

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ КРАНИОПЛАСТИКИ

С.Д. Карибай, А.Е. Кыдыров

АО «Национальный центр нейрохирургии»

г. Астана, Казахстан

Резюме. Исследование методов краниопластики началось еще в древние времена, согласно данным археологических исследований применение краниопластики датируется 7000 годом до нашей эры. Так, краниопластика применялась многими древними цивилизациями, включая инков, бриттов, азиатов, жителей Северной Африки и полинезийцев.

Показаниями к краниопластике является защита подлежащей паренхимы головного мозга, так как отсутствие костного лоскута и деформация головного мозга в послеоперационном периоде могут привести к развитию посттрепанационного синдрома, включающего различные проявления такие как головную боль, возникновение судорожного синдрома, поведенческие расстройства, метеозависимость. Закрытие дефектов костей черепа путем реконструкции приводит к нормализации внутричерепного давления, восстанавливая ликворо- и гемодинамику, улучшает мозговой метаболизм. Краниопластика оказывает весомое влияние на качество жизни пациентов, помогая им в восстановлении социальной активности и помогая вернуться в трудовую деятельность.

Авторы пришли к выводу, что данная проблема на сегодняшний день продолжает оставаться актуальной, несмотря на разработку новых методик и использование новых материалов для краниопластики, зафиксировали, что не существует общепринятых определённых алгоритмов и рекомендаций по выбору материалов и методик.

Ключевые слова: краниопластика, аутопластика, аллопластика, гетеропластика, имплантаты, титановые пластины, здоровье, операция.

MODERN ASPECTS OF CRANIOPLASTY

S.D. Karibay, A.Y. Kydyrov

JSC National Center for Neurosurgery

Astana, Kazakhstan

Summary. Research into cranioplasty methods began in ancient times; according to archaeological research, the use of cranioplasty dates back to 7000 BC. Thus, cranioplasty was used by many ancient civilizations, including the Incas, Britons, Asians, North Africans and Polynesians.

Indications for cranioplasty are the protection of the underlying brain parenchyma, since the absence of a bone flap and deformation of the brain in the postoperative period can lead to the development of post-trepanation syndrome, including various manifestations such as headache, occurrence of convulsive syndrome, behavioral disorders, weather dependence. Closing skull bone defects through reconstruction leads to normalization of intracranial pressure, restoring cerebrospinal fluid and hemodynamics, and improves cerebral metabolism. Cranioplasty has a significant impact on the quality of life of patients,

Authors came to the conclusion that today it remains relevant, despite the development of new techniques and the use of new materials for cranioplasty, there are no specific algorithms and recommendations for the selection of materials.

Key words: cranioplasty, autoplasty, alloplasty, heteroplasty, implants, titanium plates, health, surgery.

Введение. Травматизм имеет большую социально-экономическую значимость, поскольку приводит к высокому уровню нетрудоспособности и медико-социальным последствиям: инвалидности и смертности. Ежегодно во всем мире от травм умирает более 5 миллионов человек [1]. Из насчитывающихся сейчас в мире 300 млн. инвалидов значительную часть составляют жертвы дорожно-транспортных происшествий. При этом при тяжелой черепно-мозговой травме, а также при опухолях костей свода черепа, иногда опухолях головного мозга и нарушении мозгового кровообращения продолжает оставаться актуальным и востребованным такой метод лечения и спасения жизни пациента, как декомпрессивная трепанация. Применение этого метода приводит в конечном счете к отсутствию костного лоскута и деформации головного мозга в послеоперационном периоде, что в свою очередь является материальной основой развития посттрепанационного синдрома. Для предотвращения развития данных нарушений должна выполняться краниопластика. Реконструкция костей черепа обеспечивает адекватную биомеханическую защиту мозга, нормализует внутричерепное давление, влияет положительно на ликворо- и гемодинамику, улучшает мозговой метаболизм.

Поиск материалов и методик для обеспечения удобных и надежных хирургических процедур продолжает представлять сложность как в клиническом, так и в социальном плане. Однако ни один из доступных в настоящее время материалов не соответствует критериям, необходимым для идеального имплантата.

