

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ
ORIGINAL ARTICLE

<https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.6.MIM.1>
УДК 616.714.1-007.17-053.2:616-073.756.8:616.831-005



ДИНАМИЧЕСКАЯ КОНТРАСТНАЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ПЕРФУЗИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ С КРАНИОСИНОСТОЗАМИ

М.В. Лукин¹, Я.А. Филин¹, А.В. Звездин², Д.А. Береговский¹, А.Ю. Ефимцев¹, Г.Е. Труфанов¹

¹Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова, ул. Аккуратова, д. 2, г. Санкт-Петербург, 197341, Россия

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

Резюме. Краниосиностоз – раннее закрытие швов черепа, что приводит к его деформации, краниocereбральной диспропорции и может повлечь развитие внутричерепной гипертензии, стойких неврологических и когнитивных нарушений. Магнитно-резонансная томография, дополненная контрастной динамической МР-перфузией, позволяет детально оценить интракардиальные структуры, а также оценить показатели мозгового кровотока в зонах предполагаемой компрессии головного мозга у детей с краниосиностозами. *Цель исследования:* оценить показатели мозгового кровотока (CBV и CBF) у детей с краниосиностозами с помощью контрастной динамической МР-перфузии на дооперационном этапе. *Объект и методы.* Было обследовано 48 детей с различными видами краниосиностоза: у 10 (20 %) детей отмечался синостоз сагиттального шва, у 15 (31 %) – метопического шва, у 9 (19%) – коронарного шва с одной стороны, у 6 (13 %) – бикоронарный синостоз, у 2 (4 %) – лямбдовидный синостоз и у 6 (13 %) – поражение всех швов. Построение цветных перфузионных карт CBF и CBV осуществлялось с помощью системы *syngo.via* (Siemens). *Результаты.* По данным МР-перфузии при метопическом краниосиностозе в зонах компрессии (лобные доли) относительные показатели rCBV и rCBF составили $88,3 \pm 24,6$ % и $85,5 \pm 19,6$ % соответственно относительно теменно-затылочных областей. При монокоронарном синостозе в зоне компрессии (ипсилатеральная лобная доля) относительно контрлатеральной лобной доли равны $95,3 \pm 3,1$ % (rCBV) и $93,1 \pm 2,2$ %, (rCBF), а относительно затылочных долей – $84,4 \pm 5,2$ % (rCBV) и $87,3 \pm 8,2$ % (rCBF); при бикоронарном синостозе в лобных долях равны $86,2 \pm 19,7$ % (rCBV) и $86,4 \pm 14,7$ % (rCBF) относительно теменно-затылочных областей; при заращении сагиттального шва, в теменных долях относительно лобных и затылочных долей составили $99,1 \pm 3,2$ % (rCBV) и $98,1 \pm 2,4$ % (rCBF).

Ключевые слова: краниосиностоз; магнитно-резонансная томография; динамическая контрастная МР-перфузия; краниocereбральная диспропорция.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Соответствие нормам этики. Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая обязательное получение информированного согласия.

Для цитирования: Лукин М.В., Филин Я.А., Звездин А.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>



DYNAMIC CONTRAST-ENHANCED MAGNETIC RESONANCE PERFUSION OF THE BRAIN IN CHILDREN WITH CRANIOSYNOSTOSIS

Maksim V. Lukin¹, Yana A. Filin¹, Anton V. Zvezdin², Daniil A. Beregovskiy¹,
Aleksandr Yu. Efimtsev¹, Gennadiy E. Trufanov¹

¹Almazov National Medical Research Center, 2, Akkuratov St., St. Petersburg, 197341, Russia

