

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ И 3D ПЕЧАТИ В ПРЕОПЕРАЦИОННОМ ПЛАНИРОВАНИИ КРАНИОПЛАСТИКИ И ПРЕОПЕРАЦИОННОМ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОМ ТРЕНИНГЕ ПРИ ЛЕЧЕНИИ КРАНИОСИНОСТОЗОВ

Суфианов Альберт Акрамович^{1,2}, Машкин Андрей Михайлович^{1,2}, Якимов Юрий Алексеевич^{1,2},
Гайсин Ильшат Альбертович¹, Устюгова Лидия Владимировна², Суфианов Ринат Альбертович¹

¹Первый МГМУ им. И. М. Сеченова, г. Москва, Российская Федерация

²Федеральный центр нейрохирургии, г. Тюмень, Российская Федерация

ORCID: Суфианов А. А. — 0000-0001-7580-0385

ORCID: Якимов Ю. А. — 0000-0001-6675-2051

ORCID: Гайсин И. А. — 0000-0002-3707-1342

ORCID: Суфианов Р. А. — 0000-0003-4031-0540

sufianov@gmail.com

DOI: 10.46594/2687-0037_2022_4_1442

Аннотация. На примере клинического случая нами было использовано программное 3D моделирование реконструкции формы черепа ребенка 2 года 5 мес. с метопическим краниосиностомозом, а также мануальная отработка с помощью краниотома на индивидуальной 3D модели черепа пациента до оперативного вмешательства. Также проведена интраоперационная оценка полученного результата на визуальном сканере. Цель исследования. Улучшение результата хирургического лечения ребенка с метопическим краниосиностомозом с использованием предоперационного 3D планирования. С целью предоперационного планирования мы использовали алгоритм с включением 3D технологий: предоперационное моделирование на программном обеспечении, моделирование операции на пластиковых моделях черепа, выполнение оперативного вмешательства по линиям краниотомии, интраоперационное визуальное сканирование и оценка результатов реконструкции черепа. **Заключение.** Проведенные предоперационные 3D моделирования черепа сформировали полный план индивидуальных реконструктивных изменений черепа у нашего пациента с метопическим краниосиностомозом в возрасте старше двух лет. Это позволило ускорить проведение операции, снизить кровопотерю, длительность анестезии, снизить травматичность операции, что улучшает результаты хирургического лечения.

Ключевые слова: краниосиностомоз, 3D моделирование, предоперационное планирование, реконструктивная хирургия.

Для цитирования: Суфианов А. А., Машкин А. М., Якимов Ю. А., Гайсин И. А., Устюгова Л. В., Суфианов Р. А. Применение методов 3D моделирования и 3D печати в предоперационном планировании краниопластики и предоперационном персонализированном тренинге при лечении краниосиностомозов // Виртуальные технологии в медицине. 2022. Т. 1, № 4. DOI: 10.46594/2687-0037_2022_4_1442

Поступила в редакцию 15 июня 2022 г.

Поступила после рецензирования 29 ноября 2022 г.

Принята к публикации 01 декабря 2022 г.

APPLICATION OF 3D MODELING AND 3D PRINTING METHODS IN PREOPERATIVE PLANNING OF CRANIOPLASTY AND PREOPERATIVE PERSONALIZED TRAINING IN TREATMENT CRANIOSYNOSTOSES

Albert Sufianov^{1, 2}, Andrei Mashkin^{1, 2}, Iurii Iakimov^{1, 2}, IIschat Gaisin¹, Lidiya Ustiugova², Rinat Sufianov¹

¹I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation;

