

НЕЙРОХИРУРГИЯ/NEUROSURGERY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.22>

ДИНАМИКА ЭНЦЕФАЛОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУШАРИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА У МАЛЬЧИКОВ ПОДРОСТКОВОГО ВОЗРАСТНОГО ПЕРИОДА

Научная статья

Байбаков С.Е.¹, Бахарева Н.С.², Туровая А.Ю.³, Лифенко К.О.^{4*}, Гордеева Е.К.⁵, Чагиев М.А.⁶, Михайленко Д.А.⁷, Потёмкин Г.В.⁸, Бараева Л.М.⁹, Васильченко Д.А.¹⁰^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10} Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Российская Федерация

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

Аннотация

Цель исследования — изучение динамики энцефалометрических параметров полушарий головного мозга у мальчиков подросткового возрастного периода.

Несмотря на стремительное развитие методов нейровизуализации в изучении изменчивости церебральных структур у взрослых людей, отмечается недостаточное количество исследований, рассматривающих нормальное морфологическое развитие большого мозга, и, в частности, полушарий в контексте половозрастных различий у детей подросткового возраста. В то же время доказана взаимосвязь вариативных и отклоняющихся от «нормы» структурных изменений с рядом психоневрологических заболеваний, дебютирующих в подростковом возрасте, что представляет актуальное направление в детской неврологии и психиатрии, а также лучевой диагностике при рассмотрении критериев нормального морфогенеза и диагностических предикторов.

Было проведено ретроспективное исследование по материалам архивных МР-томограмм головного мозга 120 мальчиков (30 мальчиков для каждой возрастной группы) 13–16 лет. Были проанализированы энцефалометрические показатели мозга, обоих полушарий и формирующих их долей. Оценка динамики определялась по коэффициенту приращения параметра.

По результатам анализа, нами была сформирована половозрастная модель динамики церебральных структур для мальчиков в виде нелинейной кривой с пиками наибольших энцефалометрических изменений в конце подросткового возрастного периода. Установлено, что у мальчиков идет двусторонний рост четырех долей, при этом наиболее последовательными по возрастным интервалам в приросте являются затылочные доли.

Обнаруженные в ходе половозрастной динамики энцефалометрические различия в приросте могут использоваться в детской рентгенологии как критерии нормального нейроразвития полушарий большого мозга.

Ключевые слова: полушария конечного мозга, мальчики, возрастная динамика, энцефалометрические показатели, подростковый возрастной период.

DYNAMICS OF ENCEPHALOMETRIC PARAMETERS OF THE CEREBRAL HEMISPHERES IN TEENAGE BOYS

Research article

Baibakov S.Y.¹, Bakhareva N.S.², Turovaya A.Y.³, Lifenko K.O.^{4*}, Gordeeva Y.K.⁵, Chagiev M.A.⁶, Mikhailenko D.A.⁷, Potyomkin G.V.⁸, Baraeva L.M.⁹, Vasilchenko D.A.¹⁰^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10} 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 encephalometric parameters of the cerebral hemispheres in teenage boys.

Despite the rapid development of neuroimaging methods in the study of variability in cerebral structures in adults, there is a lack of research examining the normal morphological development of the cerebrum, and in particular the hemispheres, in the context of sex and age differences in teenage children. At the same time, a correlation has been proven between variable and deviating structural changes and a number of psychoneurological disorders that debut in adolescence, which is a relevant area of research in paediatric neurology and psychiatry, as well as in radiological diagnostics when reviewing the criteria for normal morphogenesis and diagnostic predictors.

A retrospective study was conducted using archived MR tomograms of the brains of 120 boys (30 boys for each age group) aged 13–16 years. Encephalometric indicators of the brain, both hemispheres, and their lobes were analysed. The evaluation of dynamics was determined by the parameter increment coefficient.

Based on the results of the analysis, we developed a gender-age model of cerebral structure dynamics for boys in the form of a nonlinear curve with peaks of the greatest encephalometric changes at the end of adolescence. It was established that boys experience bilateral growth of four lobes, with the occipital lobes showing the most consistent growth across age intervals.

The encephalometric differences in growth detected during sex-age dynamics can be used in paediatric radiology as criteria for normal neurodevelopment of the cerebral hemispheres.

Keywords: hemispheres of the end brain, boys, age dynamics, encephalometric parameters, adolescent age period.