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

Abstract. Craniosynostosis is the premature closure of cranial sutures, leading to skull deformation, cranio-cerebral disproportion, and potentially resulting in the development of intracranial hypertension, persistent neurological, and cognitive impairments. Magnetic resonance imaging (MRI) complemented by dynamic contrast-enhanced MR perfusion, allows for a detailed assessment of intracardiac structures, as well as evaluation of cerebral blood flow parameters in areas of suspected brain compression in children with craniosynostosis. *Purpose of the study:* evaluate cerebral blood flow parameters (CBV and CBF) in children with craniosynostosis using contrast-enhanced dynamic MR perfusion in the preoperative stage. *Object and methods.* Forty-eight children with various types of craniosynostosis were examined: 10 (20%) had sagittal suture synostosis, 15 (31%) had metopic suture synostosis, 9 (19%) had unilateral coronal suture synostosis, 6 (13%) had bicoronal synostosis, 2 (4%) had lambdoid synostosis, and 6 (13%) had involvement of all sutures. Color perfusion maps of CBF and CBV were constructed using the syngo.via system (Siemens). *Results.* According to MR perfusion data, in areas of compression (frontal lobes) relative rCBV and rCBF indices in metopic craniosynostosis were $88.3 \pm 24.6\%$ and $85.5 \pm 19.6\%$ respectively, compared to the occipito-parietal regions. In cases of unilateral coronal synostosis, in the compression zone (ipsilateral frontal lobe) relative to the contralateral frontal lobe, they were $95.3 \pm 3.1\%$ (rCBV) and $93.1 \pm 2.2\%$ (rCBF), and relative to the occipital lobes, $84.4 \pm 5.2\%$ (rCBV) and $87.3 \pm 8.2\%$ (rCBF). In cases of bicoronal synostosis, in the frontal lobes they were $86.2 \pm 19.7\%$ (rCBV) and $86.4 \pm 14.7\%$ (rCBF) relative to the occipito-parietal regions. In cases of sagittal suture closure, in the temporal lobes relative to the frontal and occipital lobes, they were $99.1 \pm 3.2\%$ (rCBV) and $98.1 \pm 2.4\%$ (rCBF).

Keywords: craniosynostosis; MRI; dynamic contrast-enhanced MR perfusion; craniocerebral disproportion.

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Funding. This research received no external funding.

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

Cite as: Lukin M.V., Filin Ya.A., Zvezdin A.V., Beregovskiy D.A., Efimtsev A.Yu., Trufanov G.E. Dynamic contrast-enhanced 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>

Введение

Краниосиностозы представляют собой группу заболеваний, характеризующихся преждевременным сращением одного или нескольких черепных швов, что приводит к характерным деформациям черепа. Данное состояние может протекать бессимптомно, но в ряде случаев приводит к повышению внутричерепного давления, развитию стойких неврологических и когнитивных нарушений [1].

В настоящее время наблюдается возрастающий интерес к изучению краниосиностозов, что обусловлено увеличением частоты данного состояния и расширением знаний о его генетических причинах [2, 3]. Согласно литературным данным, краниосиностозы встречаются у новорожденных с частотой 1:2100-2900 [4]. Особенно значительный рост диагностики этой патологии отмечен за последние два десятилетия по сравнению с предыдущими периодами.

С этиологической точки зрения краниосиностозы делятся на первичные и вторичные. В случаях первичных краниосиностозов преждевременное сращение швов связано с нарушениями развития на стадии эмбриогенеза. Вторичные краниосиностозы обусловлены механическими, метаболическими или тератогенными факторами, влияющими на плод во время внутриутробного развития. Примерно 85 % первичных краниосиностозов проявляются как изолированные случаи, тогда как 15 % связаны с мультисистемными синдромами. В изолированных слу-

чаях чаще всего происходит преждевременное закрытие только одного шва [4, 5]. Преждевременное сращение черепных швов ограничивает рост черепа в плоскости, перпендикулярной поражённому шву, с компенсаторным увеличением вдоль непоражённых швов. В зависимости от поражённого шва выделяют следующие типы деформаций черепа:

- скафоцефалия – преждевременное закрытие сагиттального шва;
- тригоцефалия – преждевременное закрытие метопического шва;
- передняя плагиоцефалия – одностороннее закрытие коронарного шва;
- брахицефалия – двустороннее закрытие коронарных швов;
- задняя плагиоцефалия – одностороннее закрытие лямбдовидного шва;
- туррицефалия – двустороннее закрытие лямбдовидных швов;
- оксикефалия – закрытие сагиттального и коронарных швов;
- деформация по типу «листа клевера» – закрытие сагиттального, коронарных и лямбдовидных швов.

Несмотря на то, что первичная диагностика краниосиностозов основывается на физикальном обследовании, методы лучевой диагностики являются ключевыми для подтверждения диагноза, планирования хирургического вмешательства и мониторинга в послеоперационном периоде.

На современном этапе для диагностики краниосиностозов и сопутствующей интракраниальной патологии широко используются различные методы лучевой диагностики, преимущественно рентгеновская компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) [6, 7].

КТ, используя различные режимы реконструкции, такие как мультипланарная реконструкция (MPR) и объёмный рендеринг (VRT), позволяет подробно оценить свод и основание черепа, а также лицевой скелет [8]. Этот метод является основным для постановки диагноза, планирования хирургических вмешательств и оценки ремоделирования черепа в позднем послеоперационном периоде [9, 10, 11]. Однако существенным недостатком КТ является лучевая нагрузка, которая может повышать риск развития онкологических заболеваний [12]. В этом контексте МРТ обладает ключевыми преимуществами, обеспечивая более детализированное изображение головного мозга, его оболочек и полостей без воздействия ионизирующего излучения. Тем не менее, МРТ имеет свои ограничения, включая низкую способность визуализации костных структур, продолжительность процедуры, высокую стоимость и необходимость анестезии у детей, что снижает его частоту использования по сравнению с КТ.