²Federal Center of Neurosurgery, Tyumen, Russian Federation

Annotation. On the example of a clinical case, we used software 3D modeling of the reconstruction of the shape of the skull of a child aged 2 years and 5 months with metopic craniosynostosis, as well as manual training using a craniotomy on an individual 3D model of the patient's skull before surgery. The use of a plastic 3D model of a particular patient made it possible to conduct a "trial, training operation" to work out the optimal osteotomy geometry. An intraoperative evaluation of the result obtained on a visual scanner was also carried out. Purpose of the study. Improving the result of surgical treatment of a child with metopic craniosynostosis using preoperative 3D planning and personalized simulation of a planned operation. For the purpose of preoperative planning we used an algorithm with the inclusion of 3D technologies: preoperative modeling on software, simulation of surgery on plastic models of the skull, surgical intervention along craniotomy lines, intraoperative visual scanning and assessment of the results of skull reconstruction. Conclusion. The preoperative 3D modeling of the skull formed a complete plan for individual reconstructive changes in the skull in our patient with metopic craniosynostosis over the age of two years, and allowed us to perform a "trial, training operation" on a plastic model to work

out the optimal osteotomy geometry. This made it possible to provide the optimal technique for a real operation, speed up its implementation, reduce trauma and blood loss, the duration of anesthesia, and, in combination, improve the results of surgical treatment.

Keywords: craniostynostosis, 3D modeling, preoperative planning, reconstructive surgery.

For quoting: Sufianov A. A., Mashkin A. M., Iakimov I. A., Gaisin I. A., Ustiugova L. B., Sufianov R. A. Application of 3D Modeling and 3D Printing Methods in Preoperative Planning of Cranioplasty and Preoperative Personalized Training in Treatment Craniosynostoses // Virtual Technologies in Medicine. 2022. T. 1, № 4. DOI: 10.46594/2687-0037_2022_4_1442

Received June, 15 2022

Revised November, 29 2022

Accepted December, 01 2022

Введение

Нейрохирургия — одна из самых сложных и высокотехнологичных хирургических специальностей. Краниосиноз — патология развития, характеризующаяся преждевременным зарастанием одного или более швов черепа с последующим развитием деформации черепа, которая в свою очередь приводит к хронической или острой внутричерепной гипертензии, нейрокогнитивным, двигательным и зрительным нарушениям [4, 5, 8].

Основным методом лечения краниосиноза у детей является хирургическая коррекция деформации черепа [3, 7]. При этом выполнение реконструктивно-пластических вмешательств требуют от хирурга не только высокого уровня мануальных навыков работы с костными структурами, но и объемным представлением правильной модели черепа, получаемой после операции. Ввиду разных форм краниосинозов, индивидуальных особенностей строения черепа, разного возраста пациентов очень важным этапом является предоперационное планирование костнопластических манипуляций [6]. Индивидуальные анатомические особенности пациента играют подчас ключевую роль в успехе операции. Выбор индивидуальной геометрии остеотомии целесообразно проводить до реальной операции, осуществляя симуляционный тренинг предстоящей операции на индивидуальной пластиковой 3D модели. Нами было использовано программное 3D моделирование реконструкции формы черепа пациента с метопическим краниосинозом, а также мануальная отработка с помощью краниотома на индивидуальной 3D модели черепа пациента до оперативного вмешательства [1, 2].

Цель исследования

Улучшение результата хирургического лечения ребенка с метопическим краниосинозом с использованием предоперационного 3D планирования и предоперационного персонализированного симуляционного тренинга.

Клинический случай

В ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава РФ г. Тюмень поступил ребенок, С., 2 года 5 мес. с диагнозом метопический краниосиноз. Родители пациента получили информацию о методах предоперационного планирования и оперативного лечения и подписали информированное согласие по Хельсинской декларации. Особенности хирургического вмешательства в таком возрасте — это большая

ригидность и толщина костей черепа, которые вынуждают хирурга проводить очень точные распилы и реконструкцию костей черепа. Поэтому в качестве базы для создания трехмерной реконструкции формы черепа пациента мы использовали изображения, получаемые при компьютерной томографии (КТ) на 640 срезовом сканере Aquilion One (Canon Medical Systems, USA). За счет большой скорости сканирования исследование было проведено без наркотизации пациента. В качестве инструмента для сегментации применяется программное обеспечение (ПО) Radiant (Poland), которое, в свою очередь, в полуавтоматическом режиме составляет дифференциальный ряд, по которому происходит градация плотности тканей и выделяется наиболее гиперденсивный компонент — костные структуры. Полученные сегментированные модели пригодны для дальнейшего импорта в специализированные ПО для программного планирования, а также для печати прототипов на 3D-принтерах.