Целью настоящего исследования является выявление и рассмотрение современного состояния проблемы лечения пациентов с постоперационными дефектами черепа с использованием различных методик краниопластики с учетом результатов послеоперационного восстановления, снижения неврологических проявлений и повышения социального статуса пациентов.

Материал и методы. Нами проведен анализ доступной литературы отечественных и зарубежных авторов с глубиной погружения 10 и более лет, позволившие нам проследить историю возникновения и применения методов краниопластики в истории человечества, дать характеристику эффективности применявшихся материалам и оценить современное состояние данной проблематики, а также актуальность этой темы на сегодняшний день. В результате проведенного поиска нами показано, что актуальность темы краниопластики остается

чрезвычайно высокой и различные авторы продолжают поиск материалов и стратегий для обеспечения более перспективных и надежных хирургических процедур. Результатом этого поиска нами резюмировано, что ни один из доступных в настоящее время материалов не соответствует критериям, необходимым для идеального имплантата.

В истории человечества первые упоминания о краниопластике принадлежат XVI веку, F. Gabriele (1523-1562 гг.) описал случай проведения операции по реконструктивной хирургии черепа пластиной из золота [2]. Согласно же данным археологических исследований применение краниопластики датируется 7000 годом до нашей эры [3]. Так, краниопластика применялась многими древними цивилизациями, включая инков, бриттов, азиатов, жителей Северной Африки и полинезийцев. Одним из примечательных примеров проведения краниопластики в древности является перуанский череп, датируемый 2000 годом до нашей эры, на черепе имеется дефект в левой лобной части черепа, который закрыт золотой пластинкой толщиной 1 мм [4].

Первое документированное описание краниопластики было сделано Fallopius в XVI веке, который предположил, что кость можно заменить при переломах черепа при условии, что твердая мозговая оболочка не будет повреждена, кость при этом заменялась золотой пластиной [5].

На протяжении всей истории человечества предпринимались многочисленные попытки имплантировать ткани животных для устранения дефектов черепа. Имеются свидетельства использования в практике костных трансплантатов от собаки, обезьяны, кролика, теленка и т.д. В 1668 году Van Meekeren описал случай реконструкции дефекта черепа после травмы саблей, где для краниопластики была использована кость собаки.

В 1901 году Marshan сообщил, что рога животных хорошо переносятся тканями реципиента при краниопластике. Так применялись в практике рога быка, буйвола и слоновая кость с удовлетворительными результатами [6].

Краниопластика – это хирургическая процедура, при которой устраняется дефект черепа путём включения вещества в костный дефект черепа [7].

Краниопластика рассматривается после лечения и стабилизации исходной патологии, вызвавшей первоначальную краниэктомию; такие патологии часто включают отек головного мозга после нарушения мозгового кровообращения, черепно-мозговой травмы или опухоли головного мозга [8].

Показаниями к краниопластике является защита подлежащей паренхимы головного мозга, улучшение косметического вида и в исследованиях авторов последних лет, краниопластика становится медицинской необходимостью, во избежание влияния атмосферного давления на мозг, нарушения ликворо и гемодинамики [9].

За время существования краниопластики используются следующие материалы:

1. Аутопластика (ткань пациента);
2. Аллопластика (ткань другого человека);
3. Гетеропластика (ткань животного);
4. Имплантаты (другие материалы).

К современным материалам предъявляются следующие требования:

1. Биосовместимость;
2. Отсутствие канцерогенного эффекта;
3. Пластичность;
4. Возможность стерилизации и сочетания с

5. Совместимость с методами нейровизуализации.

6. Устойчивость к физическим и химическим нагрузкам;
7. Оптимальная стоимость:

8. Низкий уровень тепло- и электропроводности;

9. Низкий риск инфекционных осложнений.

Аутопластика. Отдается предпочтение аутологичным костным имплантатам, поскольку это метод уменьшает попадание инородных материалов в организм. Также другой причиной является легкость принятия организмом своего собственного биологического материала.

Использование аутологичной кости для краниопластики обеспечивает превосходный косметический эффект и экономическую эффективность по сравнению с синтетическими материалами. В настоящее время не существует трансплантата, соответствующего данным требованиям, более чем аутокость.

В 1821 году Вальтеру приписывают первую зарегистрированную краниопластику аутологичным костным трансплантатом [3].

