



Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами

© Палеева И.С.^{1*}, Лукин М.В.¹, Гладышев Н.С.²,
Выshedкевич Е.Д.¹, Ефимцев А.Ю.¹, Труфанов Г.Е.¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России; 197341 Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2, Российская Федерация

² ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского»; 119991 Москва, ГСП-1, Абрикосовский пер., д. 2, Российская Федерация

Цель исследования: сравнить степень деформации костей черепа и перфузионные показатели головного мозга с помощью компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) у детей с краниосиностозами (КС) на дооперационном этапе и оценка взаимосвязи между ними.

Материал и методы. В период 2018–2024 гг. в ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России был обследован 51 ребенок с различными видами КС. Для оценки черепных швов и степени деформации черепа посредством морфометрических измерений была проведена КТ. Для оценки структурных и перфузионных показателей головного мозга была выполнена МРТ, дополненная динамической контрастной T2*-МР-перфузией.

Для статистической обработки был использован язык программирования R (версия 4.4.1).

Результаты. Исследование выявило характерные морфометрические и перфузионные нарушения при различных типах КС. Наибольшее увеличение цефалического индекса обнаружено при брахицефалии ($118,0 \pm 4,6\%$), а наименьшее – при сагиттальном синостозе ($67,4 \pm 10,4\%$). Значительная асимметрия черепа (ИАСЧ) отмечалась при задней плагиоцефалии ($12,4 \pm 1,1\%$) и коронарном синостозе ($5,8 \pm 4,8\%$). Снижение фронтального угла было характерно для тригоноцефалии ($91,6 \pm 9,9$), передней плагиоцефалии ($93,2 \pm 7,0$) и сагиттального синостоза ($87,4 \pm 9,1$). Во всех группах выявлено снижение скорости мозгового кровотока (rCBF: $66,8\text{--}82,1\%$) и объема мозгового кровотока (rCBV: $57,3\text{--}88,7\%$) с увеличением времени транзита (rMTT: $108,0\text{--}120,5\%$) и времени до пика (rTTP: $103,7\text{--}121,1\%$). Наиболее выраженные нарушения перфузии зафиксированы при брахицефалии и тригоноцефалии.

Заключение. Динамическая контрастная МР-перфузия является перспективной методикой для оценки мозгового кровообращения у детей с краниосиностозами. Применение данной методики позволяет оценить основные параметры перфузии в наиболее компримированных участках головного мозга. Полученные данные демонстрируют системное влияние краниосиностоза на церебральную гемодинамику при отсутствии прямой корреляции между степенью морфометрических и перфузионных изменений, что подчеркивает роль индивидуальных компенсаторных механизмов. Дальнейшие перспективы связаны с увеличением когорты пациентов и проведением сопоставлений с данными морфометрических измерений по результатам КТ, которые могут расширить спектр диагностических критериев для принятия решения об оперативном лечении. Динамическая контрастная МР-перфузия может стать инструментом оценки эффективности выполненного оперативного вмешательства на ранних и поздних послеоперационных этапах.

Ключевые слова: краниосиностоз; краниоцеребральная диспропорция; динамическая контрастная МР-перфузия; компьютерная томография; морфометрия

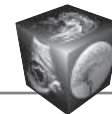
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Палеева И.С., Лукин М.В., Гладышев Н.С., Выshedкевич Е.Д., Ефимцев А.Ю., Труфанов Г.Е. Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 20–32.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1577>

Поступила в редакцию: 17.06.2025.

Принята к печати: 03.12.2025.

Опубликована online: 16.02.2026.



Computed and magnetic resonance imaging to identify structural and perfusion changes in the brain in children with craniosynostosis

© Irina S. Paleeva^{1*}, Maxim V. Lukin¹, Nikita S. Gladyshev²,
Elena D. Vyshedkevich¹, Alexander Yu. Efimtsev¹, Gennady E. Trufanov¹

¹ Almazov National Medical Research Center of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2, Akkuratova str., Saint-Petersburg 197341, Russian Federation

² Petrovsky Russian Research Center of Surgery; 2, Abrikosovsky lane, Moscow 119991, Russian Federation

Purpose. To compare the degree of skull bone deformation and brain perfusion parameters using computerized tomography and magnetic resonance imaging (MRI) in children with craniosynostosis before surgery.

Materials and methods. In the period from 2018 to 2024, we examined 51 children at the Almazov National Research Medical Center with various types of craniosynostosis. We used CT scans to assess the cranial sutures and degree of skull deformation by morphometric measurements, and MRI to evaluate the structural and perfusion parameters of the brain, supplemented by dynamic contrast-enhanced T2* MR perfusion. Statistical analysis was performed using the R programming language version 4.4.1.

Results. The study revealed characteristic morphometric and perfusion disorders in various types of craniosynostosis. The largest increase in the cephalic index was found in brachycephaly ($118.0 \pm 4.6\%$), and the smallest in sagittal synostosis ($67.4 \pm 10.4\%$). Significant cranial asymmetry was observed in patients with posterior plagiocephaly ($12.4 \pm 1.1\%$) and coronal synostosis ($5.8 \pm 4.8\%$). A decrease in the frontal angle was characteristic of trigonocphaly (91.6 ± 9.9), anterior plagiocephaly (93.2 ± 7.0) and sagittal synchosis (87.4 ± 9.1). In all groups, there was a decrease in cerebral blood flow velocity (rCBF: $66.8\text{--}82.1\%$), cerebral blood volume (rCBV: $57.3\text{--}88.7$), an increase in mean transit time (MTT: $108\text{--}120.5$) and time to peak (TTP: $103.7\text{--}121.1$). The most pronounced perfusion abnormalities were recorded in brachiocephalic and triangulocephalic.

Conclusion. Dynamic contrast MR perfusion can be a promising technique for assessing cerebral circulation in children with craniosynostosis. The use of this technique allows evaluating the main parameters of perfusion in the most compressed areas of the brain. The data obtained demonstrate the systemic effect of craniostenosis on cerebral hemodynamics, in the absence of a direct correlation between the degree of morphological and perfusion changes, this emphasizes the role of individual compensatory mechanisms. Further research on this technique could expand the diagnostic criteria for surgical treatment and serve as a tool for evaluating its effectiveness in postoperative stages. Dynamic contrast MR perfusion can become a tool for evaluating the effectiveness of surgical interventions performed in the early and late postoperative stages.

Keywords: craniosynostosis; craniocerebral disproportion; dynamic contrast MR perfusion; computed tomography; morphometry

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

For citation: Paleeva I.S., Lukin M.V., Gladyshev N.S., Vyshedkevich E.D., Efimtsev A.Yu., Trufanov G.E. Computed and magnetic resonance imaging to identify structural and perfusion changes in the brain in children with craniosynostosis. *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 20–32. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1577>

Received: 17.06.2025.

Accepted for publication: 03.12.2025.

Published online: 16.02.2026.

Введение

Краниосиностоз (КС) – это черепно-лицевая аномалия развития, приводящая к нарушению развития головного мозга и аномальной форме черепа [1]. Основной причиной КС является преждевременное закрытие одного или нескольких черепных швов. Обычно он встречается изолированно, но может быть связан и с другими пороками развития, являясь частью сложных синдромов [2, 3]. Несвоевременное лечение может вызвать серьезные осложнения, такие как задержка развития, аномалии лица, неврологические нарушения и психологические расстройства [4].