В качестве инструмента программного предоперационного планирования было использовано специализированное ПО 3D Slicer (Osteotomy Planner 2.0) — платформа для прототипирования, разработки и оценки инструментов анализа изображений для клинических исследований.

Объектом для мануальной отработки краниопластики являются индивидуальные модели костей свода черепа, изготовленные методом аддитивной печати на FDM 3D-принтере Hercules Strong Duo (Inmprinta, Россия). Материалом для печати служит PLA-филамент, но также возможны и вариации более сложных субстратов с включением в состав гипса и карбоновых волокон. Практическая отработка разрезов на модели черепа была проведена с использованием краниотомной насадки Core2 (Striker, USA).

После проведенных 3D моделирований во время операции был сформирован полный план индивидуализированных реконструктивных изменений черепа у нашего пациента. Это позволило относительно быстро провести операцию, без излишней диссекции твердой мозговой оболочки, тем самым снижая риски кровопотери, излишней травматизации тканей.

Ручной 3D сканер Sense 2 (3D Systems, USA) с точностью сканирования 0,9 мм использовался для интраоперационного сканирования до и после пластики костей свода черепа для оценки объемных характеристик получаемой формы черепа.

Биорезорбируемые пластины и винты мы использовали для фиксации свободных и полусвободных костных лоскутов и частичного изменения формы костной пластинки. После того, как фрагменты реконструированной кости мы установили и зафиксировали, интраоперационно выполнили 3D-сканирование поверхности для документирования и оценки результатов реконструкции свода черепа.

Результаты и обсуждение

С целью предоперационного планирования мы использовали свой алгоритм с включением 3D технологий.

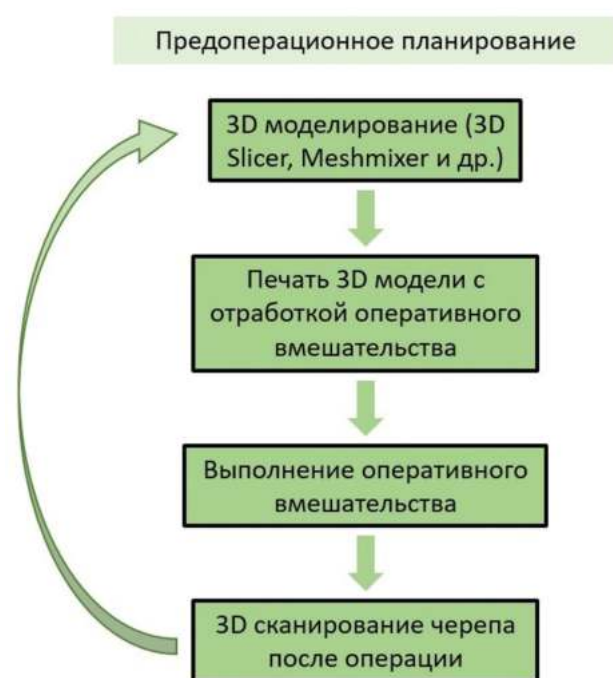


Рис. 1. Алгоритм предоперационного планирования хирургического вмешательства при краниосиностозе

На первом этапе мы использовали специализированное программное обеспечение 3D Slicer (Osteotomy Planner 2.0) или Meshmixer (Autodesk.Inc). Оно позволяет заранее моделировать операцию с костными лоскутами, которые в дальнейшем в трехмерной среде используются для формирования черепа.

Интраоперационная деформация формы черепа имитировалась в программной среде путем плоскостного рассечения модели черепа и перемещением фрагментов костей в определенное положение с помощью операций перетаскивания и деформаций костной пластинки. Данный инструмент предоперационного моделирования позволяет многократно повторять операции подбора оптимальной формы черепа и объема костной диссекции, что в дальнейшем позволяет достичь отличного объемного и косметического результата.