Введение

С внедрением в нейроанатомию неинвазивных методов исследования, в частности магнитно-резонансной томографии, стали общеизвестны фундаментальные вопросы, касающиеся закономерностей нормального нейроморфогенеза головного мозга и составляющих его отделов [1]. Однако существующие исследования в области анатомической изменчивости церебральных структур в своём большинстве рассматривают совокупность морфологических параметров для взрослых людей с акцентуацией на пожилой и старческий возраст либо в динамике соответствующих диапазонов возрастов, либо непосредственно на момент их изучения. В то же время для лучевой диагностики в педиатрии, в частности для детей подросткового возраста, отмечается недостаточное количество прикладных исследований, представляющих актуальное направление как в изучении общих морфологических закономерностей развивающегося головного мозга в контексте пола, так и последующей интерпретации данных нейровизуализации в клинике [2].

Действительно, установлена роль подросткового возраста, как одного из ключевых в развитии мозга, и особенно его полушарий, и обуславливающего наиболее значимые по их динамике и количественным изменениям в гисто- и миелоархитектонике морфологические изменения, что, в свою очередь, определено влиянием пиков гормональной активности при половом созревании [3], [4]. И тем не менее частью исследователей сообщается о спорной роли полового фактора в динамике морфологии полушарий у подростков, ссылаясь на многовариантность индивидуальных аллометрических пропорций тела, как доминирующий в их развитии параметр [5], [6]. Стоит отметить, что развивающаяся с определённой частотой и интенсивностью проявлений у детей подросткового возраста, и в частности для мальчиков, разная психоневрологическая симптоматика, позволила не только доказать гипотезы о взаимосвязи специфических морфофункциональных изменений полушарий с такими детскими расстройствами, как тикозные гиперкинезы и синдром дефицита внимания и гиперактивности, но и интегрировать полученные результаты, как этиопатогенетическое звено, в их нозологию [7], [8], [9].

Анализ энцефалометрических характеристик полушарий конечного мозга с последующим выведением моделей их нормального морфогенеза у мальчиков подросткового возраста, с оценкой их морфометрических вариативных показателей в контексте возрастной церебральной динамики является актуальным направлением не только для нейроанатомии, но и для лучевой диагностики в педиатрии, а полученные в качестве «эталонов» морфометрические данные от «нормы» предоставят возможность разработки диагностических предикторов для ряда психоневрологических расстройств с началом или экспрессией симптоматики в подростковом возрасте [1]. Целью данного исследования является изучение динамики энцефалометрических параметров полушарий головного мозга у мальчиков подросткового возрастного периода.

Методы и принципы исследования

Было проведено ретроспективное исследование по материалам архивных МР-томограмм головного мозга 120 мальчиков (30 мальчиков для каждой возрастной группы) 13–16 лет, согласно возрастной периодизации онтогенеза, принятой АПН СССР (Москва, 1965). В исследование были включены дети, в анамнезе которых не были задокументированы органические заболевания ЦНС, психические и поведенческие расстройства.

Были проанализированы следующие энцефалометрические параметры:

- 1) высота (мм);
- 2) ширина (мм);
- 3) общий объём мозга (см³);
- 4) широтно-продольный показатель мозга (%);
- 5) высотно-продольный показатель мозга (%);
- 6) длина (мм)
- 7) ширина (мм);
- 8) высота (мм);
- 9) широтно-продольный показатель для правого и левого полушарий (%)
- 10) высотно-продольный показатель для правого и левого полушарий (%);
- 11) длина лобной доли для полушарий с обеих сторон (мм);
- 12) длина теменной доли для полушарий с обеих сторон (мм);
- 13) длина затылочной доли для полушарий с обеих сторон (мм);
- 14) длина височной доли для полушарий с обеих сторон (мм).

