

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
"Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-  
Ясенецкого" Министерства здравоохранения Российской Федерации

## РЕЦЕНЗИЯ НА РЕФЕРАТ

Кафедра Кафедра травматологии, ортопедии и нейрохирургии с курсом ПО  
(наименование кафедры)

Рецензия Шнякин Павел Геннадьевич, ДМН, доцент, заведующий кафедрой  
(ФИО, ученая степень, должность рецензента)

на реферат ординатора 1 года обучения по специальности Нейрохирургия

(ФИО ординатора)

Тема реферата: Пластика дефектов костей черепа

### Основные оценочные критерии

№	Оценочный критерий	Оценка (по пятибалльной шкале)
1.	Структурированность	+
2.	Объем	+
3.	Актуальность	+
4.	Соответствие текста реферата его теме	+
5.	Владение терминологией	+
6.	Полнота и глубина раскрытия основных понятий темы	+
7.	Логичность доказательной базы	+
8.	Умение аргументировать основные положения и выводы	+
9.	Источники литературы (не старше 5 лет)	+
10.	Наличие общего вывода по теме	+
<b>Итоговая оценка</b>		<b>отл.</b>

Дата: «12» февраля 2022 год

Подпись рецензента

  
(подпись)

Шнякин П.Г.  
(ФИО рецензента)

Подпись ординатора

  
(подпись)

Рожнов С.В.  
(ФИО ординатора)

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф.Войно- Ясенецкого" Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации

Кафедра травматологии, ортопедии и нейрохирургии с курсом ПО

Зав.кафедры д.м.н. доцент: Шнякин П.Г.

**Реферат на тему:  
«Пластика дефектов костей черепа»**

Выполнил:

Ординатор 1 года обучения

Рожнов С.В.

## Содержание.

1. ВВЕДЕНИЕ	
2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ 2.1. Методики закрытия дефектов черепа 2.1.1. История 2.1.2. Классификация дефектов черепа. 2.1.3. По размеру 2.1.4. По причинам возникновения 2.1.5. Методики и материалы для закрытия дефектов черепа 2.1.6. Способы моделирования трансплантата. ( 2.1.7. Анализ осложнений по данным литературы в зависимости от площади дефекта, использованного материала и сроков закрытия дефекта.	
3. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	

## Введение.

В современной нейрохирургии потребность в восстановлении целостности и формы черепа остается на достаточно высоком уровне и имеет тенденцию к росту. Возрастает количество пострадавших с дефектами черепа в результате тяжелых ЧМТ. Проводятся декомпрессивные трепанации при дислокационных синдромах, вызванных обширными травматическими повреждениями головного мозга с развитием отека. В последнее время пересмотрены и расширены показания к проведению декомпрессии при обширных инфарктах головного мозга.[1] Увеличивается количество опухолей костей черепа и головного мозга, в некоторых случаях после удаления последних развивается отек головного мозга и костный лоскут не устанавливается.

Основное клиническое проявление у пациентов с костными дефектами является так называемый «синдром трепанированного черепа». Симптомокомплекс впервые был описан в 1939 году, F.C. Grant and N.C. Norcross [2], как «синдром трепанированных». Последний включает в себя головные боли местного и общего характера, возникающие и/или усиливающиеся при изменении атмосферного давления, температуры окружающей среды; пролабирования содержимого черепа в дефект при кашле, физическом напряжении, наклоне головы и т.п. При этом характерны жалобы на боязнь повреждения мозга, чувство неполноценности, депрессивное состояние, а также косметические проблемы [3,4,5,6,7]. Пульсация мозга приводит к развитию глиоза из-за постоянной травматизации мозга в области края трепанационного окна [8]. В экспериментальных исследованиях показано изменение церебральной гемодинамики по данным транскраниальной доплерографии. У пациентов на стороне обширного дефекта наблюдается значительное снижение линейной скорости кровотока. По данным нейросонографии в В-режиме через дефект черепа при проведении пробы Вальсальва выявлено смещение головного мозга в сторону дефекта, а также растяжение базальных цистерн и некоторое смещение ствола мозга в вырезке намета мозжечка. Таким образом краниопластика проводится не только в косметических целях, но и для восстановления процессов ауторегуляции церебрального кровотока и ликвородинамики.