Показания к хирургическому лечению краниосиностозов включают повышение внутричерепного давления, развитие гидроцефалии и краниocereбральной диспропорции, что наиболее часто наблюдается при синдромальных или мультишовных не-синдромальных формах краниосиностозов [13].

Согласно исследованиям отечественных и зарубежных учёных, краниосиностоз первоначально вызывает нарушения мозгового кровотока, связанные с компрессией мозгового вещества костными черепом в областях закрытых швов. Клинические проявления, такие как задержка речевого развития, неврозоподобные расстройства и внутричерепная гипертензия, часто возникают значительно позже, после формирования краниocereбральной диспропорции [14].

В настоящее время существуют научные исследования, посвящённые оценке мозгового кровотока у детей с краниосиностозами с использованием однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) и МРТ с методикой бесконтрастной ASL-перфузии (Arterial Spin Labeling) [15, 16, 17]. Однако у этих методов есть существенные недостатки: ОФЭКТ сопровождается лучевой нагрузкой, а бесконтрастная МР-перфузия не позволяет полностью оценить все параметры мозгового кровотока.

Динамическая контрастная МР-перфузия головного мозга (Dynamic Susceptibility Contrast-Enhanced MR Perfusion, DCE-перфузия) представляет собой широко используемую методику, которая эффек-

тивно применяется для диагностики и мониторинга злокачественных опухолей головного мозга, а также их рецидивов [19]. Кроме того, DCE-перфузия используется при диагностике острых ишемических нарушений мозгового кровообращения (ОНМК) для различения «ядра ишемии» (зона необратимых изменений) и «ишемической полутени» (зона потенциально обратимых изменений).

Эта методика не является частью рутинной практики диагностики перфузионных нарушений головного мозга у детей с краниосиностозами. В зарубежных исследованиях встречаются редкие случаи применения бесконтрастной ASL-перфузии, которая, хотя и не требует внутривенного введения парамагнитного контрастного вещества, предоставляет данные только о скорости мозгового кровотока (rCBF) [16, 17, 20]. Применение DCE-перфузии позволяет оценивать более широкий спектр показателей мозгового кровообращения, таких как объём церебрального кровотока (Cerebral Blood Volume – CBV), измеряемый по площади под кривой; время достижения пиковой концентрации (Time to Peak – TTP) соответствующее центру тяжести или пиковым значениям на графике; время транзита контрастного вещества (Mean Transit Time – MTT), определяемое по ширине кривой. Скорость церебрального кровотока (Cerebral Blood Flow – CBF) рассчитывается по формуле: $CBF = CBV / MTT$.

Цель исследования: оценить перфузионные изменения головного мозга у детей с краниосиностозами путём выполнения контрастной динамической МР-перфузии с определением относительных показателей мозгового кровотока: объём мозгового кровотока (cerebral blood volume, rCBV) и скорость мозгового кровотока (cerebral blood flow, rCBF).

Объект и методы

В исследовании участвовали 48 детей с различными видами краниосиностоза: 10 (20 %) с синостозом сагиттального шва, 15 (31 %) с метопическим синостозом, 9 (19 %) с односторонним коронарным синостозом, 6 (13 %) с бикоронарным синостозом, 2 (4 %) с лямбдовидным синостозом и 6 (13 %) с поражением всех швов. Возраст детей колебался от 3 до 36 месяцев.

Исследование проводилось с использованием аппарата Magnetom Espree (Siemens) с магнитным полем 1,5 Тесла. Парамагнитное контрастное вещество вводилось внутривенно болюсным способом в дозировке 0,1 ммоль/кг. Все пациенты находились в состоянии медикаментозного сна.

Для оценки мозгового кровотока применялась последовательность «ep2d_perf», параметры которой указаны в таблице 1.

Таблица 1. Импульсная последовательность и параметры методики
Table 1. Pulse sequence and technique parameters

Последовательность	TE	TR	FoV	Slice thickness	Flip angle
ep2d_perf	1440	51	230	5.0	90

Цветные перфузионные карты CBF и CBV строились с использованием системы syngo.via (Siemens). После получения перфузионных карт вручную вы-

делялись зоны интереса (Region of Interest, ROI), включающие кортикально-субкортикальные области, наиболее подверженные компрессии, а также наиболее интактные участки головного мозга противоположного полушария. Показатели перфузии в зонах компрессии рассчитывались относительно интактных зон, которые принимались за 100 % (рис. 1).