Первичный КС встречается примерно у одного из 2500 новорожденных [5]. К вторичным причинам КС относятся заболевания, приводящие к нарушению развития головного мозга, и состояния, влияющие на костный метаболизм [5, 6]. В большинстве случаев (85%) КС проявляется как спорадическая аномалия (несиндромальный КС), в других случаях (15%) – как часть синдромов (синдромальный КС). У пациентов с синдромальными КС неврологические нарушения проявляются более выражено и часто могут быть диагностированы клинически по нейрокраниальному фенотипу, а также по другим аномалиям скелета [7]. Запе-

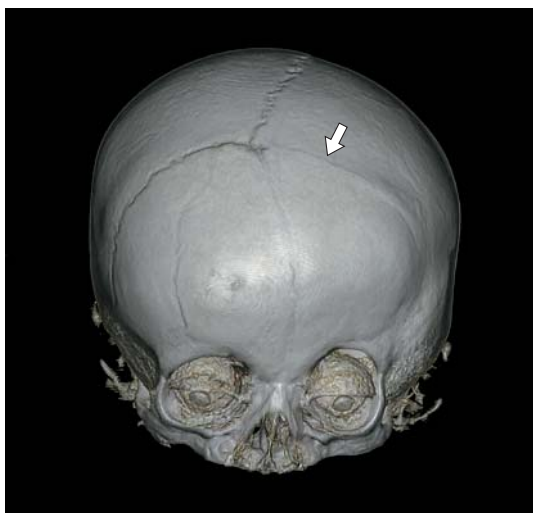


Рис. 1. 3D-реконструкция черепа КТ у пациента с левосторонним коронарным синостозом (пораженный шов указан стрелкой) (из архива ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России).

Fig. 1. 3D CT reconstruction of the skull in a patient with left-sided coronal craniosynostosis (the affected suture is indicated by an arrow) (from the archive of the Almazov National Research Medical Center).

гистрировано более 200 синдромов, связанных с КС [8, 9]. Наиболее распространенными из них являются синдромы Мюнке, Крузона, Пфайффера [3, 10].

В настоящее время отсутствует официальная классификация КС. Однако по видам поражения шва среди несиндромальных КС различают следующие формы: метопический, сагиттальный, коронарный (одно- и двусторонний), лямбдовидный (одно- и двусторонний) [11].

Также существует классификация КС, основанная на виде деформации черепа: скафоцефалия (закрытие сагиттального шва), тригоцефалия (закрытие метопического шва), передняя плагиоцефалия (закрытие коронарного шва с одной стороны), брахицефалия (закрытие коронарных швов с обеих сторон), задняя плагиоцефалия (закрытие лямбдовидного шва с одной стороны), туррицефалия (закрытие лямбдовидных швов с обеих сторон), оксикефалия (закрытие сагиттального и коронарных швов), деформация по типу “листа клевера” (закрытие сагиттального, коронарных и лямбдовидных швов) [12, 13].

Диагноз КС выставляется по результатам физического осмотра, измерения краниометрии и наблюдения за деформацией черепа. Лучевые методы играют важную роль в подтверждении диагноза и планировании хирургического вмешательства [14]. Согласно рекомендациям, представленным в 2015 г. рабочей группой по КС, при

подозрении на КС можно использовать рентгенографию черепа или ультразвукографию [15]. Несмотря на лучевую нагрузку, выполнение компьютерной томографии (КТ) рекомендовано при явном подозрении на КС, в том числе для планирования оперативного лечения [15]. В диагностике состояния костей черепа у пациентов с КС рекомендована КТ высокого разрешения, применение которой позволяет выполнять трехмерные реконструкции (реконструкция поверхностно-оттененных изображений (Surface Shaded Display, SSD)) и которая признана эталонным методом [16] (рис. 1).

В литературе существует ряд исследований, в которых использовались протоколы низкодозной и ультранизкодозной КТ с сохранением диагностического качества изображений при снижении лучевой нагрузки на 75–92% (от стандартного исследования головы) и доказанным преимуществом перед классической рентгенографией [17–19].

Помимо точного определения пораженных швов, КТ используется в оценке степени деформации черепа и краниocereбральной диспропорции путем проведения морфометрических измерений [20, 21]. Также есть ряд работ, посвященных измерению внутричерепного объема при КС [22, 23]. Следует отметить, что существует множество морфометрических параметров, которые измеряются для каждого конкретного КС, однако есть и универсальные показатели для оценки вида и степени деформации [24, 25]:

1. Цефалический индекс (ЦИ) рассчитывается как отношение поперечного размера черепа (бипариетального размера) к продольному (лобнозатылочному), выраженное в процентах (рис. 2а);

2. Индекс асимметрии свода черепа (ИАЧЧ) рассчитывается путем деления разницы длин двух отрезков, проведенных под углом 30° относительно средней линии, на длину более протяженного из этих отрезков, выраженный в процентах (рис. 2б).

3. Фронтальный угол (ФУ) строится между точками pterion, nasion (рис. 2в).

4. Фронтальный стеноз (ФС) рассчитывается как отношение межпариетального расстояния к межкоронарному (рис. 2г).

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является “золотым стандартом” для оценки структуры вещества, оболочек и ликворных пространств головного мозга. Существуют МРТ-методики, позволяющие качественно и количественно оценить относительные показатели мозгового кровотока: бесконтрастная МР-перфузия “меченых спинов артериальной крови” (Arterial spin labeling – ASL; ASL-перфузия) и динамическая контрастная T2*-МР-перфузия (DSC-перфузия) [26].

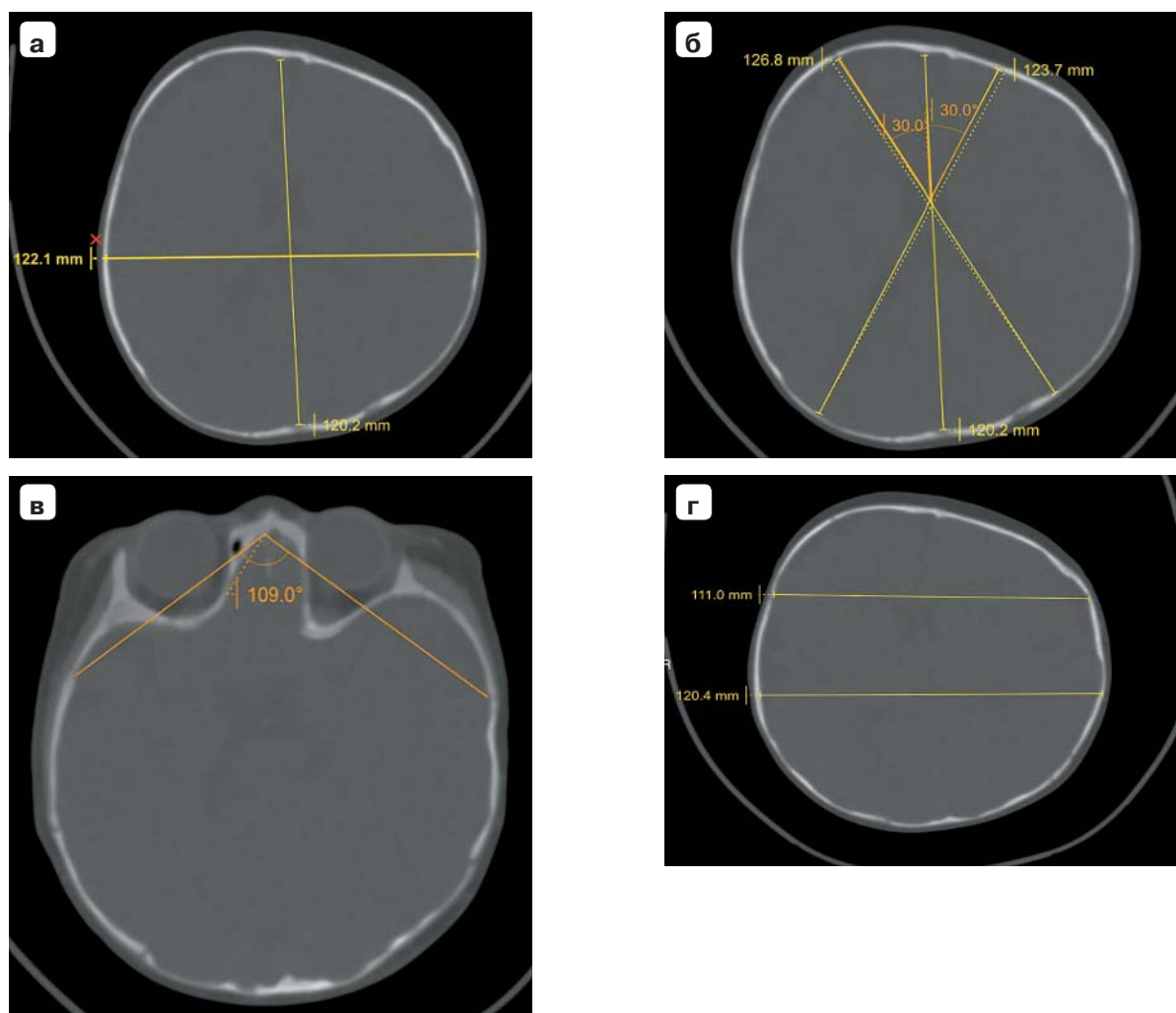
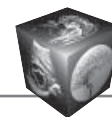