### История краниопластики.

Следы хирургического вмешательства на голове человека обнаруживаются на протяжении длительного отрезка истории человечества, начиная, как минимум, с археологической эпохи мезолита или раннего неолита (10—12 тыс. лет назад). Не все древнейшие манипуляции могут рассматриваться как собственно нейрохирургические, т.е. направленные на оперативное лечение заболеваний нервной системы. Некоторые из них носили ритуальный характер. В 1865 г. Эфраим Джордж Сквайер (Ephraim George Squier) — археолог, этнолог и представитель США в Центральной Америке — привез из захоронений инков в Перу череп с четырьмя надрезами, выполненными на правой половине лобной кости перпендикулярно к ее поверхности и образовавшими прямоугольное отверстие около половины дюйма по площади [9]. Были выявлены отчетливые признаки заживления краев отверстия, что свидетельствовало о выживании пациента, по меньшей мере, в течение нескольких недель после операции.

Три черепа с признаками прижизненной трепанации найдены и на территории России в погребениях папырыкской археологической культуры, существовавшей на территории Горного Алтая приблизительно 2,5 тыс. лет назад. Выяснено, что индивиды жили в III-V в. до

н.э. Техника трепанации соответствует рекомендациям Гиппократу, стоит предполагать либо конвергентное развитие технологии лечения линейных переломов, либо связь ранних кочевников Сибири с медицинскими центрами античного мира [10]. Наиболее ранние археологические находки с закрытыми дефектами черепа датируются 3000 годом до н. э. [19], обнаружены на территории современного Перу. Краниопластика практиковалась многими древними цивилизациями, в том числе Инками, Древними британцами, Северо-африканцами и Полинезийцами [11,12]. В основном трепанации проводились для того чтобы эвакуировать оболочечные гематомы и для поднятия и удаления вдавленных переломов черепа. Описал черепа, которые были обнаружены с золотыми или серебряными пластинками, покрывающими костный дефект Horsley, но он сомневался в полезности такого материала. Другие материалы, такие как тыква, раковины, кокос, калабаш, и растения, также имплантировались, но вызывали осложнения. Судя по сведениям, содержащимся в книгах Гиппократу «О враче» и «О ранах головы», трепанация черепа считалась одной из обычных операций. Древнегреческий хирург располагал всеми необходимыми для этого приспособлениями. Инструменты должны были быть удобны по своей величине, весу и тонкости. Для операции на черепе использовались трепан с пилообразными зубцами, венечный и перфоративный буравящий трепан.

Первое описание краниопластики было обнаружено в учебнике хирургии Alaim-I Cerrahin (Wonders of Surgeons) [12], который был написан Ибрагимом бен Абдуллой в 1505 году. Автор жил во время войны, в османскую эпоху, лечил солдат с дефектами черепа с помощью гетеротрансплантатов, полученных от козлов или собак. Эти животные были распространены в сельской местности. В Европе, у Fallopius был накоплен опыт лечения травматических переломов костей черепа. Если твердая мозговая оболочка не была повреждена, сломанную кость можно было заменить гетеротрансплантатом, а в противном случае, использовалась золотая пластина. Известный случай успешной краниопластики, опубликовал голландский хирург Ван Мекерен в 1668 году, иллюстрирует лечение русского дворянина, после ранения мечом в Москве [13]. Дефект черепа был закрыт фрагментом кости собаки. Результаты лечения были удовлетворительными. Впоследствии возникла необходимость удалить кость, из-за угрозы отлучения от церкви. Костный лоскут был прочно приращен. В последствии, применялись гетеротрансплантаты из обезьяны, гуся, кролика, теленка, коралла, и орла.

Однако использование гетеротрансплантатов уменьшилось из-за более широкого применения аутоотрансплантатов.

В 1821 году, Вальтер предложил использовать аутологичные трансплантаты [13]. Основным недостатком метода связан с осложнениями со стороны донорского участка. Повторная вставка костного лоскута, удаленного при краниотомии, считалась оптимальным, так как никакие другие трансплантаты не используются. В части случаев аутоотрансплантаты рассасываются, что требовало повторной операции и замены их на металл, пластик или другой синтетический материал [14,15,16]. Эволюция краниопластики была связана с другими достижениями в медицине, таким как введение общей анестезии, асептики, и антибактериальной терапии. Возросло качество лечения и выживаемость пациентов с тяжелой ЧМТ и потребность в краниопластике увеличилась. [17]. В 20-м веке, в качестве пластических материалов использовалась и золото и серебро. Золоту было отдано предпочтение благодаря биосовместимости, но материал дорогостоящий и слишком мягким для адекватной

защиты. Серебро впервые было использовано Себило в 1903 году. Основным недостатком серебра был связан с изменением цвета кожи, из-за окисления.

