

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

УДК 616.714-089.874-089.843  
© Коллектив авторов, 2023

Т.И. Биккузин, Б.Ш. Минасов, О.Р. Шангина, А.Р. Билялов,  
С.С. Чугунов, К.В. Данилко, И.Ш. Ахатов, В.Н. Павлов  
**ПРИМЕНЕНИЕ ЧЕРЕПНЫХ КОСТНЫХ АЛЛОТРАНСПЛАНТАТОВ  
В СРАВНЕНИИ С АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**  
*ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»  
Минздрава России, г. Уфа*

Подбор трансплантата для хирургического лечения пациентов с дефектами черепа по-прежнему остается важным направлением в нейрохирургии и челюстно-лицевой хирургии. Многие патологии тканей головы, связанные с выраженным отеком головного мозга, инфекцией раны головы или декомпрессивной трепанацией, требуют удаления участков черепной кости. Хирургически не прикрытые дефекты могут стать причиной неврологических и физиологических нарушений. Восстановление целостности черепа является важной частью реабилитации пациентов с позиции медицинской, трудовой и социальной реабилитации.

В качестве перспективного материала для восстановления костей черепа традиционно используются костные аллотрансплантаты, которые являются незаменимым инструментом в ортопедии и реконструктивной хирургии, они способны восстанавливать функциональность и качество жизни пациентов, страдающих от потери костной массы из-за травм, болезней или врожденных деформаций.

В нашей обзорной статье мы рассматриваем мировой клинический опыт применения костных аллотрансплантатов для черепных операций и новые тенденции их изготовления. Последние достижения в данном направлении меняют картину хирургии костных аллотрансплантатов, делая ее более жизнеспособной и эффективной для нуждающихся пациентов.

**Ключевые слова:** костные аллотрансплантаты, краниопластика, трансплантология, нейрохирургия.

T.I. Bikkuzin, B.S. Minasov, O.R. Shangina, A.R. Bilyalov,  
S.S. Chugunov, K.V. Danilko, I.Sh. Akhatov, V.N. Pavlov  
**USE OF CRANIAL BONE ALLOGRAFTS IN COMPARISON  
WITH ALTERNATIVE MATERIALS**

Selecting a graft for the surgical treatment of patients with cranial defects continues to remain an important issue in neurosurgery and maxillofacial surgery. Many pathologies of head tissue associated with severe cerebral edema, head wound infection, or decompressive craniotomy require removal of sections of the cranial bone. Defects that are not surgically covered can cause neurological and physiological disorders. Restoring the integrity of the skull is an important part of the rehabilitation of patients from the standpoint of medical, labor, and social rehabilitation.

Bone allografts have traditionally been used as a promising material for restoring cranial bones. They have become an indispensable tool in orthopedics and reconstructive surgery, capable of restoring functionality and quality of life of patients suffering from bone loss due to injury, disease, or congenital deformities.

In our review article, we examine global clinical experience in the use of bone allografts for cranial operations and new trends in their manufacturing. Recent advances in bone allograft manufacture are making a difference in bone allograft surgery, making it a more viable and effective option for patients in need.

**Key words:** bone allografts, cranioplasty, transplantology, neurosurgery.

Цель данного обзора литературы – исследовать существующие литературные источники и определить особенности изготовления и перспективы применения костных аллотрансплантатов в трансплатологических операциях на черепе.

Лечение пациентов с дефектами черепа является актуальной проблемой современной хирургии. За последние годы наблюдается увеличение случаев черепно-мозговых травм тяжелой степени. Растет количество операций, связанных с опухолями и заболеваниями кровеносных сосудов головного мозга, которые могут сопровождаться образованием костных дефектов после удаления участков костей черепа [2,3,7].

Наличие дефекта черепа приводит к серьезным эстетическим, психологическим и функциональным нарушениям [3,7]. Посттре-

панационный синдром после хирургического вмешательства, известный как «болезнь трепанированных», может сопровождаться: нарушением кровообращения и циркуляции спинномозговой жидкости; выпячиванием через дефект содержимого черепа при наклоне головы или физической активности; локальной или диффузной головной болью, которая усиливается при изменении атмосферного давления, температуры окружающей среды, а также при кашле или чихании [3]. В 20-28% случаев в послеоперационном периоде у пациентов наблюдаются эпилептические припадки, в 40-45% случаев – эпилептическая готовность, патогенез которых принято связывать с образованием оболочечно-мозговых рубцов [6].