В 1889 году пластическая реконструкция черепа была впервые описана Зейделем, который использовал кусочки большеберцовой кости для закрытия левого теменного дефекта с беспрецедентным восстановлением [10].

Замена кости, удаленной вовремя краниэктомии является оптимальной, поскольку не вводится никакой другой трансплантат или инородные материалы.

Как сообщали Malcolm J.G. et al в исследовании, включающем десятилетний ретроспективный анализ пациентов, перенесших краниопластику с использованием аутологичной кости, хранившейся подкожно или замороженной в академическом медицинском центре. Так, было обследовано 94 пациента, из них 34 (36,2%) костных лоскутов хранились подкожно и 59 (62,8%) замораживались.

Обе группы были схожи по демографическим характеристикам, сопутствующими заболеваниями и показаниям к краниэктомии, статистически различались только по индексу массы тела и расам. Между двумя группами не было существенных различий по осложнениям, повторным госпитализациям, незапланированным повторным операциям или продолжительности пребывания [11].

По результатам исследования были сделаны выводы о том, что подкожное и замороженное хранение аутологинной кости приводит к схожим профилям хирургического риска. Криоконсервация может быть предпочтительнее из-за более короткого времени операции и предотвращения осложнений с брюшным карманом, тогда как портативность подкожного хранения остается благоприятной для пациентов, перенесших краниопластику в другом учреждении (рис. 1). Однако по данным авторов из Финляндии [12] после реконструкции костей черепа аутокостным материалом в послеоперационном периоде нередко состояние пациента приводит к тому что приходится удалять костный лоскут в 30% случаях. Основными причинами осложнений, приведшими к удалению аутотрансплантата являются инфекции и резорбция кости.

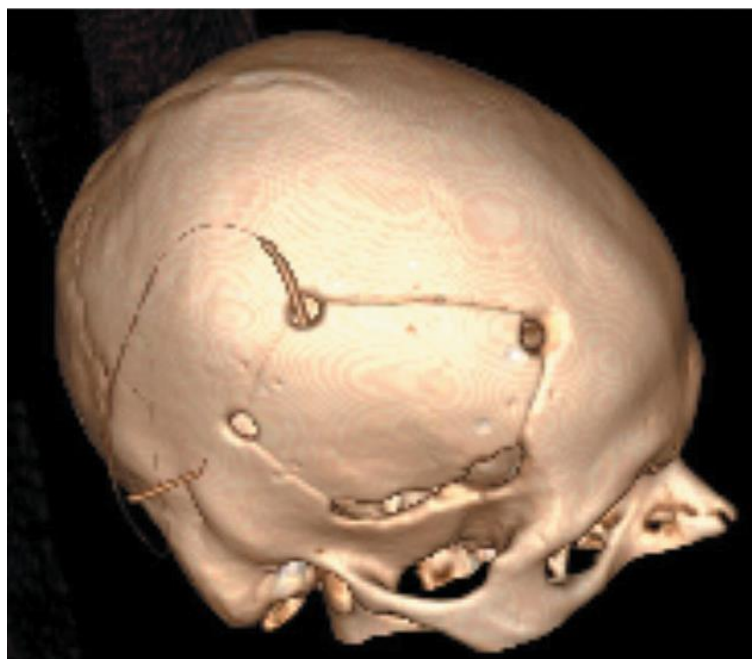


Рис. 1. Компьютерная томография после операции в 3D реконструкции. Краниопластика выполнена аутокостью.

Ниже приведены сравнительные характеристики материалов для краниопластики (табл.).

Таблица – Анализ преимуществ и недостатков распространенных материалов для краниопластики

Материал	Преимущества	Недостатки
Аутологичная кость	принята хозяином, низкая частота переломов	резорбция кости, инфекция
Полиметилметакрилаты (РММА).	прочный, термостойкий, инертный, низкая стоимость, простота в использовании	инфекция, перелом, экзотермическая ожоговая реакция, воспаление, отсутствие инкорпорации
Гидроксиапатит	невоспалительное действие, хорошая химическая связь с костью, отличная косметическая и контурная способность.	низкая прочность на разрыв, хрупкость, инфицирование, фрагментация, отсутствие остеоинтеграции
Титановая сетка	невоспалительный, неагрессивный, прочный, пластичный, низкий уровень инфицирования, хороший косметический эффект	дорого, артефакты изображения при визуализации
РЕЕК имплантат	рентгенопрозрачен, химически инертен, прочен, эластичен, не создает артефактов при визуализации, комфортен, не проводит температуру	стоимость, необходимость дополнительного 3D-планирования и визуализации, сложность соединения с другими материалами, инфекция