Впервые аллотрансплантат использовал Morestin в 1915 году, изготавливали его из трупного хряща. Трупный хрящ был популярен во время 1 мировой войны, из-за эластичности и высокой устойчивости к инфекциям. Но с течением времени интерес к данному материалу уменьшился из-за отсутствия кальцификации, и он не обеспечивал достаточную механическую защиту. Трупные кости также использовались для краниопластики, но материал хоть и обеспечивал хорошую механическую защиту, был недостаточно устойчив к инфекции и вызывал реакцию на инородную субстанцию.

В начале применялась необработанная трупная кость, что приводило к выраженной местной реакции и быстрому рассасыванию имплантата [18]. В дальнейшем были разработаны методы обработки, консервации и стерилизации (обработка формалином, гамма-лучами, замораживание), которые позволили значительно сократить число осложнений. Аллотрансплантаты обладают рядом преимуществ: простота обработки, низкий процент местных осложнений (при хорошей подготовке), хороший косметический эффект. К недостаткам относятся сложность подготовки кости. При данной методике гигантские дефекты закрыть достаточно сложно, поскольку необходимо подбирать кость соответствующей формы.

В начале XX века в качестве потенциальных материалов для краниопластики были исследованы металлы и различные сплавы. Они включали платину, свинец, алюминий, тантал, сплав кобальта и хрома (Виталлий), и сталь. Fulcher впервые описал использование тантала в 1943 году. Широко использовался тантал во время Второй мировой войны [19,27]. Однако, из-за высокой теплопроводности, пациенты страдали от головной боли при воздействии солнечных лучей или холода [20]. Свинец был впервые использован в качестве краниопластики материал в начале 20-го века. Однако это привело к интоксикации и связанным с ней смертельным исходам. По этой причине использование свинца было скреплено. Платина показала хорошую биосовместимость без реакции тканей. Однако ее использование не получило широкого распространения из-за высокой стоимости.

Виталлий состоит из кобальта, молибдена и хрома. Он уже использовался в качестве зубного имплантата и показал минимальную коррозию. После экспериментов на животных, которые показали, что составные металлы дают меньше тканевой реакции, чем чистые металлы, виталлий был применен для краниопластики. Тиконий подобен виталлию но содержит также никель. Тиконий более гибкий и проще моделируется.

Титан, предложенный для краниопластики в 1965 году, в настоящее время единственный используемый металл [21]. Преимущества по сравнению с другими металлами, включают биосовместимость и механическую прочность. Кроме того, он относительно недорогой.

История используемых полимерных материалов в краниопластике начинается с 1890 года, когда Fraenkel [22] использовал целлулоид для закрытия дефекта черепа. Изобретателем полиэтилена считается немецкий инженер Ганс фон Пехманн, который впервые случайно получил этот продукт в 1899 году. Полиэтилен был запатентован группой ученых в 1936 и предложен как имплантат в 1948 году [13]. Однако, он был слишком мягким для реконструкции крупных дефектов. Он не использовался широко вплоть до появления пористого полиэтилена, который позволяет врастать мягким тканям. [23].

Первый синтез полиметилметакрилата (ПММА) произведен в 1902 году в Техническом университете г. Дармштадт, Германия (Otto Rohm), первое промышленное производство в 1936, исследования дефектов черепа человека начаты в 1940 году, имплантат метилметакрилата был впервые использован для краниопластики в 1940 году. Тем не менее, подготовка имплантата связана с неудобным двухступенчатым процессом. В 1954 году был разработан метод, который подходит для моделирования имплантата в операционной. Этот метод включал в себя смешивание жидкого мономера с полимеризованными бусинами метилметакрилата и пока материал мягкий и эластичный, необходимо сформировать пластину по форме дефекта черепа [24]. Тем не менее, процесс полимеризации- экзотермическая реакция, которая может вызвать температурное повреждение тканей [25]. Еще одним ограничением является хрупкость этого материала. Несмотря на эти недостатки, ПММА- один из самых широко используемых материалов в реконструкции черепах [26]. При использовании комбинации метилметакрилата и титановой сетки возможно значительно увеличить прочность аллографта. В последнее время внедрение компьютерного моделирования и аддитивных технологий, снизилась потребность в интраоперационном ручном моделировании трансплантата [28].

Наиболее частой причиной возникновения дефектов черепа по данным отделения хирургии ФСНКЦ ФМБА РФ являются резекционные трепанации выполненные по поводу черепно-мозговой травмы 81,8%, опухолей костей черепа и головного мозга 4,55%, декомпрессивные трепанации черепа при сосудистой патологии 9,1%, резекционные трепанации черепа по поводу воспалительных заболеваний черепа и головного мозга 4,55%.