Костные структуры черепа по сравнению с другими участками скелета человека

регенерируют крайне слабо. Из-за низкого уровня постнатального остеогенеза и особенности строения черепа островок дефекта обычно заполняется соединительнотканым рубцом, который в последующем срастается с твердой мозговой оболочкой, надкостницей и кожей головы [6].

Как отмечает Р.Т. Нигматуллин с соавторами: «Идеальный костно-пластический материал должен выполнять не только заместительную функцию, но и постепенно интегрироваться в окружающую костную ткань, поддерживать физиологический уровень остеобластической и остеокластической активности» [4], что формирует вектор развития трансплатологии от заместительной тактики к тактике полной регенерации костного дефекта. Можно сформировать следующие требования к пластическим и реконструктивным биоматериалам: биосовместимость, устойчивость к механическим нагрузкам, биоинтеграция с тканями реципиента, возможность интраоперационной корректировки формы трансплантата, возможность предоперационной стерилизации трансплантата, совместимость с клиническими методами диагностики головы, приемлемая стоимость [3,6,16].

Традиционно для краниопластики используют четыре типа биоматериалов: ауто-трансплантат, аллотрансплантат, ксенотрансплантат и аллопластические материалы [3,6,9].

Аутокость / ауто-трансплантат является наиболее предпочтительным материалом для покрытия дефекта кости, но ограничен в объеме и механической прочности. Источниками забора трансплантата могут быть участки подвздошной кости и ребер пациента [1,2]. В некоторых случаях после декомпрессивных трепанаций фрагмент черепа сохраняют для будущих нужд под апоневрозом черепа пациента, в передней брюшной стенке или под кожей бедра пациента. Однако существует риск аутоиммунной резорбции фрагмента кости вследствие его длительного хранения (более 4 месяцев) в тканях пациента, что затрудняет полноценное покрытие дефекта черепа на момент применения фрагмента [3]. Кроме того, могут возникать послеоперационные осложнения вследствие неблагоприятного воздействия на донорскую область, образование локализованных гематом и проблемы, связанные с ремоделированием имплантированной кости. Аутологичные костные трансплантаты повсеместно считаются предпочтительным вариантом у педиатрических пациентов ввиду их интеграции с растущим черепом. Фактически

костные трансплантаты имеют следующие преимущества: генетически идентичны и менее восприимчивы к инфекциям; сохраняют белковый матрикс, в котором остаются связанными костные минералы, редко приводят к поздним осложнениям [9,13,14].

В современной медицине костные ксенотрансплантаты не получили широкого распространения. Это можно связать с этическими проблемами и низкими характеристиками материала по сравнению с альтернативными видами биоматериалов. К недостаткам ксенотрансплантатов можно отнести: низкую биосовместимость, сложности изготовления материала, недостаточную прочность, иная анатомия костей животных [9,24].

За последние десятилетия, ввиду появления новых материалов и способов их обработки, в трансплатологии большое распространение получили аллопластические материалы органической и неорганической природы. Современные изготовители черепных биоимплантов предлагают изделия из метилметакрилата, гидроксиапатита или металла [3,12]. В прошлом в качестве основы для имплантов также использовались: золото, целлулоид, алюминий, платина, серебро, виталлий, тантал и полиэтилен [3,24].

Следующей по популярности группой костных биоматериалов являются аллотрансплантаты, также называемые аллогraftами или гомогенными трансплантатами.

Согласно наиболее раним публикациям J.A. Sicard и C. Dambrin (1917 год) представлено использование черепной кости трупа человека для краниопластики. Резецированную кость обрабатывали карбонатом натрия, ксилолом, спиртом и эфиром, затем подвергали термической стерилизации, в результате чего толщина кости уменьшалась вдвое (оставалась только внешняя пластинка), а затем перфорировали для использования [22]. В последующем ученые предложили другие методы обработки, консервации и стерилизации, что удлинит сроки хранения трансплантатов и повысило качество лечения пациентов.