Рис. 2. КТ головного мозга, проведение измерений для оценки морфометрических параметров (из архива ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России). **а** – цефалический индекс; **б** – индекс асимметрии свода черепа; **в** – фронтальный угол; **г** – фронтальный стеноз.

Fig. 2. CT scan of the brain, taking measurements to assess morphometric parameters. **a** – the cephalic index; **б** – the index of asymmetry of the cranial vault (CVAI); **в** – the frontal angle; **г** – the frontal stenosis.

ALS-перфузия – это неинвазивная методика, позволяющая количественно и визуально определять показатель скорости мозгового кровотока (Cerebral Blood Flow – CBF) *in vivo*, без использования парамагнитного контрастного препарата [27].

DSC-перфузия является одной из наиболее часто используемых методик MPT-перфузии, основанной на вызванной восприимчивостью потере сигнала на T2*-ВИ, которая возникает в результате прохождения болюса гадолиний-содержащего контрастного препарата через капиллярное русло, позволяющая рассчитать основные параметры перфузии.

Современные взгляды на проблему КС демонстрируют, что ключевым патогенетическим

механизмом является нарушение церебральной гемодинамики, обусловленное компрессией мозговых структур в зонах преждевременно закрытых швов. Клинические симптомы заболевания зачастую проявляются значительно позже [11, 28].

В настоящее время активно исследуются методы оценки церебрального кровотока у пациентов с КС. Среди них – однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) и MPT с использованием методики бесконтрастной ALS-перфузии [29–31]. Тем не менее каждый из этих методов имеет ограничения: применение ОФЭКТ сопряжено с радиационной нагрузкой, а ALS-перфузия предоставляет информацию лишь о скорости мозгового кровотока.



Цель исследования: дооперационное сравнение степени деформации костей черепа и перфузионных показателей головного мозга у детей с краниосиностозами с помощью КТ и МРТ и оценка взаимосвязи между ними.

Материал и методы

В период с 2018 по 2024 г. в ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России проведено обследование 51 ребенка с различными видами КС (34 мальчика, 17 девочек, средний возраст = $18,94 \pm 13,3$ мес): 13 – с метопическим (тригоцефалия, “Т”), 3 – с двусторонним коронарным (брахицефалия, “Б”), 10 – с односторонним коронарным (передняя плагиоцефалия, “ПП”), 3 – с односторонним лямбдовидным (задняя плагиоцефалия, “ЗП”), 3 – с закрытием сагиттального и коронарных швов (оксикефалия, “О”), 11 – с сагиттальным синостозом (скафоцефалия, “С”), 8 – с комбинированным (“К”).

Критерии включения:

- установленный диагноз КС;
- наличие подписанного и датированного информированного добровольного согласия.

Критерии исключения:

- абсолютные противопоказания к проведению МРТ;
- аномалии развития и патологические образования головного мозга;
- перенесенные нейрохирургические вмешательства.

Для анализа состояния черепных швов и оценки степени деформации черепа была проведена КТ на аппарате Somatom Definition Force (384 среза, Siemens). На рабочей станции осуществлялась дальнейшая мультипланарная реконструкция с оценкой состояния черепных швов и расчетами морфометрических показателей (ЦИ, ИАСЧ, ФУ, ФС).

Нормальные значения ЦИ, соответствующие мезоцефалии, составляют от 71 до 84%. Значения ЦИ меньше 71% указывали на скафоцефалическую (долихоцефалическую) деформацию черепа, а значения больше 84% свидетельствовали о развитии брахицефалии.

Согласно классификации J. van der Meulen (2012), степень деформации по расчетам ФУ интерпретировалась как тяжелая, если угол составлял менее 89° , умеренная – от 90 до 95° , легкая – от 96 до 103° и нормальная – 104° и более. Нормальными значениями ФС считается 1,21. ИАСЧ считался нормальным при значении менее 3,5%, легкая асимметрия – 3,5–6,25%, умеренная асимметрия – 6,25–8,75%, тяжелая деформация – 8,75–11%, очень тяжелая деформация – более 11%.

Для оценки структурных и перфузионных изменений головного мозга использовался стандартный протокол МРТ, дополненный методикой DSC-перфузии, выполненный на томографе Magnetom Espree (1,5 Тл, Siemens). Оценивались основные параметры перфузии:

- скорость мозгового кровотока (Cerebral Blood Flow – CBF),
- объем мозгового кровотока (Cerebral Blood Volume – CBV),
- время достижения пиковой концентрации (Time to Peak – TTP), соответствующей центру тяжести или пиковым значениям на графике,
- время транзита контрастного вещества (Mean Transit Time – MTT) [32].

Парамагнитный контрастный препарат вводился в дозировке 0,1 ммоль/кг. Построение перфузионных карт выполнялось на рабочей станции, после чего ручным способом выделялась зона интереса (region of interest – ROI) в наиболее компримированных участках мозга. Площадь ROI выбиралась максимальная, исключая крупные сосуды и ликворные пространства, но не менее 1 см^2 . В зону интереса включались кортикальные и субкортикальные отделы головного мозга. Показатели перфузии рассчитывались путем “отзеркаливания” относительно (r – “relatively”) интактных зон противоположного полушария, принятых за 100% (рис. 3). Выбор референсных зон осуществлялся в зависимости от типа синостоза. При изолированных (моно-) синостозах использовалась контралатеральная доля. При комбинированных формах для сравнения выявлялась интактная доля головного мозга с последующим ее сравнением с контралатеральной. В условиях симметричного поражения, когда идентификация интактных зон была затруднена, референсные значения рассчитывались на основе показателей от других долей головного мозга (к примеру, теменных и затылочных – при патологии лобных).

Относительные показатели перфузии рассчитывались автоматически на рабочей станции.

Для дифференциации физиологической межполушарной асимметрии перфузии от патологической был принят пороговый уровень асимметрии, равный 10%, в рамках референсного интервала [33].

Для статистической обработки был использован язык программирования R (версия 4.4.1). Рассчитаны средние значения основных перфузионных показателей по данным МРТ и морфометрических по данным КТ в группах, стандартное отклонение, а также симметричность (skew) и эксцесс (kurtosis) распределения.