Оцениваемая при сравнении выборок динамика определилась по коэффициенту приращения показателя (W_c , %), согласно формуле Шмальгаузена. Количественные показатели энцефалометрических показателей полушарий оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Накопление, корректировка, систематизация исходной информации осуществлялись в электронных таблицах Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corp., США). Статистический анализ проводился с использованием программы Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). Для сравнения средних величин в нормально распределённых совокупностях численных данных использовался t-критерий Стьюдента. Различия энцефалометрических показателей считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Основные результаты

При проведении статистического анализа возрастных групп мальчиков нами была определена модель морфогенеза с наибольшим количеством статистически значимых изменений в группах 14–15 и 15–16 лет и с чередованием приращения и уменьшения объёма. Так, в группе мальчиков 14–15 лет, несмотря на общее превалирование отрицательных по величине изменений, установлено увеличение высотно-продольного показателя правого полушария на 2,92% и левого на 6,76%, однако на конец подросткового возрастного периода наблюдается снижение показателя

для обоих полушарий. В группе сравнения 15–16 лет аналогично обнаруживается отсутствие выраженной положительной динамики, при этом отмечен рост правой затылочной доли на 5,24% и левой на 7,36%, не фиксируемое у мальчиков 14–15 лет (см. табл. 1). Продemonстрированный нами рост полушарий у мальчиков можно представить в виде растущей кривой, а её плато приходится на две последующие группы сравнения (см. рис. 1). Стоит отметить, что во всех возрастных группах характерно чередование приращения и уменьшения объёма для определенных церебральных структур, что обуславливает дальнейшую актуальность изучения их моделей развития.

Таблица 1 - Обобщение данных по возрастной динамике энцефалометрических показателей полушарий у мальчиков подросткового возрастного периода

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.22.1>

Исследуемый показатель	13/14 лет	14/15 лет	15/16 лет	Характеристика прироста
Объем мозга (см ³)	2,12	-7,54	0,66	---
Длина правого полушария (мм)	3,28	-4,22	1,80	---
Длина левого полушария (мм)	1,77	-4,96*	3,53	-↓-
Ширина мозга (мм)	0,00	-7,25*	2,19	-↓-
Ширина правого полушария (мм)	1,29	-7,22*	1,81	-↓-
Ширина левого полушария (мм)	-1,30	-6,62*	1,52	-↓-
Высота мозга (мм)	-1,04	1,50	-2,51	---
Высота правого полушария (мм)	2,56	1,13	-5,97*	--↓
Высота левого полушария (мм)	4,36*	-0,28	-6,44	↑--
Широтно-продольный показатель мозга (%)	-2,45*	-2,90	0,00	↓--
Широтно-продольный показатель правого полушария (%)	0,98	-3,02	0,00	---
Широтно-продольный показатель левого полушария (%)	-2,93	-1,74	-1,77	---
Высотно-продольный показатель мозга (%)	-1,20	3,23	-4,74*	--↓
Высотно-продольный показатель правого полушария (%)	1,58	2,92*	-7,83*	-↑↓
Высотно-продольный показатель левого полушария (%)	0,32	6,76*	-10,45*	-↑↓
Длина правой лобной доли (мм)	5,74	0,17	-13,82*	--↓
Длина левой лобной доли (мм)	3,64	-6,71	-7,80*	--↓
Длина правой теменной доли (мм)	7,05	-32,20*	2,48	-↓-
Длина левой	7,19	-27,87*	3,87	-↓-

Исследуемый показатель	13/14 лет	14/15 лет	15/16 лет	Характеристика прироста
теменной доли (мм)				
Длина правой затылочной доли (мм)	5,32	-28,68*	5,24*	—↓↑
Длина левой затылочной доли (мм)	10,16*	-34,79*	7,36*	↑↓↓
Длина правой височной доли (мм)	-2,23	-0,50	-15,52*	—↓
Длина левой височной доли (мм)	-0,49	0,25	-19,41*	—↓

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

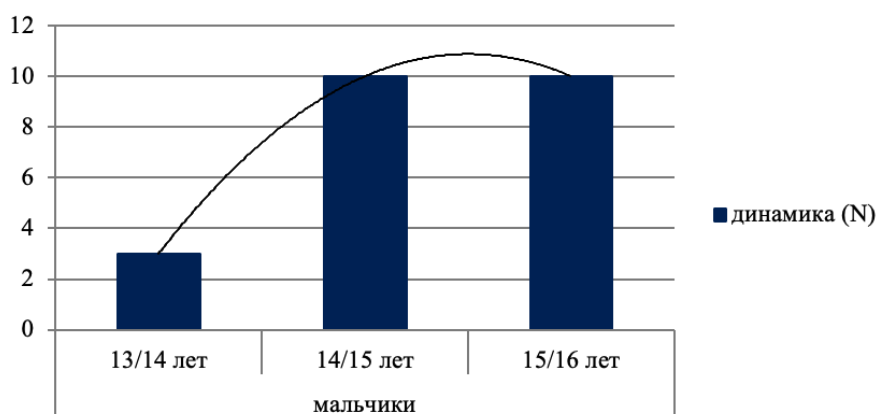


Рисунок 1 - Нелинейная характеристика динамики церебральных параметров у мальчиков в течение подросткового возрастного периода (13-16 лет)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.22.2>