Костные аллотрансплантаты имеют свойство остеокондуктивности и в менее выраженной степени свойство остеоиндуктивности. Обработка гамма-лучами, формалином или замораживанием костных фрагментов значительно снижает послеоперационные инфекции и иммунологическое отторжение. Исходя из способа обработки выделяют следующие типы костных аллотрансплантатов: замороженная кость, коллагенсодержащая кость (Tutogen®, Endobon®, Orthoss®, Isobone® и др), формализирован-

ная кость, лиофилизированная кость и декальцинированная кость [4]. Сегодня аллогенную кость обычно консервируют путем замораживания и хранения в течение 5 лет при температуре  $-80^{\circ}\text{C}$  или сушки вымораживанием. Оба эти метода эффективно удаляют воду и живые клетки, что снизит антигенность и реакции отторжения костного трансплантата [10].

На основании результатов исследований нескольких групп ученых было доказано, что минеральные соли кости снижают её остеиндуктивные свойства [15,19]. Деминерализованную кость, полученную посредством обработки слабым раствором кислот, формируют в виде пасты или сплошных перфорированных трансплантатов. Такой трансплантат восстанавливает кость путем эндохондральной оссификации без какой-либо резорбции благодаря содержанию в нем костных морфогенетических протеинов. Доказано, что при использовании деминерализованного субстрата восстановление проходит лучше в сравнении с применением аутокости [9,15,19].

Аллотрансплантаты успешно зарекомендовали себя в ряде случаев хирургического лечения больных с дефектами костей черепа, что отображено в ряде научных публикаций.

Так, в клиническом исследовании Д.А. Щербакова и соавт. были использованы костнохрящевые аллотрансплантаты (изготовитель «Alloplant», г. Уфа, Россия) в операциях 91 пациента с патологиями верхнечелюстного синуса. Через полгода постоперационного периода рыхлая васкуляризированная волокнистая соединительная ткань на месте бывшего дефекта успешно заместила ретикулофиброзную костную ткань. Подобный темп биодеградации трансплантата, как отмечалось авторами, соответствовал скорости репаративного костеобразования [8].

К.Е. Salyer et al. прооперировали 72 пациента, которым имплантировались деминерализованные перфорированные аллогенные костные имплантаты (изготовитель «Pacific Coast Tissue Bank», Лос-Анджелес, США). В 66 случаях операция и послеоперационный период прошли без осложнений, у 6 пациентов осложнения ограничивались задержкой заживления ран [21].

А.Н. Rabaney et al. представили новую технику реконструкции черепа после ретросигмовидной краниэктомии с использованием деминерализованного костного матрикса. Данные ученые пришли к выводу, что с помощью деминерализованного костного матрикса можно увеличить дефекты задней ямки. Более того, его

использование привело к снижению частоты послеоперационных головных болей, улучшению косметических результатов. Этот матрикс представляет собой простой и эффективный вариант краниопластики для хирургии основания черепа [18].

Костные аллотрансплантаты часто используются в детской нейрохирургии ввиду недостатков альтернативных материалов (например, травмоопасность забора обширных фрагментов аутокости, «возрастная инертность» синтетических имплантов и др.).

Команда врачей во главе с J. Fu Katherine успешно провела 11 краниопластик с использованием покровного цельного аллогraftа у детей. Авторами отмечаются высокая биосовместимость аллогенных трансплантатов и хороший эффект операций [13]. Похожие операции провели нейрохирурги Т. Wu. Robin и R.M. Menard, которые использовали аллогенный костный матрикс, фиксированный к черепу рассасывающейся пластиной SonicWeld (KLS Martin, Германия) троим пациентам с врожденными дефектами черепа. В результате, несмотря на возникшую необходимость повторной операции в единственном случае, трансплантаты прижились без каких-либо осложнений [20]. О двух других случаях краниопластики у годовалых младенцев сообщают G. Canzi et al.: обширные дефекты черепа ( $70\text{ см}^2$  и  $50\text{ см}^2$ ) был успешно покрыт гомологичным костным трансплантатом с хорошим результатом в течение 4 лет послеоперационного наблюдения [11].