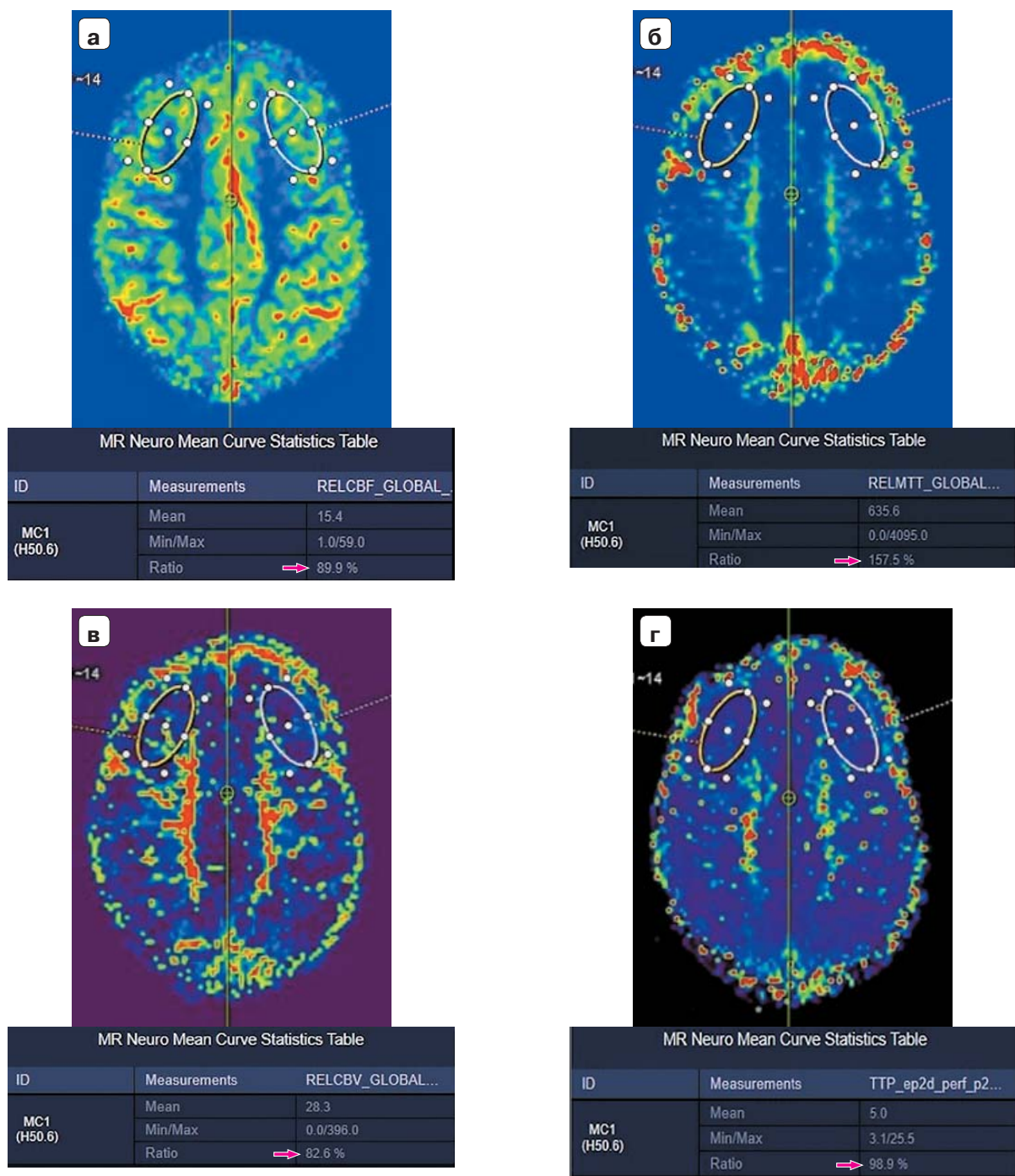


Рис. 3. МРТ головного мозга, построение перфузионных карт CBF (а), CBV (б), MTT (в), TTP (г) у пациента с правосторонним коронарным синустозом. Отмечается снижение относительных перфузионных показателей rCBF, rCBV в кортикально-субкортикальных отделах правой лобной доли, повышение показателя rMTT без значимого изменения показателя rTTP относительно контралатеральной стороны (указано красными стрелками).

Fig. 3. MRI of the brain, construction of perfusion maps of CBF (а), CBV (б), MTT (в), TTP (г) in a patient with right-sided coronary synostosis. There is a decrease in the relative perfusion indices of rCBF, rCBV in the cortical-subcortical sections of the right frontal lobe, an increase in the rMTT index, without a significant change in the rTTP index, of the relative contralateral side (indicated by red arrows).



Группы были с референсными значениями показателей с использованием t-критерия Стьюдента. По результатам анализа проведена поправка Холма на множественные сравнения.

Исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России (выписка № 1210-23 из протокола заседания ЛЭК № 10-23 от 2 октября 2023 г.)

Результаты исследования

При измерении относительных показателей кровотока в группе «Т» в лобных долях, относительно контралатеральных теменно-затылочных областей было выявлено снижение rCBF и rCBV до $72,28 \pm 7,94\%$ и $70,37 \pm 16,55\%$ соответственно и повышение rMTT и rTTP до $112,92 \pm 5,01\%$ и $110,73 \pm 8,74\%$ соответственно.

В группе «Б» относительные показатели кровотока рассчитывались в тех же зонах и составляли: rCBF = $66,80 \pm 4,96\%$; rCBV = $66,10 \pm 6,32\%$; rMTT = $117,70 \pm 1,80\%$; rTTP = $121,10 \pm 0,70\%$.

Перфузионные показатели в группе «ПП» оценивались в компримированной лобной доле относительно контралатеральной и составляли: rCBF = $82,06 \pm 11,5\%$; rCBV = $88,74 \pm 4,78\%$; rMTT = $120,52 \pm 25,34\%$; rTTP = $110,2 \pm 10,51\%$.

Перфузионные показатели в группе «ЗП» оценивались в компримированной затылочной доле относительно контралатеральной и составили:

rCBF = $77,13 \pm 9,77\%$; rCBV = $57,33 \pm 2,61\%$; rMTT = $115,63 \pm 3,84\%$; rTTP = $108,33 \pm 1,15\%$.

Перфузионные показатели в группе «О» рассчитывались в лобных долях относительно теменно-затылочных областей и составили: rCBF = $75,7 \pm 18,55\%$; rCBV = $87,17 \pm 6,69\%$; rMTT = $108,00 \pm 3,44\%$; rTTP = $103,7 \pm 3,82\%$.

В группе «С» было проведено сравнение показателей мозгового кровотока в тех же зонах, которые составили: rCBF = $72,7 \pm 12,66\%$; rCBV = $78,06 \pm 10,72\%$; rMTT = $114,39 \pm 12,76\%$; rTTP = $106,69 \pm 4,42\%$.

В группе «К» визуально выявлялись наиболее интактные зоны головного мозга в зависимости от количества и расположения пораженных черепных швов и сравнивались с контралатеральной стороной: rCBF = $77,71 \pm 10,53\%$; rCBV = $79,45 \pm 9,53\%$; rMTT = $118,01 \pm 17,55\%$; rTTP = $107,83 \pm 6,14\%$ (табл. 1).

При анализе полученных данных можно сделать вывод, что наиболее низкие показатели rCBF и rCBV были выявлены в группе «Б» и rCBV в группе «ЗП», тогда как в остальных группах данные показатели снижались относительно одинаково. В группах «ЗП», «О», «С» и «К» значимого повышения значений rTTP не выявлено, как и значение rMTT в группе «О», в сравнении с минимальным повышением данных показателей в остальных группах (рис. 4).