Второй этап включает в себя подготовку в программном обеспечении CURA (Ultimaker) модели черепа для печати и саму печать в 100% размере на 3D принтере.

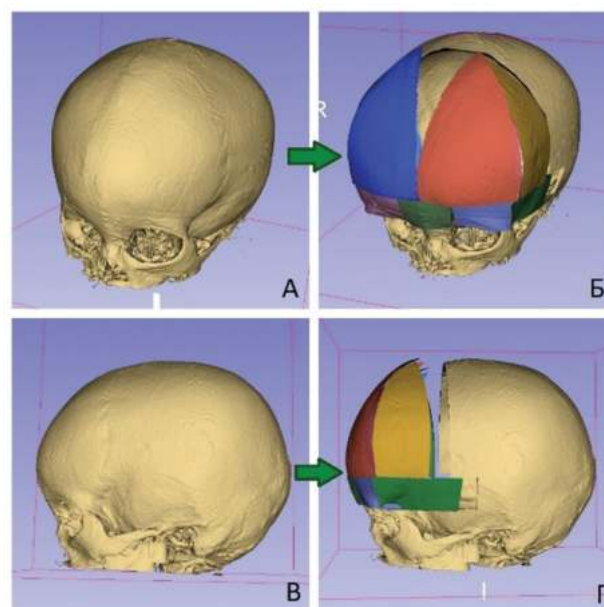


Рис. 2 Создание 3D модели в трехмерной среде с использованием 3D Slicer (Osteotomy Planner 2.0). А, В — 3 D модель черепа в косой и боковой проекциях по предоперационным СКТ данным, видна угловая деформация лобной кости по типу тригоноцефалии. Б, Г — модель черепа в косой и боковой проекции после проведения реконструктивных операций с костями лобной кости на программном обеспечении

Далее модель мы использовали для мануальной отработки операции по результатам компьютерного моделирования. Для этого в условиях лаборатории через нанесенные фрезевые отверстия на пластиковой модели мы проводили последовательные краниотомии с выпиливанием сначала свода, потом основания черепа с орбитотомией. При этом длина краниотома позволила провести последний этап в безопасной зоне от латеральных до медиальных стенок глазниц. Далее с помощью раутера проведена остеотомия в области наззион.

В результате проведенного предоперационного планирования краниопластики при метопическом краниосиностозе нами была выполнена разметка основных этапов операции маркером, что позволило сформировать оптимальный разрез кожи и апоневроза и оптимальную геометрию краниотомии.

Пользуясь во время операции пластиковой моделью черепа до и после реконструкций, мы легко находили линии краниотомии, что снизило общее операционное время, риски кровопотери, снизило дополнительную травматизацию диссекции твердой мозговой оболочки.

С помощью 3D сканера мы провели окончательное сравнение результата операции по увеличению объема и изменению формы после реконструкции черепа у пациента во время операции.

Это подтверждается результатами послеоперационной спиральной компьютерной томографии после операции у ребенка, хорошим косметическим результатом и объемными характеристиками.