У педиатрических пациентов данный вид краниэктомии является наиболее оптимальным, поскольку исходный материал черепа ребенка реинтегрируется по мере его взросления [13]. Более того, аутологичные костные трансплантаты черепа можно легко получить, и они более имеют более продолжительное время выживания по сравнению с другими типами костей [14].

Аутологичные расщепленные костные трансплантаты стали предпочтительными при черепно-лицевых реконструкциях у детей.

Использование аутологичной кости для краниопластики (рис. 2) обеспечивает в целом значительный косметический эффект и дает экономическую эффективность по сравнению с синтетическими материалами.

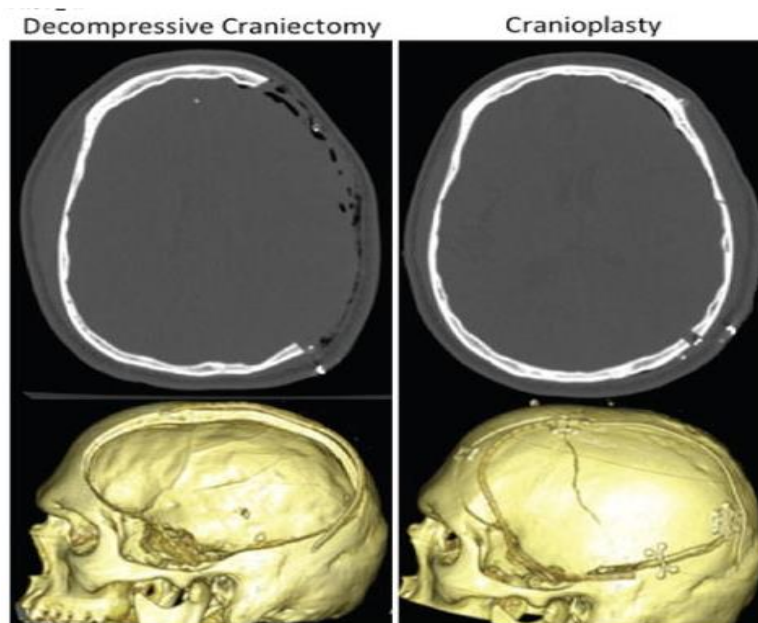


Рис. 2. Аутологичный костный трансплантат.

На рисунке 2 аксиальные (вверху) и 3D аутологичный костный трансплантат. Аксиальные (вверху) и 3D-реконструированные (внизу) КТ, полученные после декомпрессивной краниэктомии (слева) и последующей установки аутологичного костного лоскута (справа).

На данный момент широкое распространение для реконструктивной нейрохирургии приобрели ксеноимплантаты (материалы небиологического происхождения).

Полиметилметакрилаты (РММА).

Материалы этой группы широко применяются большей частью нейрохирургов, их отличает легкость в моделировании имплантата любой сложности и размеров, а также относительной дешевизной [15]. Однако, применение данных имплантатов связано с высоким риском возникновения осложнений в постоперационном периоде. В данных случаях сопряжены с местными воспалительными реакциями, связанные с токсическим и аллергическим эффектом РММА [16].

Полученные пластины из пресс-формы имеют погрешности, что не покрывает косметический дефект, по данной причине РММА стали применять реже.

Полиэфиртеконы (РЕЕК). Материалы данной группы под воздействием высокой температуры плавления выпускают в пресс-формах [17].

К положительным свойствам относятся химическая инертность, прочность, эластичность, термоустойчивость, хорошее сочетание с современными методами нейровизуализации. Но также имеются недостатки: высокая стоимость порошка для приготовления пластины, высокая частота

инфекционно-воспалительных процессов, сложность в комбинировании его с другими веществами [18].