Таблица 1. Группы пациентов с относительными показателями МР-перфузии

Table 1. Groups of Patients with Relative MR- perfusion indices

Виды КС по типу деформации Types of CS by type of deformation	n	Возраст, мес Age, month M ± sd	rCBF, % M ± sd	rCBV, % M ± sd	rMTT, % M ± sd	rTTP, % M ± sd
Тригоцефалия Trigonosephaly	13	9.69 ± 3.5	72.28 ± 7.94	70.37 ± 16.55	112.92 ± 5.01	110.73 ± 8.74
Брахицефалия Brachycephaly	3	35.5 ± 27.58	66.80 ± 4.96	66.10 ± 6.32	117.70 ± 1.80	121.10 ± 0.70
Передняя плагиоцефалия Anterior plagiocephaly	10	26.9 ± 27.52	82.06 ± 11.53	88.74 ± 4.78	120.52 ± 25.34	110.2 ± 10.51
Задняя плагиоцефалия Posterior plagiocephaly	3	18 ± 8.49	77.13 ± 9.77	57.33 ± 2.61	115.63 ± 3.84	108.33 ± 1.15
Оксицефалия Oxycephaly	3	25 ± 21.52	75.7 ± 18.55	87.17 ± 6.69	108.00 ± 3.44	103.7 ± 3.82
Скафоцефалия Scaphocephaly	11	21.73 ± 23.71	72.7 ± 12.66	78.06 ± 10.72	114.39 ± 12.76	106.69 ± 4.42
Комбинированный Combined	8	14 ± 13.66	77.71 ± 10.53	79.45 ± 9.53	118.01 ± 17.55	107.83 ± 6.14

Примечание/Note. «КС» – Краниосиностоз («CS» – Craniosynostosis), «CBF» – cerebral blood flow, «CBV» – cerebral blood volume, «TTP» – time to peak, «MTT» – mean transit time, «M» – mean, «sd» – standard deviation, «n» – number.

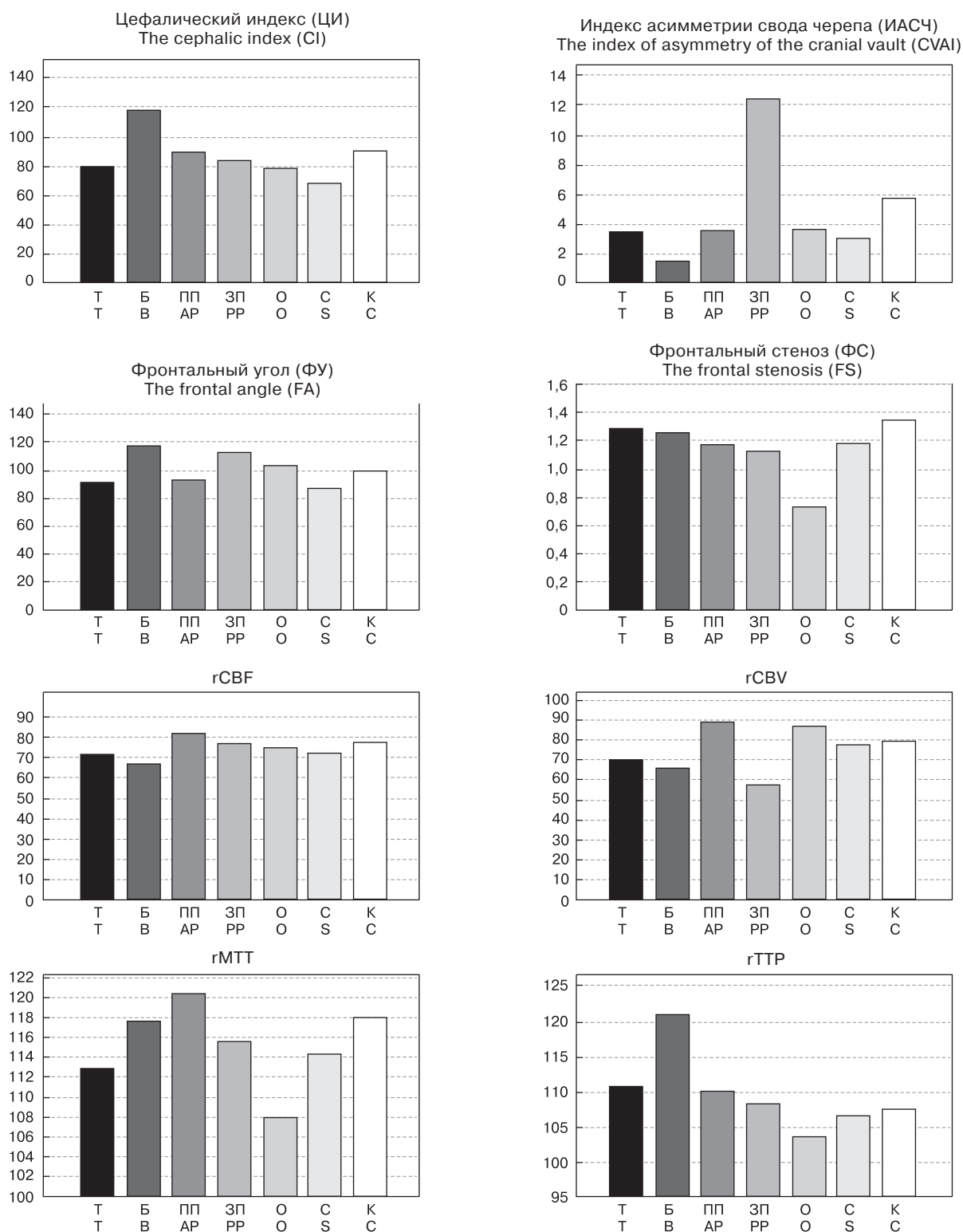
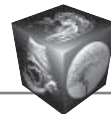


Рис. 4. Диаграммы средних значений по группам. Виды КС по типу деформации: “Т” – тригоноцефалия, “Б” – брахицефалия, “ПП” – передняя плагиоцефалия, “ЗП” – задняя плагиоцефалия, “О” – оксикефалия, “С” – скафоцефалия, “К” – комбинированный.

Fig. 4. Bar charts of average values by groups. “Т” – Trigonocephaly, “Б” – Brachycephaly, “AP” – Anterior plagiocephaly, “PP” – Posterior plagiocephaly, “O” – Oxycephaly, “S” – Scaphocephaly, “C” – Combined.



При анализе морфометрических параметров показатель ЦИ находился в пределах референсных значений в группах “Т”, “О” ($79,85 \pm 6,09\%$; $78,67 \pm 13,32\%$). В остальных группах ЦИ отличались с наибольшим средним показателем в группе “Б” ($118,00 \pm 4,58\%$) и наименьшим в группе “С” ($67,36 \pm 10,43\%$), что соответствует виду деформации.

Показатель ИАСЧ был наиболее высоким в группах “ЗП” и “К” ($12,38 \pm 1,05\%$; $5,75 \pm 4,84\%$), что трактовалось как очень тяжелая и умеренная асимметрия. Минимальное повышение данного значения также выявлено в группе “О” ($3,63 \pm 3,04\%$), что трактовалось как легкая деформация в сравнении с нормальными значениями в остальных группах.

Наиболее низкие показатели ФУ отмечались в группах “Т”, “ПП” и “С” ($91,56 \pm 9,92$; $93,15 \pm 7,03$; $87,36 \pm 9,06$ соответственно), что трактовалось как умеренная и тяжелая деформация.