Дефекты свода черепа классифицируют по размерам:

1. малые (до 10 см.кв.),
2. средние (до 30 см.кв.),
3. большие (до 60 см.кв.),
4. обширные (более 60 см.кв.).

По причине возникновения

1. Собственно травматические костные дефекты
  - Дырчатый перелом без инородного тела
  - Дырчатый перелом с инородным телом
  - Вдавленный перелом черепа
  - Многооскольчатый перелом черепа
  - Посттравматическое рассасывание костей черепа
2. Ятрогенные костные дефекты

Как правило, пациенты, которым проводятся резекционные трепанации черепа находятся в тяжелом состоянии и спасение жизни приоритетно, все пластические операции могут быть выполнены отсроченно.

Основное клиническое проявление у пациентов с костными дефектами «синдром трепанированного черепа». Симптомокомплекс впервые был описан в 1939 году [2], как «синдром трепанированных». Последний включает в себя головные боли местного и общего характера, возникающие и/или усиливающиеся при изменении атмосферного давления, температуры окружающей среды; пролабирования содержимого черепа в дефект при кашле, физическом напряжении, наклоне головы и т.п. При этом характерны жалобы на боязнь повреждения мозга, чувство неполноценности, депрессивное состояние, а также косметические проблемы [4,5,6,7]. Пульсация мозга приводит к развитию глиоза из-за постоянной травматизации мозга в области края трепанационного окна [8]. Пациенты жалуются на боязнь повреждения мозга через «костное окно», появление чувства неполноценности и косметический дефект.

В экспериментальных исследованиях показано изменение церебральной гемодинамики по данным транскраниальной доплерографии. У пациентов на стороне обширного дефекта наблюдается значительное снижение линейной скорости кровотока. По данным нейросонографии в В-режиме через дефект черепа при проведении пробы Вальсальва выявлено смещение головного мозга в сторону дефекта, а также растяжение базальных цистерн и некоторое смещение ствола мозга в вырезке намета мозжечка [29]. Показания к краниопластике определяются главным образом необходимостью герметизации полости черепа (защита головного мозга от внешних воздействий и нормализация церебральной гемо- и ликвородинамики) и в косметических целях.

Противопоказанием к краниопластике являются - наличие в области костного дефекта свища, остеомиелита или раны.

Существующие методы краниопластики подразделяются на:

1. аутопластику (для пластики используются ткани больного),
2. аллопластику (консервированные ткани другого человека),
3. ксенопластику (ткани, взятые от животных)
4. имплантаты (медицинские изделия вживляемые в организм человека в качестве протезов).

В зависимости от сроков оперативного вмешательства различают:

1. первичную (в сроки до 2-х дней после травмы),
2. первично-отсроченную (до 2-х недель после травмы),
3. раннюю (до 2-х месяцев)
4. позднюю (свыше 2-х месяцев) пластику дефектов костей свода черепа.

В настоящее время применяется аутопластика и искусственные имплантаты.

## Аутопластика

Наибольшими преимуществами для краниопластики обладают аутотрансплантаты (от греч. autos — сам, свой). Macewen (1885) and Burrell (1888) предложили использовать оставленную кость после трепанации. Сохранение аутотрансплантата может быть осуществлено во время первичной операции (декомпрессивной трепанации). Удаленный костный фрагмент помещают в подкожную жировую клетчатку передней брюшной стенки либо передненаружной поверхности бедра. Описаны методики сохранения костного лоскута под кожно-апоневротическим лоскутом над сводом черепа с противоположной стороны. При данных способах сохранения возникают ограничения по времени хранения импланта. Уже через 4—6 мес. размеры импланта могут значительно уменьшиться за счет лизиса костной ткани. Альтернативой являются методы экстракорпорального сохранения имплантов в морозильных камерах, различных растворах в сочетании с термической и химической обработкой. Если имплант не был сохранен во время первичной операции, при небольших размерах костного дефекта (до 3—4 см) остается возможность использовать аутотрансплантат. В этих случаях применяют методы расщепленных костных лоскутов, когда при помощи специальных осциллирующих сагиттальных пил и стамесок производят расслаивание костей свода черепа с последующей имплантацией их в область дефекта.

В 1890 году, Muller предложил методику скользящего или расщепленного лоскута. Ограничения в размерах связаны с технической трудностью формирования единого расщепленного костного лоскута. Существуют две основные методики забора аутотрансплантата со свода черепа

1) получение трансплантата за счет расслоения с помощью осциллирующей пилы уже выпиленного трепанационного костного лоскута;

2) взятие трансплантата со свода без предварительного выпиливания трепанационного костного лоскута.