Реперен. В 1996 году в практику стал применяться синтетический материал реперен. Данный материал использовался ранее в офтальмологии в виде искусственного хрусталика, радужной оболочки и т.д. [19]. С 2006 года пластины из реперена начали использовать и в реконструктивной нейрохирургии. С помощью запрограммированных параметров и фотополимеризации изготавливается пластина. Основным положительным эффектом данного материала является, то что пластина может менять конфигурацию, для это используется стерильный физиологический раствор, нагретый до 80°C. Под влиянием высокой температуры пластина из реперена становится эластичной и мягкой. Что дает возможность моделировать под дефект черепа и при помощи общехирургического инструментария изменять размер и форму. Однако имеются и недостатки, когда при сложных дефектах время моделирования может занимать несколько часов.

Алюминий. С начала 1900-х годов металлы широко использовались в медицине из-за легкости в стерилизации, пластичности и прочности.

Алюминий был первым металлом, но в последствии от него отказались из-за инфекций, раздражения окружающих тканей, судорог и медленного распада.

Золото. Считалось подходящим кандидатом из-за более низкой реакции тканей, но не использовалось из-за высокой стоимости и мягкости.

Серебро стало популярным в 1903 году, но не использовалось из-за реакции оксида серебра с тканями, а также из-за того, что оно слишком мягкое и неспособно противостоять травмам [20].

Алюминий, серебро и золото были заменены танталом, из-за его таких свойств, как устойчивость к тканевым реакциям, коррозии, инфекциям, инертность и не всасываемость.

От него также отказались из-за его сложного и дорогого производства и высокой теплопроводности, что является причиной головных болей у пациентов [21].

Гидроксипатит. Здесь речь идет о применении гидроксипатитного цемента в чистом виде, используется при размерах дефекта до 30 см². При обширных дефектах для придания высокой прочности и приобретения лучших косметических эффектов проводится армирование титановой сеткой.

Необходимо выделить, что главным достоинством данного материала является его высокая биосовместимость. При небольших дефектах гидроксипатит полностью резорбируется и замещается костной тканью за 18 месяцев.

К недостаткам относят высокую стоимость, необходимость дополнительного армирования титановой сеткой при обширных дефектах, невозможность применения в зонах черепа, несущих функциональную нагрузку [22].

Титан. Сегодня большинство металлических систем фиксации изготавливаются на основе

титана или кобальта-хрома, который совместим с тканями, устойчив к коррозии и химически инертен. В настоящее время применяется следующие материалы: титановые сплавы, чистый титан, сплавы на основе кобальта и хрома [23]. Титан имеет небольшую массу и обладает теплопроводностью, также высокой прочностью, биологической инертностью, коррозионную устойчивость и не токсичен.

Сетки, выполненные из титана, легко моделируются в момент хирургического вмешательства. Реконструкцию большого или сложного дефекта черепа сложно реализовать без исходного планирования. Создание трехмерных моделей при дефектах черепа позволяет получить детальную информацию о состоянии костного дефекта и имеющихся проблемах в месте дефекта. С применением в нейрохирургии 3D печати титановые пластины стали применять как индивидуальные продукты, по индивидуальным параметрам упор делается на дооперационное печать и изготовление, что значительно упрощает работу нейрохирурга по установке импланта.

В настоящее время активно используется технология CAD/CAM в качестве опции, по итогам которой создается шаблон, используемый в дальнейшем при реконструкции дефектов черепа. Данная технология была успешно задействована при изготовлении индивидуальных титановых имплантов путем применения 3D печати (рис. 3).

