

НЕЙРОХИРУРГИЯ/NEUROSURGERY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.83> EDN: OMDSDG

ДИНАМИКА ЭНЦЕФАЛОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОМБОВИДНОГО МОЗГА У ДЕВОЧЕК ПОДРОСТКОВОГО ВОЗРАСТНОГО ПЕРИОДА

Научная статья

Байбаков С.Е.¹, Бахарева Н.С.², Лифенко К.О.^{3,*}, Шанявский С.А.⁴, Гордеева Е.К.⁵, Яковлева Е.В.⁶, Чагиев М.А.⁷, Авакимян С.Б.⁸, Чернышев И.А.⁹^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9} Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Российская Федерация

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

Предложена: 05.07.2026; Принята: 05.08.2026; Опубликовано: 17.09.2026

Аннотация

В статье приводятся особенности вариантной нейроанатомии ромбовидного мозга у девочек подросткового возраста. Актуальность исследования определена высокой подверженностью девочек невротическими расстройствам в течение полового созревания. Оценка энцефалометрических показателей структур задней черепной ямки и траекторий их морфогенеза является перспективным направлением в ранней диагностике пограничных состояний в детской психоневрологии. Проведено ретроспективное исследование по данным архивных МР-томограмм. Были включены 120 девочек 12–15 лет (группы по 30 человек в соответствии с возрастом) без органических заболеваний ЦНС и психических расстройств. Рассмотрены морфометрические параметры продолговатого мозга, моста и мозжечка, динамика прироста объема которых рассчитывалась по методу Шмальгаузена.

У девочек пубертатного возраста был установлен паттерн морфогенеза ромбовидного мозга в виде нелинейной кривой с двумя пиками реорганизации в 12–13 лет (первый) и 14–15 лет (второй). «Первый пик» преобразований демонстрирует преждевременное появление синаптического прунинга, что указывает на модулирующее влияние концентраций эстрогенов. Второй подъем в нелинейной кривой указывает на завершающуюся миелинизацию и становление структур задней черепной ямки. Выявлен сдвиг «критического звена» морфогенетической пластичности относительно аналогичных показателей у мальчиков, свидетельствующий об опережении становления ЦНС у лиц женского пола. Превалирование правосторонней асимметрии у девочек является потенциально интересным вектором для дальнейших исследований полового диморфизма мозжечка. Выделенные закономерности реорганизации энцефалометрических параметров могут быть интегрированы в детскую нейрорадиологию как объективные предикторы нормального нейроразвития ромбовидного мозга.

Ключевые слова: ромбовидный мозг, девочки, энцефалометрические показатели, подростковый возраст, синаптический прунинг, эстрогеновое влияние.

CHANGES IN ENCEPHALOMETRIC PARAMETERS OF THE RHOMBENCEPHALON IN TEENAGE GIRLS

Research article

Baibakov S.Y.¹, Bakhareva N.S.², Lifenko K.O.^{3,*}, Shanyavskii S.A.⁴, Gordeeva Y.K.⁵, Yakovleva Y.V.⁶, Chagiev M.A.⁷, Avakimyan S.B.⁸, Chernishev I.A.⁹^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9} Kuban State Medical University, Krasnodar, Russian Federation

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

Suggested: 05.07.2026; Accepted: 05.08.2026; Published: 17.09.2026

Abstract

The article presents the specifics of the variant neuroanatomy of the rhombencephalon in teenage girls. The relevance of the study lies in the high susceptibility of girls to neurotic disorders during puberty. The evaluation of encephalometric parameters of the structures of the posterior cranial fossa and the trajectories of their morphogenesis represents a promising area in the early diagnosis of borderline conditions in paediatric psychoneurology. A retrospective analysis of archived MRI scans was conducted. The study included 120 girls aged 12–15 years (divided into groups of 30 according to age) without organic central nervous system disorders or mental disorders. Morphometric parameters of the medulla oblongata, pons and cerebellum were examined, and the dynamics of their volume increase were calculated using the Schmalhausen method.