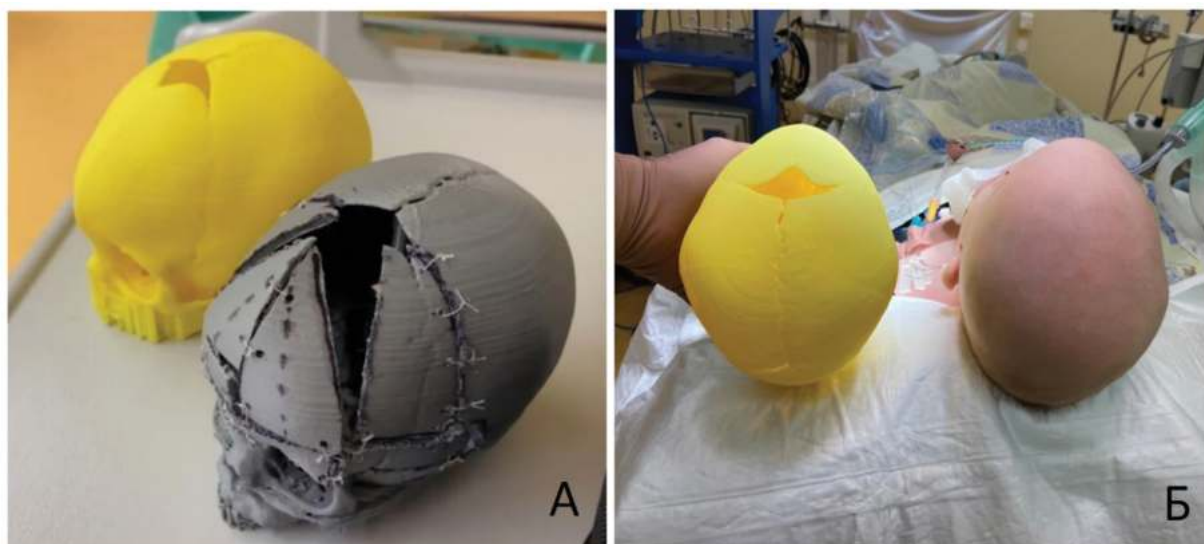


Рис. 3. Этап печати 3D модели и отработки операции. А. 3D модель черепа до (желтый) и после (серый) этапа мануальной отработки планируемой операции. Б. Соотношение размеров и формы пластиковой модели слева и головы ребенка справа на операционном столе.