Т.М. Chen с соавт. оценивали эффективность аллогенного перфорированного деминерализованного костного матрикса с аутогенной костной пастой в лечении полнослойных дефектов черепа у 10 пациентов в течение года. Дефекты черепа возникли в результате травмы у 9 пациентов и удаления опухоли черепа у 1 пациента. Трехмерное компьютерное томографическое сканирование, проведенное через 2 года после имплантации, показало, что аллогенный перфорированный деминерализованный костный матрикс обеспечивает каркас для формирования новой кости с замечательным остеиндуктивным потенциалом для формирования нативной кости. Аутогенная костная паста смогла заполнить контурные неровности и пробелы реконструированного черепа [12].

Команда врачей во главе с V. Vanaclocha в период 1990-1995 гг. успешно провела 20 краниопластик с использованием аллогенных замороженных костных трансплантатов. Возраст пациентов колебался от 23 до 63 лет. Размер краниэктомии колебался от  $65$  до  $150\text{ см}^2$ . Период наблюдения в среднем составил 41 ме-

сяц. В постоперационном периоде обзорные рентгеновские исследования черепа показали прогрессивное ремоделирование трансплантатов. Частичная резорбция наблюдалась у двух пациентов (10%), потеря толщины – у 3-х (15%), но без изменений контура. Биопсии были взяты в 3-х (15%) случаях при повторной хирургической процедуре. Области резорбтивной активности остеокластов, смешанные с другими участками кости остеобластами, показали замещение новой костью [23].

### Заключение

Костные аллотрансплантаты при черепных реконструктивных операциях открывают новые возможности в современной медицине. Основными преимуществами применения аллотрансплантатов являются: биологическая совместимость, анатомическая точность, хорошая механическая прочность, способность

к остеоинтеграции для восстановления функций черепа (защита мозга, поддержание формы лица и обеспечение оптимальной эстетики). Однако следует учитывать потенциальные ограничения при использовании костных аллотрансплантатов, такие как возможность инфекции, юридическая сложность в получении трупной кости, отторжение пересаженной кости, необходимость дополнительной хирургической процедуры для извлечения донорской кости и возможность деформации трансплантата со временем. Продолжающиеся исследования направлены на решение этих проблем и повышение успеха в безопасном проведении процедур аллотрансплантации.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда по гранту № 23-15-20042.*

### Сведения об авторах статьи:

**Биккузин Тимур Ильдусович** – PhD, доцент, старший научный сотрудник Лаборатории клеточных культур ИФМ ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: timur@bikkuzin.ru.

**Минасов Булат Шамильевич** – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: bshminasov@bashgmu.ru.

**Шангина Ольга Ратмировна** – д.б.н., профессор, зав. лабораторией консервации тканей с тканевым банком ВЦГПХ ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: alloolga@mail.ru.

**Билялов Азат Ринатович** – к.м.н., доцент кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: Azat.bilyalov@gmail.com.

**Чугунов Святослав Сергеевич** – PhD, старший научный сотрудник Лаборатории аддитивных технологий ИФМ ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: svyatoslav.chugunov@gmail.com.

**Данилко Ксения Владимировна** – к.б.н., заведующая Лабораторией клеточных культур ИФМ ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: kse-danilko@yandex.ru.

**Ахатов Искандер Шаукатович** – д.ф.-м.н., проректор по научной и международной деятельности ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: iakhatov@bashgmu.ru.

**Павлов Валентин Николаевич** – академик РАН, профессор, ректор ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: pavlov@bashgmu.ru.