При данном методе требуется меньшее время, однако он связан с большим риском осложнений (развитие внутрочерепных гематом вследствие повреждения мозговых оболочек и мозговой ткани). Данная методика применяется в настоящее время, однако есть указания, что перемещенный костный лоскут может подвергаться резорбции. Преимущества применения аутотрансплантатов неоспоримы, особенно в детском возрасте.

Для аутотрансплантации в разное время применяли ребра, грудину, большеберцовую кость, лопатку, крыло подвздошной кости.

В 1970-х и 1980-х годах также появились жесткие пластины из различных сплавов, различной формы и толщины. Они фиксировались к костям с помощью саморезов. Пластины достаточно просто использовались, из-за универсальности и жесткой фиксации данная методика стала распространенной [32]. Обычно такие пластины фиксировались в области фрезевых отверстий что обеспечивало, полное восстановление целостности свода черепа. У детей микропластинки для фиксации часто мигрировали через кость и обнаруживались на твердой мозговой оболочке и даже фиксировались случаи миграции под дуральную оболочку [30]. У детей целесообразно использовать рассасывающиеся пластины для фиксации, изготовленные на основе биоразлагаемых полимеров (полигликолида и полилактата). Первые пластины из биodeградируемых полимеров имели высокий профиль, после рассасывания

пальпировались отверстия через которые фиксировались пластины и пальпировались нити для фиксации. В дополнение к этим эстетическим проблемам многие из первых пластинок были склонны к развитию невоспалительных гранулем. Как правило при гранулемах отсутствовали признаки воспаления- отек, покраснение и повышение температуры. Современные материалы уменьшили частоту гранулем, хотя они все еще остаются случайными осложнениями. Распространенность гранулем остается примерно на уровне 10%, хотя случаев требующих удаление фиксирующих пластин не наблюдалось. [30].

Несмотря на то, что используются биodeградируемые материалы относительно недавно, результаты получены обнадеживающие.

В многоцентровом обзоре из 1 883 пациентов, уровень инфицирования 0,2%; частота образования гранулем составила 0,7%; и общая частота нестабильности пластины(в основном вторичная постоперационная травма) составила 0,3% [31]. Используются биоабсорбируемые пластины для дополнительной более жесткой фиксации, и абсорбируемые швы (PDS), чтобы зафиксировать кость.

В дополнение к более удовлетворительному косметическому результату, переход от металлических сплавов (титановых пластин) к биodeградируемым имел дополнительное преимущество - устранение эффектов металлического артефакта при обследованиях.

Предложены оригинальные фиксаторы костного лоскута выполненные из металла с памятью формы. Особенностью данных фиксаторов является возможность микроподвижности костного лоскута и компенсации внутричерепного давления при отеке головного мозга [1].

По данным финских исследователей [33] после реконструкции костей черепа аутогенной костью, в послеоперационном периоде возникает необходимость в удалении костного лоскута в 40,0% случаев. Ведущие причины осложнений и удаление аутоаутогенного трансплантата были инфекции и резорбция кости (25,0% и 15,0% соответственно). Меньше осложнений наблюдалось при использовании гидроксиапатита и на основе армированного стекловолокном композитного материала с биокерамическим покрытием; однако разница по сравнению с аутоаутогенным трансплантатом не была статистически значимой. В мнению авторов гидроксиапатиты целесообразно использовать при закрытии дефектов малых и средних размеров.

К искусственным имплантатам относятся материалы небиологического характера и неорганической природы. Наряду с золотом, серебром, платиной применялись и нержавеющая сталь, цирконий, тантал, виталий и производные акриловых смол (полиметакрилат, плексиглас, старакрил, бутакрил, прогакрил, этакрил, норакрил, редонт и др.).

Искусственные имплантаты можно разделить по химическому составу на

1) полимерные материалы (метилметакрилаты; твердые формы силикона, полиэфирэфиркетон, полиэтилен);

2) металлические имплантаты (титан и его сплавы, нержавеющая сталь);

3) имплантаты на основе гидроксиапатита;

#### 4) композиты армированные стекловолокном с биокерамическим покрытием

Кроме перечисленных групп встречаются отдельные публикации, посвященные использованию для краниопластики различных керамических и углеродных имплантов.