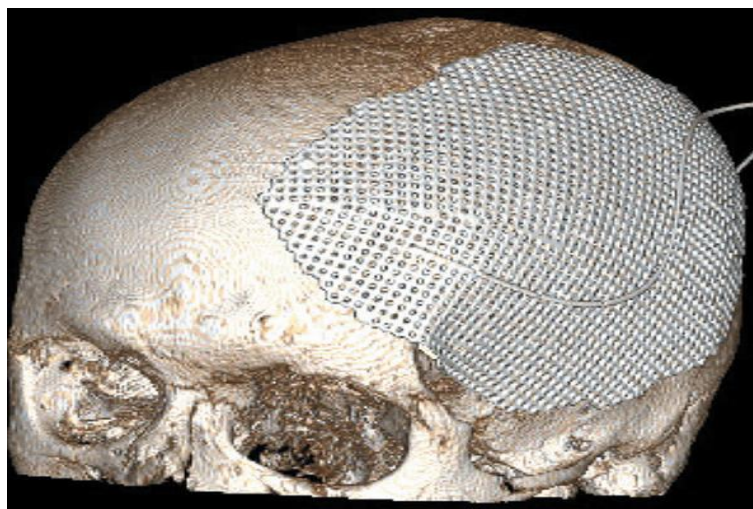


Рис. 3. Компьютерная томография в 3D реконструкции. Краниопластика выполнена из титановой пластины с применением 3D печати.

В настоящее время титан широко применяется при вторичных краниопластиках [2]. При применении данных пластин недостатком является присутствие артефактов на снимках при введении нейровизуализации, но общие результаты работы с этим материалом обнадеживают. [24].

Выводы. Таким образом, подводя краткие итоги всех приведенных выше используемых методик, можно сказать, что современные методики реконструктивных вмешательств с использованием компьютерного планирования и аддитивных технологий предоперационного изготовления индивидуальных 3D-

трансплантатов, являются значительным этапом в решении данной проблематики, обеспечивают прецизионное закрытие посттравматических дефектов, способствуют почти идеальному восстановлению контуров черепа, существенному уменьшению продолжительности этапа краниопластики, что в свою очередь значительно понижает вероятность инфицирования трансплантата, уменьшает анестезиологические риски при проведении операции.

Литература

1. World Health Organization. World Health Statistics 2024. Geneva: WHO; 2024. Available from: <https://www.who.int/data/gho/whs-annex/>
2. Копоруйко Н.А., Ступак В.В., Мишинов С.В., Орлов К.Ю., Астраков С.В., Вардосанидзе В.К. и др. Этиология и эпидемиология приобретенных дефектов костей черепа, полученных при различной патологии центральной нервной системы, и число больных, нуждающихся в их закрытии, на примере крупного промышленного города. *Современные проблемы науки и образования*. 2019;2:120-130. <https://doi.org/10.17513/spno.28660>
3. Aydin S, Kucukyuruk B, Abuzayed B, Aydin S, Sanus GZ: Cranioplasty: review of materials and techniques. *J Neurosci Rural Pract*. 2011;2(2):162–167. <https://doi.org/10.4103/0976-3147.83584>
4. Kennedy KAR. Primitive Surgery: Skills Before Science. Spencer L. Rogers. *Am Anthropol*. 1987;89(1):217–218. <https://doi.org/10.1525/aa.1987.89.1.02a00830>
5. Courville CB: Cranioplasty in prehistoric times. *Bull Los Angel Neuro Soc*. 1959;24(1):1–8.
6. Durand JL, Renier D, Marchac D. [The history of cranioplasty]. *Ann Chir Plast Esthet*. 1997;42(1):75–83. French.
7. Baldo S, Tacconi L. Effectiveness and safety of subcutaneous abdominal preservation of autologous bone flap after decompressive craniectomy: a prospective pilot study. *World Neurosurg*. 2010;73(5):552–556. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2010.02.018>
8. Choban PS, Flancbaum L. The impact of obesity on surgical outcomes: a review. *J Am Coll Surg*. 1997;185(6):593–603. [https://doi.org/10.1016/s1072-7515\(97\)00109-9](https://doi.org/10.1016/s1072-7515(97)00109-9)
9. Rosinski CL, Chaker AN, Zakrzewski J, Geever B, Patel S, Chiu RG, et al. Autologous Bone Cranioplasty: A Retrospective Comparative Analysis of Frozen and Subcutaneous Bone Flap Storage Methods. *World Neurosurgery*. 2019;131:e312–e320. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.07.139>
10. Grant GA, Jolley M, Ellenbogen RG, Roberts TS, Gruss JR, Loeser JD. Failure of autologous bone-assisted cranioplasty following decompressive craniectomy in children and adolescents. *J Neurosurg*. 2004;100 (2 Suppl Pediatrics):163–168. <https://doi.org/10.3171/ped.2004.100.2.0163>
11. Malcolm JG, Rindler RS, Chu JK, Chokshi F, Grossberg JA, Pradilla G, et al. Early cranioplasty is associated with greater neurological improvement: a systematic review and meta-analysis. *Neurosurgery*. 2018;82(3):278–88. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyx182>
12. Munroe AR. The operation of cartilage-cranioplasty. *Can Med Assoc*. 1924;14(1):47–49.
13. Koenig WJ, Donovan JM, Pensler JM. Cranial bone grafting in children. *Plast Reconstr Surg*. 1995;95(1):1–4. <https://doi.org/10.1097/00006534-199501000-00001>
14. Stieglitz LH, Fung C, Murek M, Fichtner J, Raabe A, Beck J. What happens to the bone flap? Long-term outcome after reimplantation of cryoconserved bone flaps in a consecutive series of 92 patients. *Acta Neurochir (Wien)*. 2015;157(2):275–280. <https://doi.org/10.1007/s00701-014-2310-7>
15. Mishinov SV, Stupak VV, Mamonova NV, Panchenko AA, Krasovsky IB, Lazurenko DV. Methods for three-dimensional prototyping and printing in reconstructive neurosurgery *Biomedical Engineering*. 2017;51(2):106–10. <https://doi.org/10.1007/s10527-017-9694-7>
16. Гаврилова Л.О., Мишинов С.В., Аронов А.М., Мамонова Е.В., Мамонова Н.В., Гриф А.М. Разработка автоматизированной информационной системы проектирования и моделирования индивидуальных имплантатов, получаемых аддитивными методами, на примере замещения дефектов черепа. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017;11-2:209–213.