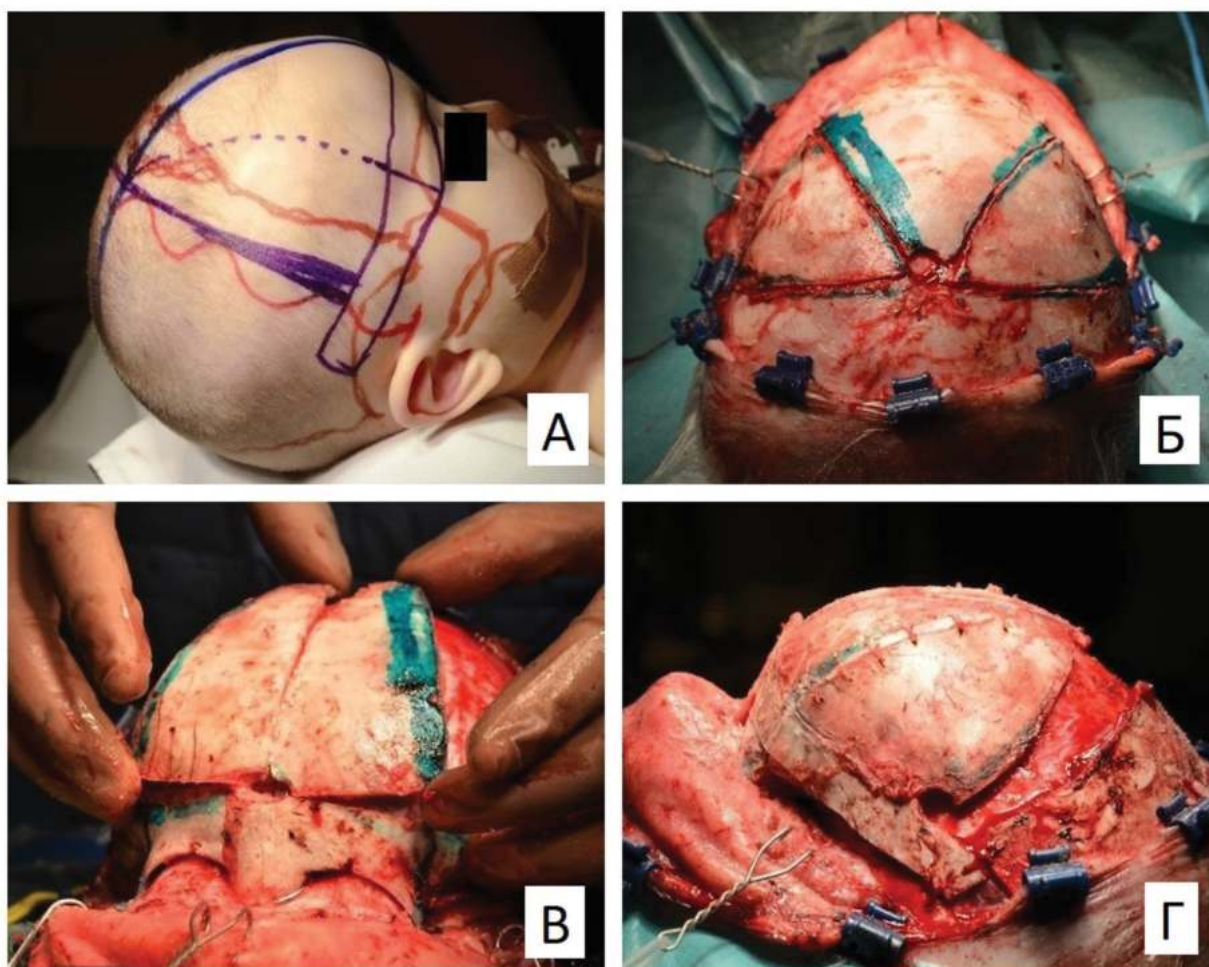


Рис. 4. Основные этапы оперативного вмешательства по созданным предоперационным 3D моделям краниопластики. А. Операционная разметка основных ориентиров и этапов операции маркером (синий — сагиттальный синус, фиолетовый — линии краниотомии, красный — разрез кожи и апоневроза, коричневый — швы черепа, контуры скуловой дуги и орбиты). Б. Вид сверху после скелетирования лобной кости и проведения краниотомии по запланированным линиям. В. Вид спереди после проведения краниотомии свода черепа со свободными костными лоскутами, этап моделирования черепа. Г. Вид сбоку после основных этапов реконструкции черепа с моделированием лобных бугров и формированием орбит