### ЛИТЕРАТУРА

- Белимготов, Б.Х. Аутокраниопластика при черепно-мозговой травме и заболеваниях костей свода черепа / Б. Х. Белимготов, А. М. Чочаева, И. Ч. Хуссергенова // III Съезд нейрохирургов России: тез. докл. – СПб., 2002. – С. 632-633.
- Бельченко, В.А. Реконструкция и эндопротезирование краев и стенок глазниц, костей свода черепа, верхней и средней зон лица / В. А. Бельченко // III Съезд нейрохирургов России: тез. докл. – СПб., 2002. – С. 634.
- Кубраков, К.М. Реконструктивная аллопластика дефектов костей черепа титановыми имплантатами / К.М. Кубраков, И.Ю. Карпук, А.Ю. Федюкович // Новости хирургии. – 2011. – №1. – С. 72-77.
- Нигматуллин, Р.Т. Некоторые аспекты клинического применения костных и хрящевых аллотрансплантатов / Р.Т. Нигматуллин, Д.А. Щербаков, Л.М. Мусина, А.А. Ткачев // Медицинский вестник Башкортостана. – 2012. – №4. – С. 78-83.
- Ступак, В.В. Современные материалы, используемые для закрытия дефектов костей черепа / В.В. Ступак [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – Т. 1, № 4. – С. 121-124.
- Практическая нейрохирургия: руководство для врачей / Б.В. Гайдар [и др.]. – СПб.: Гиппократ, 2002. – 648 с.
- Щемелев, А.В. Реконструктивная хирургия дефектов черепа [Электронный ресурс] / А.В. Щемелев. – 2009. – URL: content/konspekt\_vracha/4055.html. (дата доступа: 12.11.2023).
- Щербаков, Д.А. Восстановление переднелатеральной стенки верхнечелюстного синуса аллогенными биоматериалами / Д.А. Щербаков, А.И. Лебедева, А.И. Каримова // Гены и Клетки. – 2014. – №2. – С. 104-109.
- Alkhaibary, A. Cranioplasty: A Comprehensive Review of the History, Materials, Surgical Aspects, and Complications / A. Alkhaibary, A. Alharbi, N. Alnefaie, A. Aloraidi, S. Khairy // World Neurosurg. – 2020. – Vol.139. – P.445-452.
- Brevi, V.C. Cranioplasty for repair of a large bone defect with autologous and homologous bone in children / V.C. Brevi, A.S. Magri, L. Toma, E. J. Sesenna // Pediatr Surg. – 2010. – Vol. 45, №4. – P.17-20.
- Canzi, G. Homologous Banked Bone Grafts for the Reconstruction of Large Cranial Defects in Pediatric Patients / G. Canzi, G. Talamonti, F. Mazzoleni, A. Bozzetti, D. Sozzi // J Craniofac Surg. – 2018. – Vol.29, №8 – P. 2038-2042.
- Chen, T.M. Cranioplasty using allogeneic perforated demineralized bone matrix with autogenous bone paste / T.M. Chen, H.J.Wang // Ann Plast Surg. – 2002. – Vol.49, №3. – P.272-2777.
- Fu, K.J. An Outcomes Comparison Between Autologous and Alloplastic Cranioplasty in the Pediatric Population / K.J. Fu, R.M.Barr, M.L. Kerr, M.N. Shah, S.A. Fletcher, D.I. Sandberg // J Craniofac Surg. – 2016. – №27(3). – P.593-597.
- Joffe, J. A prospective study of computer-aided design and manufacture of titanium plate for cranioplasty and its clinical outcome / Joffe J., Harris M., Kahugu F., Nicoll S., Linney A., Richards R. // Br. J. Neurosurg. – 1999. – N 13 (6). – P. 576-580.
- Josan, V.A. Cranioplasty in children / V.A. Josan, S. Sgouros, A.R. Walsh // Childs Nerv Syst. – 2005. – N 21. – P. 200-204.
- Moreira-Gonzalez, A. Clinical outcome in cranioplasty: critical review in long-term follow-up / A. Moreira-Gonzalez, I.T. Jackson, T. Miyawaki // J Craniofac Surg. – 2003. – N 14-P. 144-153.
- Miyake, H. A new technique for cranioplasty with L-shaped titanium plates and combination ceramic implants composed of hydroxyapatite and tricalcium phosphate (Ceratile) / H. Miyake, T. Ohta, H. Tanaka // J. Neurosurgery. – 2000. – N 46. – P. 414-418.