По данным морфометрии наиболее высокий показатель ФС относительно нормального значения был в группе “К” ($1,35 \pm 0,46$), наименьший – в группе “О” ($0,73 \pm 0,54$) (табл. 2).

Несмотря на то что после поправки на множественные сравнения различия в показателях не достигли статистической значимости, данные

различия требуют дополнительных уточнений с увеличением мощности исследования (табл. 3).

В табл. 3 представлены наиболее значимые пары сравнений между группами. Разница средних и 95% доверительный интервал (ДИ) рассчитаны для каждой переменной. Скорректированные р-значения получены с применением метода коррекции на множественные сравнения с использованием поправки Холма.

Статистически значимые различия между группами “К” и “С” по показателю ЦИ (разница средних $22,76$; 95% ДИ $14,69-30,83$; $p < 0,001$), а также между группами “ПП” и “С” (разница средних $21,74$; 95% ДИ $14,01-29,46$; $p < 0,001$) сохраняют значимость даже после коррекции ($p_{adj} < 0,05$). Однако для остальных сравнений (например, СВ “ПП” vs “Т”: $p_{adj} = 0,05$; ЦИ “ПП” vs “Т”: $p_{adj} = 0,06$) скорректированные р-значения превышают порог $0,05$, что может быть связано с ограниченной мощностью исследования. Несмотря на это, величины эффекта (разница средних >9 единиц) и узкие доверительные интервалы (не включающие ноль) указывают на клиническую значимость выявленных различий.

Для подтверждения результатов требуется дальнейшее исследование с увеличением выборки и использованием многофакторных моделей.

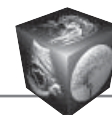
Таблица 2. Группы пациентов с морфометрическими расчетами по данным КТ

Table 2. Groups of patients with morphometric calculations based on CT data

Группа/Показатель Group/Indicator	n	Возраст, мес Age, month M $\pm$ sd	ЦИ, % CI, % M $\pm$ sd	ИАСЧ, % CVAI, % M $\pm$ sd	ФУ, ° FA, ° M $\pm$ sd	ФС FS M $\pm$ sd
Тригоцефалия Trigonosephaly	13	9.69 ± 3.5	79.85 ± 6.09	3.42 ± 2.29	91.56 ± 9.92	1.29 ± 0.09
Брахицефалия Brachysephaly	3	35.5 ± 27.58	118.00 ± 4.58	1.5 ± 0.99	117.20 ± 6.37	1.26 ± 0.03
Передняя плагиоцефалия Anterior plagiocephaly	10	26.9 ± 27.52	89.1 ± 5.8	3.48 ± 3.4	93.15 ± 7.03	1.17 ± 0.07
Задняя плагиоцефалия Posterior plagiocephaly	3	18 ± 8.49	83.33 ± 3.06	12.38 ± 1.05	112.63 ± 2.57	1.13 ± 0.07
Оксицефалия Oxusephaly	3	25 ± 21.52	78.67 ± 13.32	3.63 ± 3.04	103.8 ± 15.37	0.73 ± 0.54
Скафоцефалия Scaphosephaly	11	21.73 ± 23.71	67.36 ± 10.43	3.01 ± 1.46	87.36 ± 9.06	1.19 ± 0.15
Комбинированный Combined	8	14 ± 13.66	90.12 ± 6.1	5.75 ± 4.84	99.16 ± 15.73	1.35 ± 0.46

Примечание/Note. “ЦИ” – цефалический индекс, “ИАСЧ” – индекс асимметрии свода черепа, “ФУ” – фронтальный угол, “ФС” – фронтальный стеноз, “М” – mean, “sd” – standard deviation, “n” – number.

“CI” – Cephalic index, “CVAI” – index of asymmetry of the cranial vault, “FA” – frontal angle, “FS” – frontal stenosis, “M” – mean, “sd” – standard deviation, “n” – number.

**Таблица 3.** Сравнение значимых переменных между группами с указанием разницы средних, 95% ДИ и скорректированных р-значений**Table 3.** Comparison of significant variables between groups, showing the difference in averages, 95% CI and adjusted p-values

Переменная Variable	Группа 1 Group 1	Группа 2 Group 2	Разница средних Average difference	Нижняя граница 95% ДИ Lower bounds of the 95% CI	Верхняя граница 95% ДИ Upper bounds of the 95% CI	р-значения p-value	Скорректиро- ванные р-значения Adjusted p-values
ЦИ / CI	К / C	С / S	22.76	14.69	30.83	0.00	0.00
ЦИ / CI	ПП / AP	С / S	21.74	14.01	29.46	0.00	0.00
CBV	ПП / AP	Т / T	18.36	8.56	28.17	0.00	0.05
ЦИ / CI	ПП / AP	Т / T	9.25	4.05	14.46	0.00	0.06
ЦИ / CI	К / C	Т / T	10.28	4.43	16.12	0.00	0.08
ЦИ / CI	Т / T	С / S	12.48	4.89	20.07	0.00	0.13
ФС / FS	Т / T	Референсное значение The reference value	0.08	1.24	1.35	0.01	0.31
CBV	ПП / AP	С / S	10.67	3.02	18.31	0.01	0.38
CBV	ПП / AP	К / C	9.28	1.03	17.53	0.03	1.00
CBF	ПП / AP	Т / T	9.78	0.72	18.85	0.04	1.00

Примечание. Виды краниосиностозов по типу деформации: “Т” – тригоноцефалия, “ПП” – передняя плагиоцефалия, “С” – скафоцефалия, “К” – комбинированный.

“ЦИ” – цефалический индекс, “ФС” – фронтальный стеноз, “CBF” – cerebral blood flow, “CBV” – cerebral blood volume, “ДИ” – доверительный интервал.

Note. Types of craniosynostosis by type of deformation: “Т” – trigonocephaly, “AP” – anterior plagiocephaly, “S” – scaphocephaly, “C” – combined.

“CI” – Cephalic index, “FS” – frontal stenosis, “CBF” – cerebral blood flow, “CBV” – cerebral blood volume, “CI” – confidence interval.

Обсуждение

Оценка церебральной гемодинамики у пациентов с КС остается недостаточно изученной областью, несмотря на ее потенциальную клиническую значимость. В современной литературе представлены лишь единичные исследования, посвященные этой проблеме [29, 30, 34]. Методика ОФЭКТ, использованная М. Varik и соавт. (2014), хотя и демонстрирует хорошую информативность, сопряжена со значительной лучевой нагрузкой, что ограничивает ее применение в педиатрической практике. Бесконтрастная ASL-перфузия, примененная P.N. Doerga и соавт. (2019), является перспективной неинвазивной методикой, но предоставляет информацию только о скорости мозгового кровотока, не позволяя оценить полный спектр перфузионных параметров.

В данном исследовании использовалась методика DSC-перфузии, которая обеспечивает комплексную оценку всех ключевых показателей це-

ребральной гемодинамики (CBF, CBV, МТТ, ТТР). Несмотря на необходимость использования парамагнитного контрастного препарата, этот метод предоставляет важную информацию о состоянии мозгового кровообращения. Важным преимуществом контрастного исследования является возможность одновременного исключения объемных образований и сосудистых аномалий, которые могут влиять на тактику лечения.

Проведенное исследование выявило универсальный характер нарушений церебральной гемодинамики при различных типах КС. Наиболее выраженные изменения перфузии отмечались при брахицефалии и тригоноцефалии, что свидетельствует о значительном влиянии типа КС на характер гемодинамических нарушений. Отсутствие прямой корреляции между степенью морфометрических изменений и показателями перфузии указывает на сложный механизм влияния КС на церебральную гемодинамику.