In girls of pubertal age, a pattern of rhombencephalon morphogenesis was observed in the form of a non-linear curve with two peaks of reorganisation at 12–13 years (the first) and 14–15 years (the second). The ‘first peak’ of these changes demonstrates the premature onset of synaptic pruning, indicating a modulatory effect of estrogen concentrations. The second rise in the non-linear curve indicates the completion of myelination and the development of structures in the posterior fossa. A shift in the ‘critical point’ of morphogenetic plasticity relative to corresponding indicators in boys has been identified, indicating that the development of the central nervous system is more advanced in females. The prevalence of right-sided asymmetry in girls represents a potentially interesting avenue for further research into sexual dimorphism of the cerebellum. The identified patterns of reorganisation of encephalometric parameters may be incorporated into paediatric neuroradiology as objective predictors of normal neurodevelopment of the cerebellum.

Keywords: rhombencephalon, girls, encephalometric parameters, adolescence, synaptic pruning, oestrogenic effects.

Введение

Большинство представленных в педиатрической нейрорадиологии магнитно-резонансных исследований по морфометрии и вариантной анатомии структур ромбовидного мозга у детей подросткового возраста базируются на усреднённых выборках, объединяющих широкие возрастные диапазоны [1], [2]. Стоит отметить, что рассмотрение средних значений исключительно в рамках возрастных периодизаций и без учёта хронофизиологических интервалов для подростков нивелирует влияние пубертатного гормонального статуса на прирост белого вещества [3].

В отличие от мальчиков, динамика прироста объёма белого вещества у девочек характеризуется более ранним началом, соответствующему периоду второго детства и иными сроками достижения плато линейных показателей [4]. Таким образом, известные критерии «нормы», полученные в результате анализа смешанных или мужских выборок, не могут быть корректно экстраполированы в возрастную нейроанатомию для женской популяции.

Актуальность изучения вариантной нейроанатомии ромбовидного мозга у девочек подросткового возраста обусловлена высокой частотой манифестации невротических нарушений по типу тревожной депрессии и расстройств пищевого поведения. Согласно данным нейровизуализации, патогенез данных заболеваний ассоциирован с дезорганизацией локальных проводящих путей ствола мозга и дисфункцией червя мозжечка [5].

Тем не менее, интерпретация и валидация морфологических предикторов для нейропсихиатрических нарушений у девочек невозможны без сопоставления с нормативными половозрастными показателями церебеллярных и стволовых структур, учитывающими динамику созревания ромбовидного мозга у здоровых сверстниц из контрольных групп [6].

Определено, что в морфогенезе ромбовидного мозга у девочек отмечается взаимосвязь с возрастными колебаниями концентраций эстрадиола. Так, в период становления оварио-менструального цикла высвобождение эстрогенов в динамике модулирует процессы дендритной организации по типу очагового синаптогенеза и синаптического прунинга в таких структурах задней черепной ямки как кора мозжечка и ядра моста, что требует оценки гетерогенности энцефалометрических показателей в узких хронологических промежутках [3].

Отмечающийся в лучевой диагностике дефицит исследований, в которых была бы предусмотрена сравнительная морфометрия ствола и мозжечка у девочек в разные хронологические периоды подросткового возраста, существенно затрудняет объективную оценку морфологической зрелости структур задней черепной ямки [7], [8]. Систематизация сведений о нормальном нейроморфогенезе ромбовидного мозга у подростков женского пола представляет собой важное направление детской нейрорадиологии. Оценка динамики позволяет не только установить диапазоны «морфологической нормы», но и выявить потенциальные предикторы психоневрологических нарушений, манифестирующих в подростковом возрасте [6]. Цель настоящего исследования — изучение динамики энцефалометрических параметров ромбовидного мозга у девочек в подростковом возрасте.

Методы и принципы исследования

В ходе ретроспективного анализа были рассмотрены заключения МР-томограмм (аппараты Leona 6400 и Immtop с напряженностью магнитного поля 0,15 Тл и 0,23 Тл соответственно) головного мозга 120 девочек в возрасте от 12 до 15 лет, разделённых на четыре возрастные подгруппы (по 30 наблюдений в каждой подгруппе). Критерием включения являлось отсутствие у девочек органической патологии ЦНС и психических нарушений. Были изучены следующие энцефалометрические показатели (см. таб. 1):

Таблица 1 - Совокупность линейных энцефалометрических показателей ромбовидного мозга, включенных в протокол МР-морфометрии