18. Pabaney, A.H. Novel technique for cranial reconstruction following retrosigmoid craniectomy using demineralized bone matrix / A.H. Pabaney, K.A. Reinard, K. Asmaro // *Clin Neurol Neurosurg.* – 2015. – N136. – P. 66-70.
19. Reddi A.N. Biochemical sequences in the transformation of normal fibroblasts in adolescent rats / A.N. Reddi, C. B. Huggens // *Proc. Natl. Acad. Sci USA.* – 1972. – Vol. 69. – P. 1601.
20. Robin, T. Wu., Persistent Cranial Defects After Endoscopic Sagittal Synostosis Surgery / T.Wu. Robin, R.M. Menard // *J Craniofac Surg.* – 2023. – №34(1). – P.368-373.
21. Salyer, K.E. Demineralized perforated bone implants in craniofacial surgery / K.E. Salyer, E. Gendler, J.L, Menendez // *J Craniofac Surg.* – 1992. – N3. – P. 55-62.
22. Sicard, I.A. Cranial plastics using sterilized human cranial bone / I.A. Sicard, C. Dambrin // *Presse Med.* – 1917. – P.60.
23. Vanaclocha, V. Use of frozen cranial vault bone allografts in the repair of extensive cranial bone defects / V. Vanaclocha, A. Bazan, N. Saiz-Sapena, V. Paloma, M. Idoate // *Acta Neurochir (Wien).* – 1997. – N 139(7). – P.653-660.
24. Vijfeijken, S.E.C.M. Autologous Bone Is Inferior to Alloplastic Cranioplasties: Safety of Autograft and Allograft Materials for Cranioplasties, a Systematic Review / S. E.C.M. Vijfeijken, T.J.A.G. Mu' nker, R. Spijker, L.H.E. Karssemakers, W. P. Vandertop, A.G. Becking, D.T. Ubbink // *World Neurosurg.* – 2018. – Vol.117 – P. 443-452.