Рисунок 1. Построение перфузионной карты CBV у пациента с метопическим синозомозом. Относительные показатели перфузии указаны стрелками

Figure 1. Construction of CBV perfusion map in a patient with metopic synostosis. Relative perfusion values are indicated by arrows

Результаты

По данным МР-перфузии при метопическом кра-ниосиностозе в зонах компрессии (лобные доли) относительные показатели rCBV и rCBF составили $88,3 \pm 24,6 \%$ и $85,5 \pm 19,6 \%$ соответственно относительно теменно-затылочных областей (рис. 1).

При монокоронарном синозомозе в зоне компрес-сии (ипсилатеральная лобная доля) относительно контрлатеральной лобной доли равны $95,3 \pm 3,1 \%$ (rCBV) и $93,1 \pm 2,2 \%$, (rCBF), а относительно заты-лочных долей $84,4 \pm 5,2\%$ (rCBV) и $87,3 \pm 8,2 \%$ (rCBF) (рис. 2); при бикоронарном синозомозе в лобных до-

лях равны $86,2 \pm 19,7 \%$ (rCBV) и $86,4 \pm 14,7 \%$ (rCBF) относительно теменно-затылочных областей (рис. 3); при заращении сагиттального шва, в темен-ных долях относительно лобных и затылочных до-лей составили $99,1 \pm 3,2 \%$ (rCBV) и $98,1 \pm 2,4 \%$ (rCBF) (рис. 4).

Анализируя полученные данные, при метопиче-ских, моно- и бикоронарных кра-ниосиностозах по-казатели rCBV и rCBF были снижены в зонах ком-прессии относительно интактных зон, при сагит-тальном синозомозе показатели МР-перфузии прак-тически не отличались.

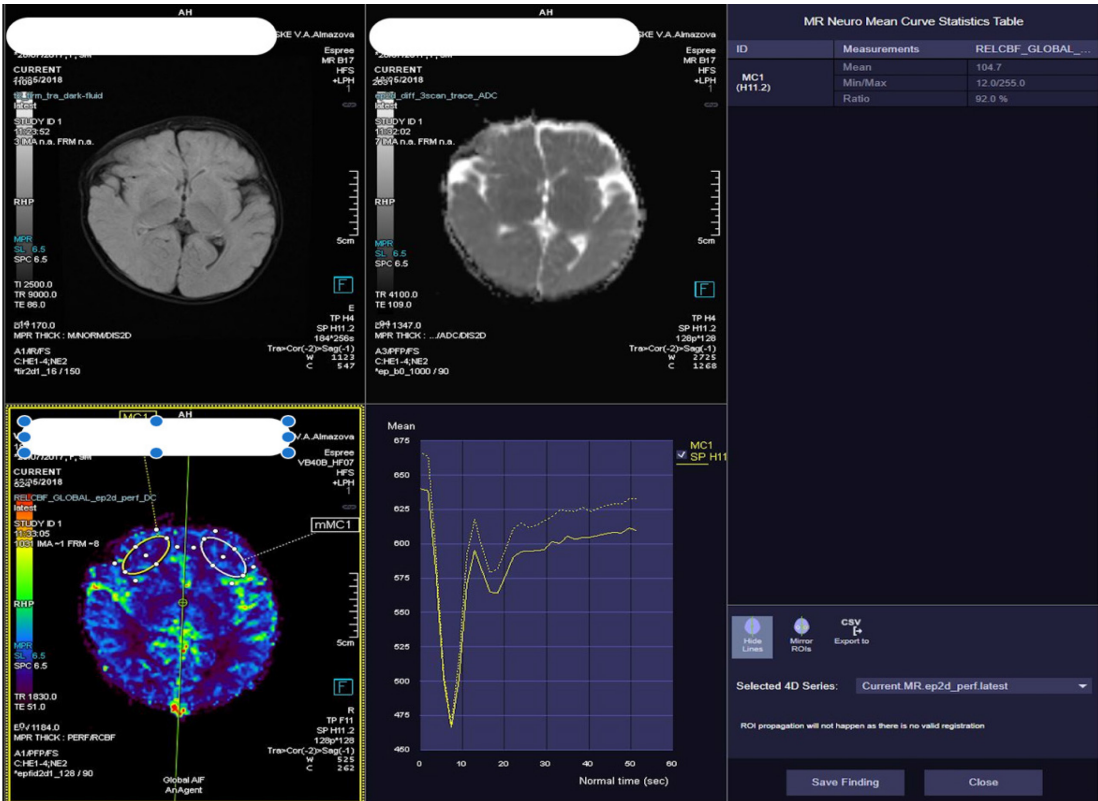


Рисунок 2. Построение перфузионной карты CBF у пациента с правосторонним коронарным синозтозом
Figure 2. Construction of CBF perfusion map in a patient with right coronal synostosis