#### Полимерные материалы.

После II мировой войны потребность в проведении краниопластик была очень широкой. Акрилаты в основном использовали дантисты. Развитие применения данного материала привело к использованию его для краниопластики. Акрилаты имели несколько преимуществ перед металлическими субстанциями: простое моделирование, легкий вес, низкий нагрев при облучении, рентгенпроницаемость. Акрилаты в форме метилметакрилата были впервые использованы на животных моделях, и было показано отсутствие реакции со стороны твердой мозговой оболочки и других тканей. [34].

На долю метилметакрилатов приходится до 73% операций по пластике дефектов черепа. Данная группа обладает рядом достоинств, хорошо известных и широко применяемых большинством нейрохирургов: возможность и легкость моделирования имплантов любой формы, размеров, относительно низкая стоимость материала. Несмотря на очень широкое распространение, с ними связан сравнительно большой риск возникновения осложнений в послеоперационном периоде. Местные воспалительные реакции связаны с токсическим и аллергическим эффектом компонентов смеси. Поэтому с особой осторожностью необходимо подходить к использованию ПММА у пациентов с осложненным иммунологическим анамнезом. Наиболее часто аллергические реакции на компоненты ПММА развиваются у пациентов с пищевой аллергией на мясо рыбы, соевый белок.

Со временем с целью предотвращения нежелательного перелома материала, были попытки сделать структурную поддержку из стальной или титановой сетки. После изготовления импланта его остужают в физ. растворе, потому что при полимеризации происходит его нагрев. Далее фиксируют к краям кости минипластинами с саморезами. Метил-метакрилат использовался для краниопластики наиболее широко. [3,4,5] В НИИ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко ежегодно выполняется около 100 краниопластик с применением метилметакрилата.

Однако применяемые для пластики материалы, хотя и являются инертными, не лишены некоторых недостатков: они оказывают механическое, биологическое, химическое и физико-химическое действие на окружающие ткани [25].

Пространственно сшитый полимер из олигомеров метакрилового ряда известен под названием «Реперен». Особенностью синтеза данного полимера является одностадийная технология изготовления изделия методом фронтальной фотополимеризации. Данная технология, во-первых, позволяет осуществить одностадийное производство изделия (мономер → изделие), что исключает попадание инородных примесей (в традиционных технологиях это происходит на стадии полимер → изделие). Во-вторых, технология фронтальной полимеризации с предельно малым шагом волны позволяет произвести полную полимеризацию мономера в полимер без остаточного количества, что выгодно отличает данную технологию от традиционной методики термической полимеризации. Пластины могут быть немоделируемые и термомоделируемые. При нагревании в горячем физиологическом растворе до 70-80 °C пластина становится мягкой, легко моделируется по форме дефекта

черепе. При охлаждении приданная форма сохраняется. Стандартная немоделируемая пластина выдерживает при точечном приложении силы около 15 кг. Использовать пластины удобно, при необходимости благодаря термопластичности, возможно достичь высокосметических результатов [36].

Полиэтилен и силикон.

Силикон был предложен в качестве материала для краниопластики в 1968 году, но его мягкое строение ограничивало его использование [37]. Развитие химии высокомолекулярных соединений позволило синтезировать новые силоксановые композиции. В НИИ резиновых и латексных изделий разработан полимерный материал «Эластомед» вулканизируемый органогидросилоксаном в присутствии катализатора из платины. Использование композиции «Эластомед» возможно для оперативного лечения больных с дефектами и деформациями лобно-носо-орбитальной области и свода черепа. Указанный материал не токсичный и обладает достаточной механической прочностью для пластики дефекта черепа [38].

Металлические имплантаты.

Применение чистого титана является наиболее предпочтительным в связи с его высокой биосовместимостью, устойчивостью к коррозии, пластичностью, низким уровнем помех при проведении компьютерной и магнитно-резонансной томографии. Титановые пластины и винты, используемые в нейрохирургии, имеют широкий ассортимент по размерам. К преимуществам титановых имплантов относятся низкий риск развития местных воспалительных реакций, возможность использования при вовлечении в дефект придаточных пазух носа.[39].

В тоже время стандартные пластины из титана имеют ряд недостатков:

1. недостаточная гибкость в ограниченной возможности придания сложной формы при использовании для краниофациальных и краниобазальных пластик,

2. недостаточная жесткость пластин, особенно в случае использования низкопрофильных конструкций,

3. недостаточные размеры стандартных сеток (до 120\*120 мм.), для закрытия гигантских дефектов (например после сокрушающих переломов или после гемикраниэктомии.)

4. инфекционные осложнения достигают от 2 до 8 %

Гидроксиапатиты.