КТ-морфометрия подтвердила свою ценность в оценке костных деформаций при КС. Полученные данные продемонстрировали характерные для каждого типа КС изменения цефалического индекса, индекса асимметрии свода черепа, фронтального угла и фронтального стеноза. [34]. Методика “Black bone” МРТ, хотя и показывает многообещающие результаты в визуализации костных структур, пока требует дополнительного программного обеспечения и валидации перед внедрением в клиническую практику [35].

Комплексный анализ полученных данных подчеркивает важность интеграции морфометрических и гемодинамических параметров для полного понимания патофизиологии КС. Выявленные группоспецифические особенности корреляционных взаимосвязей между изменениями формы черепа и показателями перфузии свидетельствуют о необходимости дифференцированного подхода к диагностике и оценке тяжести состояния пациентов с различными типами КС.

Заключение

КТ зарекомендовала себя как незаменимый метод диагностики и послеоперационного контроля краниосиностозов. Современные КТ-томографы позволяют выполнять исследования даже с применением низкодозных протоколов с сохранением высокого качества изображений. Рутинные описания данной патологии, дополненные морфометрическими изменениями, выбранные для каждого конкретного вида деформации, дают более полную информацию о степени краниоцеребральной диспропорции для нейрохирургов.

Динамическая контрастная МР-перфузия является перспективной методикой для оценки мозгового кровообращения у детей с краниосиностозами. Применение данной методики позволяет оценить основные параметры перфузии в наиболее компримированных участках головного мозга. Полученные данные демонстрируют системное влияние краниосиностоза на церебральную гемодинамику при отсутствии прямой корреляции между степенью морфометрических и перфузионных изменений, что подчеркивает роль индивидуальных компенсаторных механизмов. Дальнейшие перспективы связаны с увеличением когорты пациентов и проведением сопоставлений с данным морфометрических измерений по результатам КТ, которые могут расширить спектр диагностических критериев для принятия решения об оперативном лечении. Динамическая контрастная МР-перфузия может стать инструментом оценки эффективности

выполненного оперативного вмешательства на ранних и поздних послеоперационных этапах.

Участие авторов

Палеева И.С. – подготовка, создание опубликованной работы, подготовка и редактирование текста.

Лукин М.В. – проведение исследования, написание текста.

Гладышев Н.С. – сбор и обработка данных.

Выshedkevich Е.Д. – участие в научном дизайне.

Ефимцев А.Ю. – ответственность за целостность всех частей статьи.

Труфанов Г.Е. – утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Paleeva I.S. – preparation and creation of the published work, text preparation and editing.

Lukin M.V. – conducting research, writing text.

Gladyshev N.S. – collection and analysis of data

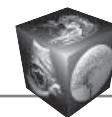
Vyshedkevich E.D. – participation in scientific design.

Efimtsev A.Yu. – responsibility for the integrity of all parts of the article.

Trufanov G.E. – approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Kajdic N., Spazzapan P., Velnar T. Craniosynostosis – Recognition, clinical characteristics, and treatment. *Bosn. J. Basic Med. Sci.* 2018; 18 (2): 110–116. <http://doi.org/10.17305/bjbms.2017.2083>
2. Hersh D.S., Hughes C.D. Syndromic Craniosynostosis: Unique Management Considerations. *Neurosurg. Clin. N. Am.* 2022; 33 (1): 105–112. <http://doi.org/10.1016/j.nec.2021.09.008>
3. Ясонов С.А. Синдромальные краниосиностозы: основные клинические проявления и современные возможности реабилитации. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского*. 2012; 91 (5): 108–116. Yasonov S.A. Syndromic craniosynostosis: the main clinical manifestations and modern rehabilitation possibilities. *Pediatrics. The G.N. Speransky Journal*. 2012; 91 (5): 108–116. (In Russian)
4. McIntyre F.L. Craniosynostosis. *Am Fam Physician*. 1997; 55 (4): 1173–1178.
5. Yapijakis C., Pachis N., Sotiriadou T. et al. Molecular Mechanisms Involved in Craniosynostosis. *In Vivo*. 2023; 37 (1): 36–46. <http://doi.org/10.21873/invivo.13052>
6. Brah T.K., Thind R., Abel D.E. Craniosynostosis: Clinical Presentation, Genetics, and Prenatal Diagnosis. *Obstet. Gynecol. Surv.* 2020, 75: 636–644. <http://doi.org/10.1097/OGX.0000000000000830>
7. Melville H., Wang Y., Taub P.J., Jabs E.W. Genetic basis of potential therapeutic strategies for craniosynostosis. *Am. J. Med. Genet. A*. 2010; 152A (12): 3007–3015. <http://doi.org/10.1002/ajmg.a.33703>
8. Lattanzi W., Barba M., Di Pietro L., Boyadjiev S.A. Genetic advances in craniosynostosis. *Am. J. Med. Genet. Part A*. 2017; 173: 1406–1429. <http://doi.org/10.1097/OGX.0000000000000830>
9. Sawh-Martinez R., Steinbacher D.M. Syndromic Craniosynostosis. *Clin. Plast. Surg.* 2019; 46 (2): 141–155. <http://doi.org/10.1016/j.cps.2018.11.009>