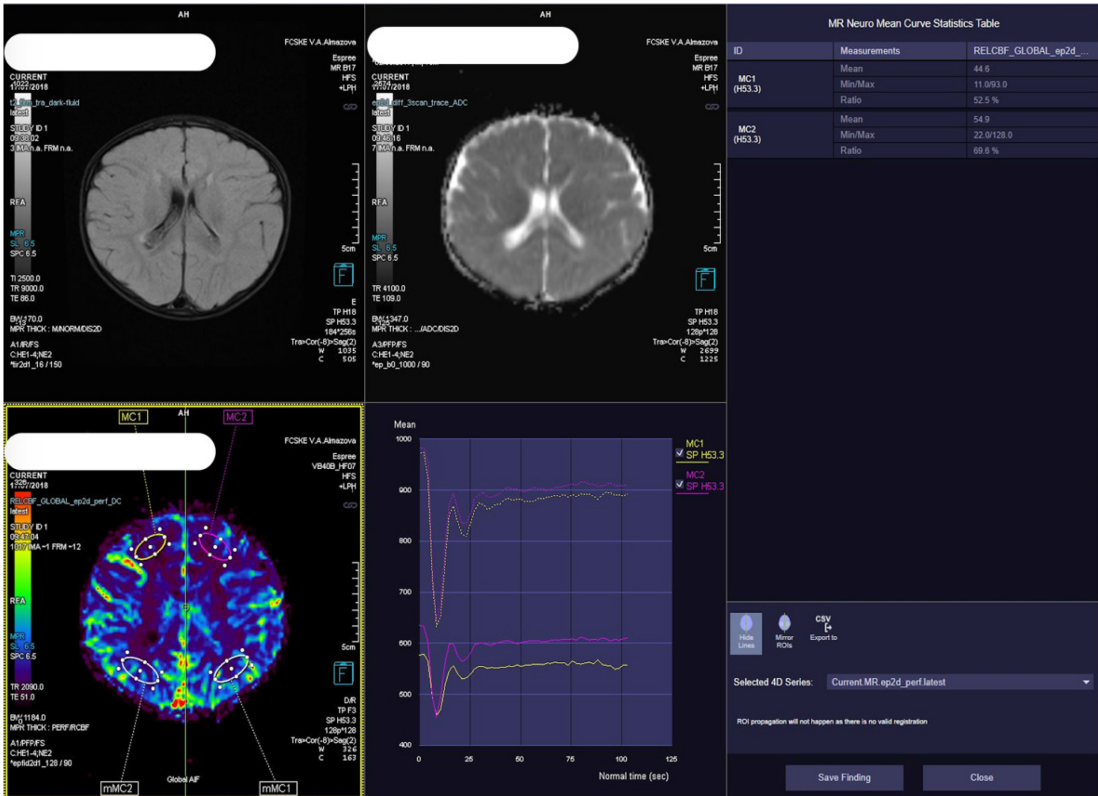


Рисунок 3. Построение перфузионной карты CBF у пациента с бикоронарным синозтозом
Figure 3. Construction of CBF perfusion map in a patient with bicoronal synostosis



Рисунок 4. Построение перфузионной карты CBF у пациента с сагиттальным синостозом
Figure 4. Construction of CBF perfusion map in a patient with sagittal synostosis

Обсуждение

На сегодняшний день уровень выявляемости как синдромальных, так и несиндромальных краниосиностозов остаётся достаточно низким [14, 18]. Кроме того, в настоящее время не существует унифицированного алгоритма для диагностики краниосиностозов с использованием лучевых методов. Поэтому диагностический план разрабатывается индивидуально, учитывая поставленный диагноз, выявленные особенности заболевания и сроки планируемого хирургического вмешательства [11].

КТ остаётся предпочтительным методом для выполнения компьютерной краниометрии, моделирования и планирования хирургических вмешательств, а также для изготовления индивидуальных шаблонов и имплантов. КТ также помогает в выборе и использовании дистракционных устройств. Однако, поскольку проведение КТ связано с лучевой нагрузкой, этот метод рекомендуется применять только по особым показаниям и не чаще одного раза в 6-12 месяцев.

Магнитно-резонансная томография предоставляет более детализированную информацию о краниовертебральных соотношениях и ликворных системах. Однако без использования дополнительных методик МРТ не позволяет оценить состояние мозгового кровотока в зонах компрессии.