## REFERENCES

1. Belimgotov BK, Chochoeva AM, Khupsergenova IC. Autokranioplastika pri cherepno-mozgovoï travme i zabolevaniyakh kostei svoda cherepa (Autocranioplasty for traumatic brain injury and diseases of the bones of the cranial vault). III S'ezd neirokhirurgov Rossii: tezisy dokladov. Sankt-Peterburg, 2002: 632-633. (In Russ)
2. Bel'chenko VA. Rekonstruktsiya i endoprotezirovaniye kraev i stenok glaznits, kostei svoda cherepa, verkhnei i srednei zon litsa (Reconstruction and endoprosthetics of the edges and walls of the eye sockets, bones of the cranial vault, upper and middle areas of the face). III S'ezd neirokhirurgov Rossii: tezisy dokladov. Sankt-Peterburg, 2002:634. (In Russ)
3. Kubrakov KM, Karpuk IY, Fedukovich AY. Rekonstruktivnaya alloplastika defektov kostei cherepa titanovymi implantami (Reconstructive alloplasty of skull bone defects with titanium implants). *Novosti khirurgii.* 2011; (1): 72-77. (In Russ)
4. Nigmatullin RT, Shcherbakov DA, Musina LM, Tkachev AA. Some aspects of clinical use of bone and cartilage allografts. *Bashkortostan Medical Journal.* 2012; (4): 78-83. (In Russ)
5. Stupak V.V. [et al.] Modern materials used to close defects of the bones of the skull. *Modern problems of science and education.* 2017; 1(4): 121-124. (In Russ)
6. Gaidar B.V. [et al.] *Prakticheskaya neirokhirurgiya: rukovodstvo dlya vrachei (Practical Neurosurgery: a guide for doctors).* Sankt-Peterburg: Gippokrat, 2002: 648. (In Russ)
7. Shchemelev AV. Rekonstruktivnaya khirurgiya defektov cherepa (Reconstructive surgery of skull defects) [Electronic resource]. 2009. – URL: [content/konspekt\\_vracha/4055.html](http://content/konspekt_vracha/4055.html). (access date: 12.11.2023) (In Russ)
8. Shcherbakov D.A., Lebedeva A.I., Karimova A.I. Replacement of the anterior-lateral wall of the maxillary sinus with allografts. *Genes & Cells.* 2014; (2): 104-109. (In Russ)
9. Alkhaibary A., Alharbi A., Alnefaie N., Aloraidi A., Khairy S. Cranioplasty: A Comprehensive Review of the History, Materials, Surgical Aspects, and Complications. *World Neurosurg.* 2020; 139 – 445-452. (in Engl)
10. Brevi, B.C. Cranioplasty for repair of a large bone defect with autologous and homologous bone in children / B.C. Brevi, A.S. Magri, L. Toma, E. J. Sesenna // *Pediatr Surg.* – 2010. – Vol. 45, №4. – P.17-20.
11. Canzi, G. Homologous Banked Bone Grafts for the Reconstruction of Large Cranial Defects in Pediatric Patients / G. Canzi, G. Talamonti, F. Mazzoleni, A. Bozzetti, D. Sozzi // *J Craniofac Surg.* – 2018. – Vol.29, №8 – P. 2038-2042.
12. Chen, T.M. Cranioplasty using allogeneic perforated demineralized bone matrix with autogenous bone paste / T.M. Chen, H.J.Wang // *Ann Plast Surg.* – 2002. – Vol.49, №3. – P.272-2777.
13. Fu, K.J. An Outcomes Comparison Between Autologous and Alloplastic Cranioplasty in the Pediatric Population / K.J. Fu, R.M.Barr, M.L. Kerr, M.N. Shah, S.A. Fletcher, D.I. Sandberg // *J Craniofac Surg.* – 2016. – №27(3). – P.593-597.
14. Joffe, J. A prospective study of computer-aided design and manufacture of titanium plate for cranioplasty and its clinical outcome / Joffe J., Harris M., Kahugu F., Nicoll S., Linney A., Richards R. // *Br. J. Neurosurg.* – 1999. – N 13 (6). – P. 576-580.
15. Josan, V.A. Cranioplasty in children / V.A. Josan, S. Sgouros, A.R. Walsh // *Childs Nerv Syst.* – 2005. – N 21. – P. 200-204.
16. Moreira-Gonzalez, A. Clinical outcome in cranioplasty: critical review in long-term follow-up / A. Moreira-Gonzalez, I.T. Jackson, T. Miyawaki // *J Craniofac Surg.* – 2003. – N 14- P. 144-153.
17. Miyake, H. A new technique for cranioplasty with L- shaped titanium plates and combination ceramic implants composed of hydroxyapatite and tricalcium phosphate (Ceratite) / H. Miyake, T. Ohta, H. Tanaka // *J. Neurosurgery.* – 2000. – N 46. – P. 414-418.
18. Pabaney, A.H. Novel technique for cranial reconstruction following retrosigmoid craniectomy using demineralized bone matrix / A.H. Pabaney, K.A. Reinard, K. Asmaro // *Clin Neurol Neurosurg.* – 2015. – N136. – P. 66-70.
19. Reddi A.N. Biochemical sequences in the transformation of normal fibroblasts in adolescent rats / A.N. Reddi, C. B. Huggens // *Proc. Natl. Acad. Sci USA.* – 1972. – Vol. 69. – P. 1601.
20. Robin, T. Wu., Persistent Cranial Defects After Endoscopic Sagittal Synostosis Surgery / T.Wu. Robin, R.M. Menard // *J Craniofac Surg.* – 2023. – №34(1). – P.368-373.
21. Salyer, K.E. Demineralized perforated bone implants in craniofacial surgery / K.E. Salyer, E. Gendler, J.L, Menendez // *J Craniofac Surg.* – 1992. – N3. – P. 55-62.
22. Sicard, I.A. Cranial plastics using sterilized human cranial bone / I.A. Sicard, C. Dambrin // *Presse Med.* – 1917. – P.60.
23. Vanaclocha, V. Use of frozen cranial vault bone allografts in the repair of extensive cranial bone defects / V. Vanaclocha, A. Bazan, N. Saiz-Sapena, V. Paloma, M. Idoate // *Acta Neurochir (Wien).* – 1997. – N 139(7). – P.653-660.
24. Vijfeijken, S.E.C.M. Autologous Bone Is Inferior to Alloplastic Cranioplasties: Safety of Autograft and Allograft Materials for Cranioplasties, a Systematic Review / S. E.C.M. Vijfeijken, T.J.A.G. Mu' nker, R. Spijker, L.H.E. Karssemakers, W. P. Vandertop, A.G. Becking, D.T. Ubbink // *World Neurosurg.* – 2018. – Vol.117 – P. 443-452.