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.83.1>

Исследуемая структура ромбовидного мозга:	Исследуемые энцефалометрические параметры (мм)
Продолговатый мозг (бульбарные размеры)	продольный размер продолговатого мозга
	вертикальный размер продолговатого мозга на уровне верхней границы
	вертикальный размер продолговатого мозга на уровне нижней границы
Варолиев мост (понтинные размеры)	продольный размер моста
	вертикальный размер моста
Мозжечок (церебеллярные размеры)	продольный размер червя мозжечка
	вертикальный размер червя мозжечка
	продольный размер правого и левого полушария мозжечка
	поперечный размер мозжечка
	поперечный размер правого и левого полушария мозжечка
	вертикальный размер правого и левого полушария мозжечка

Оценка динамики при сравнении возрастных групп проводилась путём расчёта коэффициента прироста (W_c , %), согласно методике Шмальгаузена. Проверка соответствия морфометрических параметров ромбовидного мозга закону нормального распределения выполнялась с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Накопление, систематизация и первичная обработка цифровых данных осуществлялась в программе Microsoft Excel 2019 (Microsoft Corp., США). Статистический анализ произведен с использованием пакета Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). Достоверность различий оценивалась параметрическим t -критерием Стьюдента. Результаты исследования считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Основные результаты

По результатам статистического исследования были выявлены следующие тенденции морфогенеза среди смежных возрастных подгрупп девочек подросткового возраста, характеризующиеся чередованием увеличения и уменьшения энцефалометрических параметров (см. таб. 2).

Таблица 2 - Обобщение данных по возрастной динамике энцефалометрических показателей ромбовидного мозга (изменчивость возрастных различий) у девочек подросткового возрастного периода

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.83.2>

Исследуемый показатель:	12/13 лет	13/14 лет	14/15 лет	Характеристика прироста
Длина моста	-10,6*±2,4	1,8±2,2	14,2*±2,4	↓—↑
Высота моста	-8,7*±1,6	0,2±0,7	-20,1*±2,5	↓—↓
Длина продолговатого мозга	8,0*±3,3	-0,01±2,2	23,2*±3,8	↑—↑
Высота прод. мозга (верх. граница)	-15,9*±1,7	0,7±1,1	17,7*±2,1	↓—↑
Высота прод. мозга (нижн. граница)	-16,4*±1,6	4,0±2,3	24,9*±2,7	↓—↑
Длина червя мозжечка	-19,4*±5,6	-2,0±3,8	9,1*±3,3	↓—↑
Высота червя мозжечка	35,2*±7,6	1,5±2,3	18,8*±4,6	↑—↑
Длина полушарий мозжечка_Пр.	-1,8*±0,8	0,6±1,2	10,1*±4,1	↓—↑
Длина полушарий мозжечка_Лев.	-2,2*±1,1	0,01±1,3	12,7*±5,2	↓—↑
Ширина мозжечка	-3,0*±1,4	-0,12±3,4	4,7*±2,2	↓—↑
Ширина полушарий мозжечка_Пр.	-0,5±0,7	0,03±1,5	4,1*±1,9	—↑
Ширина полушарий мозжечка_Лев.	-5,2*±2,7	1,3±2,4	3,4*±1,4	↓—↑
Высота полушарий мозжечка_Пр.	-14,2*±4,9	-2,5±3,3	7,2*±3,6	↓—↑
Высота полушарий мозжечка_Лев.	-16,1*±5,2	2,9*±1,3	-2,5*±1,3	↓—↓

Примечание: ± возрастных различий — W_c , %; знаком «*» в ячейках таблицы обозначены статистически значимые для возрастной динамики показатели девочек; в последнем столбце символ «↑» — характеризует положительную динамику для показателя с течением возраста; символ «↓» — характеризует отрицательную динамику; символ «—» обозначает отсутствие статистически достоверной динамики

Так, в группе девочек 12–13 лет наблюдается статистически достоверное уменьшение линейных размеров для большинства церебеллярных и стволовых структур, за исключением продольного размера продолговатого мозга и вертикального размера червя мозжечка, для которых характерен прирост на 8,0% и 35,2% соответственно.

В группе девочек 13–14 лет статистически значимым стало увеличение вертикального размера левого полушария мозжечка на 2,9%. Для других параметров статистически достоверных различий не выявлено.

В группе девочек 14–15 лет в целом наблюдается положительная динамика, а уменьшение морфометрических параметров выявлено для высоты моста и левого полушария мозжечка на 20,1% и на 2,5% соответственно.

Обсуждение

При интерпретации динамики созревания структур ромбовидного мозга у девочек подросткового возраста нами был сформирован паттерн нейроморфогенеза, характеризующийся нелинейной (параболической) зависимостью статистически значимых изменений от возрастных диапазонов.