В ходе нашего исследования у детей с сагиттальным краниосиностозом не было выявлено существенного снижения перфузии в предполагаемых

зонах компрессии головного мозга. Это согласуется с отсутствием у большинства пациентов данной группы выраженных неврологических нарушений и признаков повышения внутричерепного давления.

У одного пациента со скафоцефалией была диагностирована моторная алалия, а у трёх других наблюдалось незначительное снижение мышечного тонуса, преимущественно в нижних конечностях.

Наиболее низкие показатели мозгового кровотока были зафиксированы у детей с метопическим краниосиностозом. Средний возраст детей с тригоноцефалией в нашем исследовании составлял 10 месяцев. У этих пациентов выявлялись различные неврологические нарушения, включая расходящееся косоглазие, парез мимической мускулатуры, незначительное повышение мышечного тонуса по пирамидному типу, задержка речевого развития и диффузное умеренное или выраженное снижение мышечного тонуса, которое наблюдалось у большинства пациентов.

Некоторые исследователи (de Planque С.А. и соавт.) не обнаружили снижения показателя CBF в лобных долях у пациентов с краниосиностозом, используя метод ASL-перфузии [20]. Они предполагают, что это может быть связано с недостаточной компрессией соответствующих зон головного мозга у детей в возрасте от 0 до 18 месяцев, а также с низкой вероятностью повышения внутричерепного давления в этом возрасте [21, 22].

Сравнение с результатами нашего исследования показывает, что различия в показателях перфузии обусловлены именно применяемой методикой исследования, а не возрастом пациентов.

Выводы

Результаты нашего исследования продемонстрировали, что использование контрастной динамической МР-перфузии позволяет эффективно оце-

нивать перфузионные изменения в головном мозге, определяя объём (cerebral blood volume, rCBV) и скорость мозгового кровотока (cerebral blood flow, rCBF). Это служит дополнительным критерием для принятия решений о необходимости хирургического вмешательства, а также является инструментом для динамического контроля в послеоперационном периоде как на ранних, так и на поздних стадиях.

Литература [References]