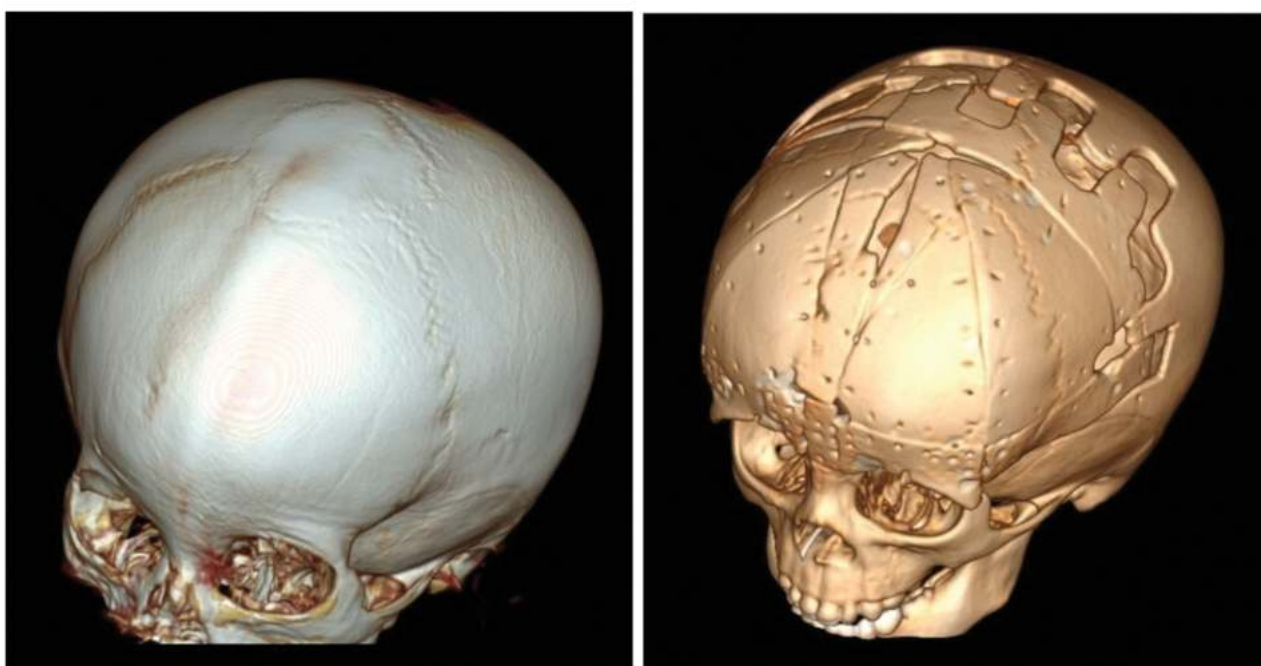


Рис. 5. Спиральная компьютерная томография с 3D моделированием до операции (слева) и после операции (справа). В сравнении 3D моделей видно выравнивание угловой деформации при тригоцефалии, формированием лобных бугров, коррекцией гипотелоризма

Заключение

Проведенные предоперационные 3D моделирования черепа сформировали полный план индивидуальных реконструктивных изменений черепа у нашего пациента с метопическим краниосиностозом в возрасте старше двух лет. Это позволило ускорить проведение операции, снизить кровопотерю, длительность анестезии, снизить травматичность операции, что улучшает результаты хирургического лечения. Выполнение тренинговой операции на пластиковой модели конкретного пациента позволило определить и подтвердить правильность выбора оптимальной геометрии краниотомии, исключить возможность ошибки на реальной операции. В итоге методика предоперационного персонализированного симуляционного тренинга позволила обеспечить оптимальную и безошибочную технику уже реальной операции, ускорить ее проведение, снизить травматичность и кровопотерю, длительность анестезии и в совокупности — улучшить результаты хирургического лечения.

Список литературы

1. Aoun R. J., Hamade Y. J., Zammar S. G., Patel N. P., Bendok B. R. Futuristic three-dimensional printing and personalized neurosurgery // *World Neurosurg.* 2015. № 84. P. 870–871.
2. Ghizoni E., de Souza J. P. S. A. S., Raposo-Amaral C. E., et al. 3D-Printed Craniosynostosis Model: New Simulation Surgical Tool // *World Neurosurgery.* 2018. 109. P. 356–361. DOI:10.1016/j.wneu.2017.10.025
3. Goyal A., Lu V. M., Yolcu Y. U., Elminawy M., Daniels D. J. Endoscopic versus open approach in craniosynostosis repair: a systematic review and meta-analysis of perioperative outcomes // *Childs Nerv Syst.* 2018. № 34(9). P. 1627–1637. DOI:10.1007/s00381-018-3852-4
4. Kajdic N., Spazzapan P., Velnar T. Craniosynostosis — Recognition, clinical characteristics, and treatment // *Bosn J of Basic Med Sci.* Published online June 17, 2017. DOI:10.17305/bjbm.2017.2083
5. Shlobin NA, Baticulon RE, Ortega CA, et al. Global Epidemiology of Craniosynostosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurgery* // Published online 2022. S1878875022007331. DOI:10.1016/j.wneu.2022.05.093
6. Soldozy S., Yağmurlu K., Akyeampong D. K., et al. Three-dimensional printing and craniosynostosis surgery // *Childs Nerv Syst.* 2021. 37(8). P. 2487–2495. DOI:10.1007/s00381-021-05133-8
7. Thompson D. R., Zurakowski D., Haberkern C. M., et al. Endoscopic Versus Open Repair for Craniosynostosis in Infants Using Propensity Score Matching to Compare Outcomes: A Multicenter Study from the Pediatric Craniofacial Collaborative Group // *Anesthesia & Analgesia.* 2018. № 126(3). P. 968–975. DOI:10.1213/ANE.0000000000002454
8. Touzé R., Bremond-Gignac D., Robert M. P. Ophthalmological management in craniosynostosis // *Neurochirurgie.* 2019. № 65(5). P. 310–317. DOI:10.1016/j.neuchi.2019.09.016