Полученные данные, демонстрируют смещение «критической точки» морфологической пластичности на более ранний возраст по сравнению с группами подростков мальчиков. Это согласуется с общемировыми концепциями об опережающем созревании ЦНС у лиц женского пола [9].

Для возрастной группы 12–13 лет отмечается преобладание статистически значимых энцефалометрических показателей с уменьшением линейных размеров («первый пик»), что, вероятно, отражает раннюю активность синаптического прунинга, обусловленную колебаниями концентраций эстрадиола и началом оварио-менструального цикла (см. рис. 1).



Рисунок 1 - Нелинейная (параболическая) характеристика динамики параметров мозжечка и ствола мозга у девочек в течение подросткового возрастного периода (12–15 лет).

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.83.3>

Примечание: числа на горизонтальной оси обозначают суммарное количество статистически значимых различий для в трёх рассматриваемых возрастных промежутках.

Интерес представляет выявленное уменьшение ширины левой гемисферы мозжечка (на 5,2%) у девочек 12–13 лет, что, вероятно, связано с дисхронией нейроразвития правого и левого полушарий в ходе полового созревания, что согласуется с концепциями о половом диморфизме мозжечковой асимметрии [10].

У девочек 13–14 лет наблюдается изолированное увеличение высоты левого полушария, что также отмечалось и у мальчиков [11]. Доминирование линейных размеров левой гемисферы, возможно, отражает стабилизацию нейроразвития у девочек данного возрастного интервала и объясняется адаптацией к гормональным изменениям, на фоне которых объём белого вещества продолжает нарастать более равномерно [3]. Наибольшее количество статистически значимых изменений с увеличением объёма белого вещества для показателей было установлено для группы девочек 14–15 лет («второй пик»). В этот период наблюдается завершение миелинизации и реорганизации структур ромбовидного мозга, что проявляется в увеличении длины моста (на 14,2%) и передне-заднего размера продолговатого мозга (на +17,7% и 24,9% на уровне верхней и нижней границы соответственно).

Выявленная динамика совпадает с пиками гормональной активности у девочек подростков в течение полового созревания, что подтверждает положения о модулирующем эффекте производных эстрогенов на процессы нейропластичности [3].

Заключение

При изучении возрастной динамики структур ствола мозга и мозжечка у девочек подросткового возраста был установлен квадратичный характер изменений в созревании. Выявлены два «пика» реорганизации: в начале подросткового возраста (13 из 14 параметров для интервала 12–13 лет) с преимущественным уменьшением размеров; в конце подросткового возраста (все параметры для интервала 14–15 лет) с преимущественным увеличением. Установленное преобладание правосторонней асимметрии у девочек представляет интерес в последующем изучении полового диморфизма в асимметрической изменчивости. Перспективным представляется дальнейшее исследование взаимосвязи динамики морфогенеза ромбовидного мозга, но уже с акцентуацией на возрастные интервалы согласно пубертатному статусу подростков.