- Kim HJ, Roh HG, Lee IW. Craniosynostosis: Updates in Radiologic Diagnosis. *J Korean Neurosurg Soc.* 2016 May;59(3):219-226. <https://doi.org/10.3340/jkns.2016.59.3.219>. Epub 2016 May 10. PMID: 27226852; PMCID: PMC4877543.
- Neusel C, Class D, Eckert AW, Firsching R, Göbel P, Götz D, Haase R, Jorch G, Köhn A, Kropf S, Patzer L, Schanze I, Zahl C, Rissmann A. Multi-centre approach to epidemiological aspects of craniosynostosis in Germany. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2018 Nov;56(9):881-886. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2018.10.003>. Epub 2018 Oct 22. PMID: 30360905.
- Lattanzi W, Barba M, Di Pietro L, Boyadjiev SA. Genetic advances in craniosynostosis. *Am J Med Genet A.* 2017 May;173(5):1406-1429. <https://doi.org/10.1002/ajmg.a.38159>. Epub 2017 Feb 4. PMID: 28160402; PMCID: PMC5397362.
- Озерова В.И., Корниенко В.Н., Рогинский В.В., Сатанин Л.А., Горелышев С.К., Иванов А.Л., Васильева О.Ю., Яковлев С.Б., Леменева Н.Б., Сорокин В.С., Сахаров А.В. Современные методы нейровизуализации в диагностике краниосиностозов у детей. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2009;4-6. Ozerova V.I., Korniyenko V.N., Roginsky V.V., Satanin L.A., Gorelyshev S.K., Ivanov A.L., Vasilyeva O.Yu., Yakovlev S.B., Lemeneva N.V., Sorokin V.S., Sakharov A.V. Current neuroimaging techniques in the diagnosis of childhood craniosynostosis. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine.* 2009;4-6. (In Russ).
- Nagaraja S, Anslow P, Winter B. Craniosynostosis. *Clin Radiol.* 2013 Mar;68(3):284-292. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2012.07.005>. Epub 2012 Aug 28. PMID: 22939693.
- Рогинский В.В. и соавт. Актуальные вопросы диагностики и хирургического лечения детей с краниосиностозами. *Нейрохирургия и неврология детского возраста.* 2019;1(19):56-73. Roginsky V.V. et al. Current issues of diagnostics and surgical treatment of children with craniosynostosis. *Neurosurgery and neurology of childhood.* 2019;1(19):56-73. (In Russ).
- Massimi L, Bianchi F, Frassanito P, Calandrelli R, Tamburrini G, Caldarelli M. Imaging in craniosynostosis: when and what? *Childs Nerv Syst.* 2019 Nov;35(11):2055-2069. <https://doi.org/10.1007/s00381-019-04278-x>. Epub 2019 Jul 9. PMID: 31289853.
- Решчиков Д.А., Лопатин А.В., Холин А.А., Ясонов С.А., Васильев И.Г., Кугушев А.Ю. Диагностика и лечение сагиттального краниосиностоза у детей старше 2 лет. Голова и шея. *Российский журнал Head and neck. Russian Journal.* 2021;9(1):10-19. Reshchikov D.A., Lopatin A.V., Kholin A.A., Yasonov S.A., Vasiliev I.G., Kugushev A.Yu. Diagnostics and treatment of sagittal craniosynostosis in children over 2 years old. *Head and neck. Russian Journal.* 2021;9(1):10-19. (In Russ).
- Badve CA, K MM, Iyer RS, Ishak GE, Khanna PC. Craniosynostosis: imaging review and primer on computed tomography. *Pediatr Radiol.* 2013 Jun;43(6):728-42; quiz 725-7. <https://doi.org/10.1007/s00247-013-2673-6>. Epub 2013 May 2. PMID: 23636536.
- Leonhardt Y, Kronthaler S, Feuerriegel G, Karampinos DC, Schwaiger BJ, Pfeiffer D, Makowski MR, Koerte IK, Liebig T, Woertler K, Steinborn MM, Gersing AS. CT-like MR-derived Images for the Assessment of Craniosynostosis and other Pathologies of the Pediatric Skull. *Clin Neuro-radiol.* 2023 Mar;33(1):57-64. <https://doi.org/10.1007/s00062-022-01182-x>. Epub 2022 Jun 28. PMID: 35763060; PMCID: PMC10014729.
- Сатанин Л.А., Горелышев С.К. Клинические рекомендации «Хирургическое лечение несиндромальных краниосиностозов у детей». Ассоциация нейрохирургов России. 2015;24. Satanin L.A., Gorelyshev S.K. Clinical recommendations "Surgical treatment of nonsyndromic craniosynostosis in children". *Association of neurosurgeons of Russia.* 2015;24. (In Russ).
- Brenner D, Elliston C, Hall E, Berdon W. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2001 Feb;176(2):289-296. <https://doi.org/10.2214/ajr.176.2.1760289>. PMID: 11159059.
- Da Costa AC, Anderson VA, Savarirayan R, Wrennall JA, Chong DK, Holmes AD, Greensmith AL, Meara JG. Neurodevelopmental functioning of infants with untreated single-suture craniosynostosis during early infancy. *Childs Nerv Syst.* 2012 Jun;28(6):869-877. <https://doi.org/10.1007/s00381-011-1660-1>. Epub 2012 Jan 14. PMID: 22246335.
- Суфианов А.А., Гаибов С.С.-Х., Суфианов Р.А. Несиндромальные краниосиностозы: современное состояние проблемы. *Рос вестн перинатол и педиат.* 2013;6. Sufianov A.A., Gaibov S.S.-Kh., Sufianov R.A. Non-syndromic craniosynostoses: current state of the problem. *Ros Vestn Perinatol i Pediat.* 2013;6. (In Russ). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nesindromalnye-kraniosinostozy-sovremennoe-sostoyanie-problemy>
- Barik M, Bajpai M, Das RR, Malhotra A, Panda SS, Sahoo MK, Dwivedi S. Role of 99mTc-ECD SPECT in the management of children with craniosynostosis. *Biomed Res Int.* 2014;2014:172646. <https://doi.org/10.1155/2014/172646>. Epub 2014 Apr 16. PMID: 24987670; PMCID: PMC4009198.
- Doerga PN, Lequin MH, Dremmen MHG, den Ottelander BK, Mauff KAL, Wagner MW, Hernandez-Tamames JA, Versnel SL, Joosten KFM, van Veelen MC, Tasker RC, Mathijssen IMJ. Cerebral blood flow in children with syndromic craniosynostosis: cohort arterial spin labeling studies. *J Neurosurg Pediatr.* 2019 Dec 27:1-11. <https://doi.org/10.3171/2019.10.PEDS19150>. Epub ahead of print. PMID: 31881544.
- Proisy M, Bruneau B, Rozel C, Tréguier C, Chouklati K, Riffaud L, Darnault P, Ferré JC. Arterial spin labeling in clinical pediatric imaging. *Diagn Interv Imaging.* 2016 Feb;97(2):151-8. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2015.09.001>. Epub 2015 Oct 9. PMID: 26456912.
- Ясонов С.А. Синдромальные краниосиностозы: основные клинические проявления и современные возможности реабилитации. *Педиатрия. Журнал им. Г. Н. Сперанского.* 2012;5. Yasonov S.A. Syndromic craniosynostoses: main clinical manifestations and modern rehabilitation possibilities. *Pediatrics. Journal named after G.N. Speransky.* 2012;5. (In Russ). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sindromalnye-kraniosinostozy-osnovnyye-klinicheskie-proyavleniya-i-sovremennyye-vozmozhnosti-reabilitatsii>
- Rebrikova VA, Sergeev NI, Padalko VV, Kotlyarov PM, Solodkiy VA. Vozmozhnosti MR-perfuzii v otsenke éffektivnosti lecheniia zlo-kachestvennykh opukholei golovnogogo mozga [The use of MR perfusion in assessing the efficacy of treatment for malignant brain tumors]. *Zh Vopr Neirokhir Im N N Burdenko.* 2019;83(4):113-120. Russian. <https://doi.org/10.17116/neiro20198304113>. PMID: 31577277.