17. Кравчук А.Д., Потапов А.А., Панченко В.Я., Комлев В.С., Новиков М.М., Охлопков В.А. и др. Аддитивные технологии в нейрохирургии. Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. 2018;82(6):97-104. <https://doi.org/10.17116/neiro20188206197>
18. Мишинов С.В., Ступак В.В., Копорушко Н.А. Краниопластика: обзор методик и новые технологии в создании имплантатов. Современное состояние проблемы. Политравма. 2018;4:82-89.
19. Нагибович О.А., Свистов Д.В., Пелешок С.А., Коровин А.Е., Городков Е.В. Применение технологии 3D-печати в медицине. Клиническая патофизиология. 2017;23(3):14-22.
20. Redfern RM, Pullhorn H. Cranioplasty. Neurobiology. 2007;7:32-34.
21. Macksey LF. Surgical Procedures and Anesthetic Implications: A Handbook of Nurse Anesthesia Practice. Sudbury USA; Jones & Bartlett. 2011. 937 p.
22. Мишинов С.В., Ступак В.В., Копорушко Н.А., Панченко А.А., Красовский И.Б., Десятых И.В. Трехмерное моделирование и печать в нейрохирургии. В кн.: VIII Всероссийский съезд нейрохирургов. СПб; 2018:169.
23. Мишинов С.В., Ступак В.В., Мамуладзе Т.З., Копорушко Н.А., Мамонова Н.В., Панченко А.А. и др. Использование трехмерного моделирования и трехмерной печати в обучении нейрохирургов. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016;11(часть 6):1063-7.
24. Chobulov SA, Kravchuk AD, Potapov AA, Likhтерman LB, Maryahin AD, Sinbukhova EV. Modern aspects of reconstructive surgery of skull defects. Burdenko's Journal of Neurosurgery. 2019;83(2):115-124. (In Russ., In Engl.). <https://doi.org/10.17116/neiro201983021115>

Для цитирования

Карибай С.Д., Кыдыров А.Е. Современные аспекты краниопластики. Евразийский журнал здравоохранения. 2024;3:72-79. <https://doi.org/10.54890/1694-8882-2024-3-72>

Сведения об авторах

Карибай Серик Дузелбайулы – заведующий операционным отделением, врач-нейрохирург, АО «Национальный центр нейрохирургии», г. Астана, Казахстан. E-mail: serikkaribay@gmail.com

Кыдыров Алмас Ернарвич – врач-нейрохирург отделения малоинвазивной нейрохирургии, АО «Национальный центр нейрохирургии», г. Астана, Казахстан. E-mail: Kydyrov@ncn.kz