**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. ACNP 62nd Annual Meeting: Poster Abstracts // Neuropsychopharmacology. — 2024. — Vol. 49. — Suppl. 1. — P. 65–235.
2. 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 // Cerebral Cortex. — 2012. — Vol. 22. — № 1. — P. 1–12.
3. Gottschewsky N. Menarche, pubertal timing and the brain: female-specific patterns of brain maturation beyond age-related development / N. Gottschewsky, D. Kraft, T. Kaufmann // Biology of Sex Differences. — 2024. — Vol. 15. — Art. № 25.
4. Lenroot R.K. Sex differences in the adolescent brain / R.K. Lenroot, J.N. Giedd // Brain and Cognition. — 2010. — Vol. 72. — № 1. — P. 46–55.
5. Kaczkurkin A.N. Sex differences in the developing brain: insights from multimodal neuroimaging / A.N. Kaczkurkin, A. Raznahan, T.D. Satterthwaite // Neuropsychopharmacology. — 2019. — Vol. 44. — № 1. — P. 71–85.
6. Jandeaux C. Biometry of the Cerebellar Vermis and Brain Stem in Children: MR Imaging Reference Data from Measurements in 718 Children / C. Jandeaux, G. Kuchcinski, C. Temyck [et al.] // American Journal of Neuroradiology. — 2019. — Vol. 40. — P. 1835–1841.
7. Mills K.L. Inter-individual variability in structural brain development from late childhood to young adulthood / K.L. Mills, K.D. Siegmund, C.K. Tamnes [et al.] // NeuroImage. — 2021. — Vol. 242. — Art. № 118450.
8. Metwally M.I. Neuroanatomical MRI study: reference values for the measurements of brainstem, cerebellar vermis, and peduncles / M.I. Metwally, M.A.A. Basha, G.A. AbdelHamid [et al.] // British Journal of Radiology. — 2021. — Vol. 94. — № 1120. — Art. № 20201353. — DOI: 10.1259/bjr.20201353.
9. Mills K.L. Structural brain development between childhood and adulthood: convergence across four longitudinal samples / K.L. Mills, A.-L. Goddings, M.M. Herting [et al.] // NeuroImage. — 2016. — Vol. 141. — P. 273–281.
10. Rice L.C. Sex Differences and Behavioral Associations with Typically Developing Pediatric Regional Cerebellar Gray Matter Volume / L.C. Rice, R.N. Rochowiak, M.R. Plotkin [et al.] // Cerebellum. — 2024. — Vol. 23. — № 2. — P. 589–600.
11. Байбаков С.Е. Динамика энцефалометрических параметров ромбовидного мозга у мальчиков подросткового возрастного периода / С.Е. Байбаков, Н.С. Бахарева, К.О. Лифенко [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. — 2026. — № 167.

Список литературы на английском языке / References in English

1. ACNP 62nd Annual Meeting: Poster Abstracts // Neuropsychopharmacology. — 2024. — Vol. 49. — Suppl. 1. — P. 65–235.
2. 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 // Cerebral Cortex. — 2012. — Vol. 22. — № 1. — P. 1–12.
3. Gottschewsky N. Menarche, pubertal timing and the brain: female-specific patterns of brain maturation beyond age-related development / N. Gottschewsky, D. Kraft, T. Kaufmann // Biology of Sex Differences. — 2024. — Vol. 15. — Art. № 25.
4. Lenroot R.K. Sex differences in the adolescent brain / R.K. Lenroot, J.N. Giedd // Brain and Cognition. — 2010. — Vol. 72. — № 1. — P. 46–55.
5. Kaczkurkin A.N. Sex differences in the developing brain: insights from multimodal neuroimaging / A.N. Kaczkurkin, A. Raznahan, T.D. Satterthwaite // Neuropsychopharmacology. — 2019. — Vol. 44. — № 1. — P. 71–85.
6. Jandeaux C. Biometry of the Cerebellar Vermis and Brain Stem in Children: MR Imaging Reference Data from Measurements in 718 Children / C. Jandeaux, G. Kuchcinski, C. Temyck [et al.] // American Journal of Neuroradiology. — 2019. — Vol. 40. — P. 1835–1841.
7. Mills K.L. Inter-individual variability in structural brain development from late childhood to young adulthood / K.L. Mills, K.D. Siegmund, C.K. Tamnes [et al.] // NeuroImage. — 2021. — Vol. 242. — Art. № 118450.
8. Metwally M.I. Neuroanatomical MRI study: reference values for the measurements of brainstem, cerebellar vermis, and peduncles / M.I. Metwally, M.A.A. Basha, G.A. AbdelHamid [et al.] // British Journal of Radiology. — 2021. — Vol. 94. — № 1120. — Art. № 20201353. — DOI: 10.1259/bjr.20201353.
9. Mills K.L. Structural brain development between childhood and adulthood: convergence across four longitudinal samples / K.L. Mills, A.-L. Goddings, M.M. Herting [et al.] // NeuroImage. — 2016. — Vol. 141. — P. 273–281.
10. Rice L.C. Sex Differences and Behavioral Associations with Typically Developing Pediatric Regional Cerebellar Gray Matter Volume / L.C. Rice, R.N. Rochowiak, M.R. Plotkin [et al.] // Cerebellum. — 2024. — Vol. 23. — № 2. — P. 589–600.
11. Baibakov S.E. Dinamika entsefalometricheskikh parametrov rombovidnogo mozga u mal'chikov podrostkovogo voznrastnogo perioda [Dynamics of encephalometric parameters of the rhombencephalon in adolescent boys] / S.E. Baibakov,



N.S. Bakhareva, K.O. Lifenko [et al.] // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. — 2026. — № 167. [in Russian]