Гидроксиапатит это гексагональная форма кальция фосфата. Этот материал уже присутствует в костной ткани; таким образом, считается, что гидроксиапатит увеличивает репарацию кости. Преимущества гидроксиапатита-минимальная реакция тканей, увеличение костного восстановления и хорошая остеоинтеграция. С другой стороны, наиболее заметным недостатком является то, что этот материал не очень устойчив к механическим воздействиям и может легко сломаться.[40,41] В последнее время пористая структура придала этому материалу более остеоинтегративное состояние и его использование с титановой сеткой сделало гидроксиапатит более прочным. Пациентам с гидроксиапатитовой краниопластикой рекомендуется избегать травм до полного восстановления.

В чистом виде гидроксиапатитный цемент применяется при размерах дефекта до 30 см<sup>2</sup>. При больших размерах для придания большей прочности и получения лучших косметических результатов необходимо его армирование титановой сеткой. Первые разработки по применению гидроксиапатита в медицине относятся к середине 80-х годов XX века, когда в исследовательском центре фонда здоровья американской ассоциации стоматологов было показано, что соответствующая комбинация фосфата кальция при смешивании с водой образует самоотверждающийся цемент, который преобразуется в чистый гидроксиапатит. Одним из несомненных достоинств имплантов на основе гидроксиапатита является их практически полная биосовместимость. При небольших дефектах гидроксиапатит полностью рассасывается и замещается костной тканью в течение 18 мес. При больших дефектах периферия импланта плотно срастается с костью и частично рассасывается, в то время как центральная часть импланта остается неизменной. Риск развития инфекционных осложнений при использовании гидроксиапатита также является одним из самых низких среди всех имплантов (до 3%), при этом вовлечение в дефект черепа придаточных пазух не является противопоказанием к применению.

К недостаткам гидроксиапатита можно отнести высокую стоимость ряда композиций, необходимость дополнительного армирования титановой сеткой при больших дефектах, невозможность использования в областях черепа, несущих функциональную нагрузку, инфекционные осложнения, по данным ряда авторов встречающиеся чаще, чем при пластике титановыми пластинами.

Особый химический состав в сочетании с повышенной взаимосвязанной пористостью играет решающую роль в процессе остеоинтеграции за счет оказания быстрой колонизации клеток биокерамическим и активации необходимых биологических стимулов для содействия регенерации костной и неоваскуляризации разрешения таможни имплантата.

#### Преимущества применения имплантатов из гидроксиапатита

- Макро - и микропористость
- Химический состав аналогичен кости человека
- Быстрое размножение остеогенных клеток и костная регенерация
- Полная биосовместимость
- В случае травмы, ведет себя как натуральная кость
- Возможно использование комбинированных имплантов (с титановой сеткой)

#### Недостатки

- Низкая механическая прочность
- Высокая стоимость композиций
- Необходимость дополнительного армирования титановой сеткой при больших дефектах
- Невозможность использования в областях черепа, несущих функциональную нагрузку.

## Моделирование формы имплантата

Длительное время моделирование формы имплантата проводилось непосредственно во время операции. Таким образом моделировались стандартные и динамические титановые перфорированные пластины, самоотвердевающие полимеры (полиметилметакрилаты), термопластичные материалы из пространственно сшитых мономеров метакрилового ряда (реперен).

Технология стереолитографии в 1986 г. была запатентована Чарлзом Халлом. Впервые технология лазерной стереолитографии была представлена в 1987 г. на автошоу в Детройте.

При стереолитографии геометрическое воспроизведение объекта осуществляется послойнодепресссионным отверждением жидкого фотомономера с помощью UV-лазера (фотополимеризация).

Луч лазера, управляемый компьютером, проходит по поверхности жидкого полимера в соответствии с конфигурацией формируемого слоя. В жидкой реакционно-способной среде образуются активные центры (радикалы, ионы, активированные комплексы), которые при взаимодействии с молекулами мономера вызывают рост полимерных цепей, ведущий к фазовому изменению -- отверждению слоя. После этого платформа опускается, луч проходит конфигурацию второго сечения, потом третьего и т.д. Так последовательно послойным наращиванием происходит создание трехмерного твердотельного конструктивного элемента заданной геометрии. Существуют две основные схемы изготовления имплантов с применением стереолитографии.

1. Изготовление импланта на пластиковой модели черепа пациента. Для этого на стереолитографической установке изготавливают модель черепа и в дальнейшем по ней вручную формируют имплант. При этом материалом для изготовления импланта может являться метилметакрилат или титановая пластина. Это наиболее простой способ, однако он требует точного соблюдения анатомических особенностей при изготовлении импланта.