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

Обсуждение

Данные выводы подтверждаются результатами прочих исследований о нелинейном развитии полушарий, а обнаруженные нами наиболее интенсивные структурные изменения в большом мозге у мальчиков наблюдаются в конце пубертатного периода [10]. При этом динамика развития полушарий у мальчиков в целом характеризуется ростом четырёх долей обоих полушарий, при этом стабильный в течение всех возрастных интервалов и преимущественный прирост идёт за счет затылочных долей, в частности левого полушария. Весьма интересные результаты по вариативному и чередующемуся приращению при оценке динамики параметров большого мозга, вероятнее всего, обусловлены, с одной стороны, активными для подросткового возраста гистологическими изменениями в долях полушарий по типу физиологического прунинга и миелинизации нервных волокон. Ленрут и соавторы сообщают, что у детей периодов второго детства и подросткового возраста независимо от пола происходят разнонаправленные процессы в цито- и миелоархитектонике в виде уменьшения объёма серого вещества коры некоторых долей полушарий и избыточной миелинизации аксонов их белого вещества, что, по мнению авторов, обосновывается оптимизирующей ролью прунинга, сменяющего чрезмерный синаптогенез в раннем и первом детстве [11]. С другой стороны, изменчивость процента энцефалометрических параметров, может быть определена и индивидуальными вариациями в продольном размере мозгового отдела черепа [12].

Таким образом, взаимосвязь энцефалометрических параметров полушарий у подростков с гистологическими аспектами реорганизации серого и белого вещества в контексте прунинга, а также с индивидуальными по возрасту и

полу размерами мозгового черепа, требует к себе большего внимания и проведения дальнейших прикладных морфологических исследований с междисциплинарным подходом.

Заключение

При изучении динамики церебральных показателей полушарий у мальчиков подросткового возраста установлены морфологические модели развития конечного мозга в виде нелинейных кривых с пиками наибольших энцефалометрических изменений в конце подросткового возрастного периода. Определены структурные различия, за счёт которых преимущественно осуществляется морфогенез полушарий (двуполушарный рост четырёх рассматриваемых долей, с наиболее последовательным приращением в затылочных долях у мальчиков). Выявленные в ходе возрастной изменчивости различия для каждого возрастного интервала могут быть интерпретированы в лучевой диагностике как энцефалометрические варианты нормального развития полушарий.

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. 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. — DOI: 10.1016/j.neuroimage.2021.118450.
2. Doucet G.E. Person-Based Brain Morphometric Similarity is Heritable and Correlates With Biological Features / G.E. Doucet, D.A. Moser, A. Rodrigue [et al.] // *Cerebral Cortex*. — 2019. — Vol. 29. — № 2. — P. 852–862. — DOI: 10.1093/cercor/bhy287.
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. — 25 p. — DOI: 10.1186/s13293-024-00604-4.
4. 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. — DOI: 10.1093/cercor/bhr018.
5. 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). — 14 с. — DOI: 10.60797/IRJ.2024.147.48.
6. Kaczurkin A.N. Sex differences in the developing brain: insights from multimodal neuroimaging / A.N. Kaczurkin, A. Raznahan, T.D. Satterthwaite // *Neuropsychopharmacology*. — 2019. — Vol. 44. — № 1. — P. 71–85. — DOI: 10.1038/s41386-018-0111-z.
7. Hsu C.J. The microstructural change of the brain and its clinical severity association in pediatric Tourette syndrome patients / C.J. Hsu, L.C. Wong, H.P. Wang [et al.] // *Journal of Neurodevelopmental Disorders*. — 2023. — Vol. 15. — № 1. — 34 p. — DOI: 10.1186/s11689-023-09501-0.
8. Greven C.U. Developmentally stable whole-brain volume reductions and developmentally sensitive caudate and putamen volume alterations in those with attention-deficit/hyperactivity disorder and their unaffected siblings / C.U. Greven, J. Bralten, M. Mennes [et al.] // *JAMA Psychiatry*. — 2015. — Vol. 72. — № 5. — P. 490–499. — DOI: 10.1001/jamapsychiatry.2014.3162.
9. Хальшоф П.Х.Е. Что происходит после первого эпизода? Обзор литературы о развитии изменений структуры мозга у больных хронической шизофренией / П.Х.Е. Хальшоф, Р.С. Канн // *Социальная и клиническая психиатрия*. — 2011. — Т. 21. — № 1. — С. 54–59.
10. 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. — DOI: 10.1016/j.neuroimage.2016.07.044.
11. 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. — DOI: 10.1016/j.bandc.2009.10.008.
12. Байбаков С.Е. Применение остеометрических методов при определении половой, возрастной и расовой принадлежности черепа / С.Е. Байбаков, Н.С. Бахарева, Е.К. Гордеева [и др.] // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2025. — № 6 (156). — 7 с. — DOI: 10.60797/IRJ.2025.156.85.

