022. — Vol. 25. — № 2. — P. 64–69. — DOI: 10.21626/vestnik/2022-2/06. [in Russian]

2. Kovyazina M.S. Gendernie i manualnie razlichiya i mozolistoe telo (obzor literaturi) [Gender and manual differences and the corpus callosum (literature review)] / M.S. Kovyazina // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14. Psikhologiya [Bulletin of the Moscow University. Episode 14. Psychology]. — 2013. — № 3. — P. 102–111. [in Russian]

3. Luders E. The development of the corpus callosum in the healthy human brain / E. Luders, P.M. Thompson, A.W. Toga // J. Neurosci. — 2010. — Vol. 30. — № 33. — P. 10985–10990. — DOI: 10.1523/JNEUROSCI.5122-09.2010.

4. Bakhareva N.S. Gendernie razlichiya morfometricheskikh parametrov polusharii golovnogo mozga u detei dvenadtsatiletnego vozrasta [Gender differences in morphometric parameters of cerebral hemispheres in twelve-year-old children] / N.S. Bakhareva, S.B. Avakimyan, L.M. Baraeva [et al.] // Mezhdunarodnii nauchno-issledovatelskii zhurnal [International Research Journal]. — 2024. — № 9 (147). [in Russian]

5. Kurth F. Development of sex differences in the human brain / F. Kurth, C. Gaser, E. Luders // Cogn. Neurosci. — 2020. — P. 1–13. — DOI: 10.1080/17588928.2020.1800617.

6. Ardekani B.A. Sexual dimorphism in the human corpus callosum: an MRI study using the OASIS brain database / B.A. Ardekani, K. Figarsky, J.J. Sidtis // Cereb. Cortex. — 2013. — Vol. 23. — № 10. — P. 2514–2520. — DOI: 10.1093/cercor/bhs331.

7. Lenroot R.K. Sex differences in the adolescent brain / R.K. Lenroot, J.N. Giedd // Brain Cogn. — 2010. — Vol. 72. — № 1. — P. 46–55. — DOI: 10.1016/j.bandc.2009.10.008.

8. Al-Hadidi M.T. Gender and age-related differences in the morphometry of corpus callosum: MRI study / M.T. Al-Hadidi, H.M. Kalbouneh, A. Ramzy [et al.] // European Journal of Anatomy. — 2021. — Vol. 25. — № 1. — P. 15–24.

9. Balandin A.A. Vozrastnaya korrelyatsionnaya vzaimosvyaz pokazatelei ploshchadei mozolistogo tela i stvola golovnogo mozga [Age-related correlation between the areas of the corpus callosum and the brain stem] / A.A. Balandin, G.S. Yurushbaeva, I.A. Balandina // Sibirskii nauchnii meditsinskii zhurnal [Siberian Scientific Medical Journal]. — 2022. — Vol. 42. — № 3. — P. 70–75. — DOI: 10.18699/SSMJ20220309. [in Russian]

10. Baibakov S.E. Dinamika morfometricheskikh parametrov bokovikh zheludochkov u detei podrostkovogo vozrastnogo perioda [Dynamics of morphometric parameters of the lateral ventricles in children of adolescent age] / S.E. Baibakov, N.S. Bakhareva, K.O. Lifenko [et al.] // Mezhdunarodnii nauchno-issledovatelskii zhurnal [International Research Journal]. — 2025. — № 10 (160). [in Russian]

11. Schmied A. Sex differences associated with corpus callosum development in human infants: A longitudinal multimodal imaging study / A. Schmied, S. Soda, G. Gerig [et al.] // Neuroimage. — 2020. — Vol. 215. — P. 116821. — DOI: 10.1016/j.neuroimage.2020.116821.