10. Wang J.C., Nagy L, Demke J.C. Syndromic Craniosynostosis. *Facial Plast. Surg. Clin. N. Am.* 2016; 24 (4): 531–543. <http://doi.org/10.1016/j.fsc.2016.06.008>
11. Суфианов А.А., Гаибов С.С., Суфианов Р.А. Несиндромальные краниосиностозы: современное состояние проблемы. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2013; 6: 33–37.
Sufianov A.A., Gaibov S.S., Sufianov R.A. Nonsyndromic craniosynostoses: state-of-the-art. *Russian Bulletin of Perinatol and Pediatrician*. 2013; 6: 33–37. (In Russian)
12. Russo C., Aliberti M., Ferrara A. et al. Neuroimaging in Nonsyndromic Craniosynostosis: Key Concepts to Unlock Innovation. *Diagnostics (Basel)*. 2024; 14 (17): 1842. <http://doi.org/10.3390/diagnostics14171842>
13. Nagaraja S., Anslow P., Winter B. Craniosynostosis. *Clin. Radiol.* 2013; 68 (3): 284–292. <http://doi.org/10.1016/j.crad.2012.07.005>
14. Massimi L., Bianchi F., Frassanito P. et al. Imaging in craniosynostosis: when and what? *Childs Nerv. Syst.* 2019; 35 (11): 2055–2069. <http://doi.org/10.1007/s00381-019-04278-x>
15. Mathijssen I.M. Guideline for Care of Patients With the Diagnoses of Craniosynostosis: Working Group on Craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2015; 26 (6): 1735–1807. <http://doi.org/10.1097/SCS.0000000000002016>
16. Ginat D.T., Lam D, Kuhn A.S., Reid R. CT Imaging Findings after Craniosynostosis Reconstructive Surgery. *Pediatr. Neurosurg.* 2018; 53 (4): 215–221. <http://doi.org/10.1159/000489175>
17. Tao W., Goetti R. Evaluation of ultra-low-dose CT with tin filter for craniosynostosis. *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2025; 69 (1): 28–34. <http://doi.org/10.1111/1754-9485.13812>
18. Montoya J.C., Eckel L.J., DeLone D.R. et al. Low-Dose CT for Craniosynostosis: Preserving Diagnostic Benefit with Substantial Radiation Dose Reduction. *Am. J. Neuroradiol.* 2017; 38 (4): 672–677. <http://doi.org/10.3174/ajnr.A5063>
19. Alnaif N., Zhou M., Galli R. et al. The Role of Preoperative Computed Tomography in Nonsyndromic Craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2019; 30 (2): 424–428. <http://doi.org/10.1097/SCS.0000000000005088>
20. Gruszczyńska K., Likus W., Onyszcuk M. et al. How does nonsyndromic craniosynostosis affect on bone width of nasal cavity in children? – Computed tomography study. *PLoS One*. 2018; 13 (7): e0200282. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0200282>
21. Ertekin E., Sahin T., Turgut A.T. Imaging Modalities for Craniosynostosis. In: Turgut M., Tubbs R.S., Turgut A.T., Dumont A.S. (eds). *The Sutures of the Skull*. Springer, Cham, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72338-5_16
22. Ramdat M.K., Breakey R.W., Caron C.J. et al. Correlation of Intracranial Volume With Head Surface Volume in Patients With Multisutural Craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2020; 31 (5): 1445–1448. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000006372>
23. Cacciaguerra G., Palermo M., Marino L. et al. The evolution of the role of imaging in the diagnosis of craniosynostosis: A narrative review. *Children*. 2021; 8: 727. <https://doi.org/10.3390/children8090727>
24. Villavisanis D.F., Blum J.D., Cho D.Y. et al. Degree of Sagittal Suture Fusion, Cephalic Index, and Head Shape in Nonsyndromic Sagittal Craniosynostosis. *J. Craniofac. Surg.* 2022; 33 (8): 2388–2393. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000008782>
25. Летыгин Г.В., Ким С.А., Данилин В.Е., Сысоева А.А., Амелин М.Н. Открытый реконструктивный способ хирургического лечения несиндромальных краниосиностозов у детей. *Нейрохирургия*. 2017; 4: 50–58.
Letyagin G.V., Kim S.A., Danilin V.E. et al. Open reconstructive method of surgical treatment of nonsyndromic craniosynostosis in children. *Russian Journal of Neurosurgery*. 2017; 4: 50–58. (In Russian)
26. Kaydu N.E., Cindil E., Asfuroglu B.B. et al. Comparative evaluation of brain perfusion with ASL and DSC MRI following intracranial vascular flow diverter stent replacement. *J. Clin. Ultrasound*. 2023; 51 (8): 1390–1396. <https://doi.org/10.1002/jcu.23530>
27. Lindner T., Bolar D.S., Achten E. et al. Current state and guidance on arterial spin labeling perfusion MRI in clinical neuroimaging. *Magn. Reson. Med.* 2023; 89 (5): 2024–2047. <https://doi.org/10.1002/mrm.29572>
28. Bristol R.E., Lekovic G.P., Rekate H.L. The effects of craniosynostosis on the brain with respect to intracranial pressure. *Semin. Pediatr. Neurol.* 2004; 11 (4): 262–267. <https://doi.org/10.1016/j.spen.2004.11.001>
29. Barik M., Bajpai M., Das R.R. et al. Role of ^{99m}Tc-ECD SPECT in the management of children with craniosynostosis. *Biomed. Res. Int.* 2014; 2014: 172646. <https://doi.org/10.1155/2014/172646>
30. Лукин М.В., Филин Я.А., Звездина В.В., Береговский Д.А., Ефимцев А.Ю., Труфанов Г.Е. Динамическая контрастная магнитно-резонансная перфузия головного мозга у детей с краниосиностозами. *Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье*. 2024; 14 (6): 151–158. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.6.MIM.1>
Lukin M.V., Filin Ya.A., Zvezdin A.V. et al. Dynamic contrast magnetic resonance perfusion of the brain in children with craniosynostosis. *Bulletin of the Medical Institute "Reaviz": Rehabilitation, Doctor and Health*. 2024; 14 (6): 151–158. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.6.MIM.1> (In Russian)
31. Proisy M., Bruneau B., Rozel C. et al. Arterial spin labeling in clinical pediatric imaging. *Diagn Interv Imaging*. 2016; 97 (2): 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2015.09.001>
32. Pons-Escoda A., Smits M. Dynamic-susceptibility-contrast perfusion-weighted-imaging (DSC-PWI) in brain tumors: a brief up-to-date overview for clinical neuroradiologists. *Eur. Radiol.* 2023; 33 (11): 8026–8030. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09729-3>
33. Kellner-Weldon F., El-Koussy M., Jung S. et al. Cerebellar Hypoperfusion in Migraine Attack: Incidence and Significance. *Am. J. Neuroradiol.* 2018; 39 (3): 435–440. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5508>
34. Ишков С.В. Компьютерная томография в изучении хирургической анатомии задней черепной ямки. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2014; 3: 41–45. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2014-0-3-41-45>
Ishkov S.V. Computed tomography in the study of surgical anatomy of the posterior cranial fossa. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2014; 3: 41–45. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2014-0-3-41-45> (In Russian)
35. Vallengia S., Dremmen M.H., Mathijssen I.M. et al. Black Bone MRI vs. CT in temporal bone assessment in craniosynostosis: a radiation-free alternative. *Neuro-radiology*. 2025; 67 (1): 257–267. <https://doi.org/10.1007/s00234-024-03525-6>



Для корреспонденции*: Палеева Ирина Сергеевна – e-mail: paleewa.ir@yandex.ru

Палеева Ирина Сергеевна – ординатор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Москва. <http://doi.org/0009-0005-0557-1990>. E-mail: paleewa.ir@yandex.ru

Лукин Максим Владимирович – аспирант кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Москва. <http://doi.org/0000-0001-5008-954X>. E-mail: lukin.mv.radiology@gmail.com

Гладышев Никита Сергеевич – научный сотрудник НИИ морфологии человека им. акад. А.П. Авцына – филиал ФГБНУ “Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского”, Москва. <http://doi.org/0000-0003-2732-5676>. E-mail: krinege@mail.ru

Выshedkevich Елена Дмитриевна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог отделения магнитно-резонансной томографии ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Москва. <http://doi.org/0000-0001-9698-1795>. E-mail: vyshedkevich.ed@mail.ru

Ефимцев Александр Юрьевич – доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Москва. <http://doi.org/0000-0003-2249-1405>. E-mail: atralf@mail.ru

Труфанов Геннадий Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ “НМИЦ им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Москва. <http://doi.org/0000-0002-1611-5000>. E-mail: trufanovge@mail.ru

Contact*: Irina S. Paleeva – e-mail: paleewa.ir@yandex.ru

Irina S. Paleeva – a resident at the Department of Radiology and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <http://doi.org/0009-0005-0557-1990>. E-mail: paleewa.ir@yandex.ru

Maxim V. Lukin – postgraduate student at the Department of Radiology and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <http://doi.org/0000-0001-5008-954X>. E-mail: lukin.mv.radiology@gmail.com

Nikita S. Gladyshev – a researcher at the Scientific Research Institute of Human Morphology Named After Academician A.P. Avtsyn of the Petrovsky Russian Research Center of Surgery, Moscow. <http://doi.org/0000-0003-2732-5676>. E-mail: krinege@mail.ru

Elena D. Vyshedkevich – Cand. of Sci. (Med.), Radiologist of the Magnetic Resonance Imaging Department, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <http://doi.org/0000-0001-9698-1795>. E-mail: vyshedkevich.ed@mail.ru

Alexander Yu. Efimtsev – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor at the Department of Radiology and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <http://doi.org/0000-0003-2249-1405>. E-mail: atralf@mail.ru

Gennady E. Trufanov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiology and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center, Saint-Petersburg. <http://doi.org/0000-0002-1611-5000>. E-mail: trufanovge@mail.ru