Список литературы на английском языке / References in English

1. 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. — DOI: 10.1016/j.neuroimage.2021.118450.

2. Doucet G.E. Person-Based Brain Morphometric Similarity is Heritable and Correlates With Biological Features / G.E. Doucet, D.A. Moser, A. Rodrigue [et al.] // *Cerebral Cortex*. — 2019. — Vol. 29. — № 2. — P. 852–862. — DOI: 10.1093/cercor/bhy287.
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. — 25 p. — DOI: 10.1186/s13293-024-00604-4.
4. 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. — DOI: 10.1093/cercor/bhr018.
5. Bakhareva N.S. Gendernye razlichiya morfometricheskikh parametrov polusharij golovnog mozga u detej 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.] // *Mezhdunarodnyj Nauchno-Issledovatel'skij Zhurnal* [International Research Journal]. — 2024. — № 9 (147). — 14 p. — DOI: 10.60797/IRJ.2024.147.48. [in Russian]
6. Kaczurkin A.N. Sex differences in the developing brain: insights from multimodal neuroimaging / A.N. Kaczurkin, A. Raznahan, T.D. Satterthwaite // *Neuropsychopharmacology*. — 2019. — Vol. 44. — № 1. — P. 71–85. — DOI: 10.1038/s41386-018-0111-z.
7. Hsu C.J. The microstructural change of the brain and its clinical severity association in pediatric Tourette syndrome patients / C.J. Hsu, L.C. Wong, H.P. Wang [et al.] // *Journal of Neurodevelopmental Disorders*. — 2023. — Vol. 15. — № 1. — 34 p. — DOI: 10.1186/s11689-023-09501-0.
8. Greven C.U. Developmentally stable whole-brain volume reductions and developmentally sensitive caudate and putamen volume alterations in those with attention-deficit/hyperactivity disorder and their unaffected siblings / C.U. Greven, J. Bralten, M. Mennes [et al.] // *JAMA Psychiatry*. — 2015. — Vol. 72. — № 5. — P. 490–499. — DOI: 10.1001/jamapsychiatry.2014.3162.
9. Hulshoff P.H.E. Chto proiskhodit posle pervogo epizoda? Obzor literatury o razvitii izmenenij struktury mozga u bol'nykh khronicheskoy shizofreniej [What happens after the first episode? A review of progressive brain changes in chronically ill patients with schizophrenia] / P.H.E. Hulshoff, R.S. Kann // *Social'naya i Klinicheskaya Psikhatriya* [Social and Clinical Psychiatry]. — 2011. — Vol. 21. — № 1. — P. 54–59. [in Russian]
10. 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. — DOI: 10.1016/j.neuroimage.2016.07.044.
11. 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. — DOI: 10.1016/j.bandc.2009.10.008.
12. Baibakov S.E. Primenenie osteometricheskikh metodov pri opredelenii polovoj, vozrastnoj i rasovoj prinadlezhnosti cherepa [Application of osteometric methods in determining sex, age and race of the skull] / S.E. Baibakov, N.S. Bakhareva, E.K. Gordeeva [et al.] // *Mezhdunarodnyj Nauchno-Issledovatel'skij Zhurnal* [International Research Journal]. — 2025. — № 6 (156). — 7 p. — DOI: 10.60797/IRJ.2025.156.85. [in Russian]