- 20 de Planque CA, Mutsaerts HJMM, Keil VC, Erler NS, Dremmen MHG, Mathijssen IMJ, Petr J. Using Perfusion Contrast for Spatial Normalization of ASL MRI Images in a Pediatric Craniosynostosis Population. *Front Neurosci.* 2021 Jul 19;15:698007. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.698007>. PMID: 34349619; PMCID: PMC8326566.
- 21 Cornelissen MJ, Loudon SE, van Doorn FEC, Muller RPM, van Veelen MC, Mathijssen IMJ. Very low prevalence of intra-cranial hypertension in trigonocephaly. *Plast Reconstr Surg.* 2017;139:97e-104e.
- 22 Maltese G, Tarnow P, Wikberg E, et al. Intracranial volume before and after surgical treatment for isolated metopic synostosis. *J Craniofac Surg.* 2014;25:262-266.

Авторская справка**Лукин Максим Владимирович**

Аспирант кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ИМО, НМИЦ им. В.А. Алмазова.
ORCID 0000-0001-5008-954X; lukin.mv.radiology@gmail.com
Вклад автора: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка материала, написание текста.

Филин Яна Альбертовна

Ординатор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ИМО, НМИЦ им. В.А. Алмазова.
ORCID 0009-0009-0778-6396; filin_yana@mail.ru
Вклад автора: обработка данных, редактирование текста.

Звездин Антон Викторович

Студент 6 курса педиатрического факультета, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет.
ORCID 0009-0004-4731-5250; antonzvezdin@yandex.ru
Вклад автора: анализ литературных данных, обзор литературы.

Береговский Даниил Андреевич

Ординатор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ИМО, НМИЦ им. В.А. Алмазова.
ORCID 0009-0008-7964-7857; bereg.daniil96@mail.ru
Вклад автора: анализ литературных данных, обзор литературы.

Ефимцев Александр Юрьевич

Д-р мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ИМО, НМИЦ им. В.А. Алмазова.
ORCID 0000-0003-2249-1405; atralf@mail.ru
Вклад автора: перевод с английского языка, подбор научной литературы.

Труфанов Геннадий Евгеньевич

Д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ИМО, НМИЦ им. В.А. Алмазова.
ORCID 0000-0002-1611-5000; trufanovge@mail.ru
Вклад автора: редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи для последующей публикации.

Author's reference**Maksim V. Lukin**

Postgraduate student of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, V.A. Almazov National Medical Research Center.
ORCID 0000-0001-5008-954X; lukin.mv.radiology@gmail.com
Author's contribution: development of the concept and design of the study, collection and processing of material, writing the text.

Yana A. Filin

Resident of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, V.A. Almazov National Medical Research Center.
ORCID 0009-0009-0778-6396; e-mail: filin_yana@mail.ru
Author's contribution: data processing, text editing.

Anton V. Zvezdin

6th year student of the pediatric faculty, St. Petersburg State Pediatric Medical University.
ORCID 0009-0004-4731-5250; antonzvezdin@yandex.ru
Author's contribution: analysis of literary data, literature review.

Daniil A. Beregovskiy

Resident of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, V.A. Almazov National Medical Research Center.
ORCID 0009-0008-7964-7857; bereg.daniil96@mail.ru
Author's contribution: analysis of literary data, literature review.

Aleksandr Yu. Efimtsev

Dr. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, V.A. Almazov National Medical Research Center.
ORCID 0000-0003-2249-1405; e-mail: atralf@mail.ru
Author's contribution: translation from English, selection of scientific literature.

Gennadiy E. Trufanov

Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with the Clinic at the Institute of Medical Education, V.A. Almazov National Medical Research Center.
ORCID 0000-0002-1611-5000; e-mail: trufanovge@mail.ru
Author's contribution: text editing, approval of the final version of the article for subsequent publication.