2. Изготовление пресс-формы. При этом необходимо создание компьютерной модели импланта. Для этого используются три метода:

- построение недостающего фрагмента на срезах, после чего полученный набор отредактированных томограмм преобразуют в объемную модель. Данный метод является весьма трудоемким и требует точного знания анатомического строения и взаимоотношений костей черепа;

- симметричное отражение. При локализации дефекта с одной стороны от срединной сагиттальной плоскости череп «разбивают» на две симметричные половины по сагиттальной плоскости. Одну из частей преобразуют в свою зеркальную копию и производят вычитание из зеркальной копии неповрежденной половины поврежденной;

- использование «виртуального донора» эффективно при невозможности использовать симметрию черепа. Из базы данных выбирают модель черепа, сходную по анатомическому строению, из нее выделяют необходимый фрагмент, который масштабируют и совмещают с участком черепа, в котором имеется дефект.

В последние годы в медицинскую практику внедряются современные компьютерные технологии производства индивидуальных имплантатов на основе данных спиральной компьютерной томографии (СКТ). Они позволяют изготовить имплантат практически из любого аллопластического материала прямым или непрямым способом. При непрямом изготовлении предварительно, методом компьютерного моделирования, создается дизайн имплантата — computer aided design (CAD). Затем готовится шаблон имплантата методом быстрого прототипирования. Примером может являться методика производства стереолитографических (СТЛ) моделей черепа пациента с областью костного дефекта и пресс-формы для изготовления имплантатов из ПММА.

Индивидуальный имплантат из ПММА готовится по пресс-форме вручную, что может отражаться на его точности и требует определенного опыта. Методика предусматривает возможность проведения доработки имплантата на стерильных СТЛ моделях и их подгонку к краям дефекта высокоскоростными фрезами. Более совершенным является прямое промышленное изготовление индивидуальных имплантатов из титана, полимерных материалов, керамики с использованием различных производственных технологий: высокоскоростного фрезерования, селективного лазерного спекания, литья на высокоточных станках, оснащенных системой компьютерного управления — computer aided manufacturing (CAM) [42]. Таким образом, при использовании систем автоматизированного проектирования и автоматизированного производства (CAD/CAM технологии), индивидуальный имплантат создается напрямую, т.е. без получения промежуточной физической модели его шаблона и необходимости ручного моделирования на пресс-форме. Изготовление СТЛ модели при этом уже не требуется, но она может быть использована для примерки и оценки точности имплантата.

3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твердого объекта. Принципиально существует две основные технологии лазерная и струйная. При лазерной технологии происходит полимеризация под воздействием лазера, либо расплавление под воздействием лазера (технология электронно-лучевой плавки). При струйной

### Стереолитография

Разработаны новые методы модификации пористых материалов с применением сверхкритических сред и формирования и очистки пористых минерал-полимерных композитов с целью создания материалов для направленной регенерации костных тканей и имплантатов нового поколения. (ИПЛИТ РАН). Разработана концепция лазерно-информационных технологий дистанционного создания трехмерных объектов и биомоделирования.

С этой целью были созданы физико-химические и информационные основы лазерной стереолитографии как технологии оперативного изготовления вещественных копий трехмерных компьютерных моделей. Были созданы новые материалы, программное обеспечение и оборудование, необходимые для реализации этой технологии, организовано малосерийное производство установок для лазерной стереолитографии и расходных материалов для них, продемонстрирована высокая эффективность использования стереолитографии для моделирования и изготовления элементов машиностроительных и

аэрокосмических конструкций, оснастки для разных видов прецизионного литья, штампов и пресс-форм.

В области лазерной компьютерной стереолитографии микронного разрешения были получены приоритетные результаты. С этой целью выполнено экспериментальное и теоретическое исследование фотоиницированной импульсным и непрерывным лазерным излучением полимеризации акриловых мономеров и олигомеров и композитов на их основе. Эти исследования позволили разработать эффективные методы расчета молекулярно-массовых распределений при иницировании полимеризации произвольной последовательностью лазерных импульсов и создана соответствующая программа, которые позволяют определять кинетические константы радикальной полимеризации по экспериментально полученным распределениям. Фотоиницированная лазерным излучением полимеризация была локализована в пространстве с объемом менее 10 мкм<sup>3</sup>. В результате была изготовлена трехмерная структура с минимальным линейным размером элемента равным 2.5 мкм.

Большинство материалов для краниопластики используются с небольшими корректировками хирургом.

В настоящее время разработаны технологии объемной печати из металлов, в частности используется титан. Впервые в 2013 году в Дании был изготовлен фрагмент челюсти из титана и успешно имплантирован пациентке.

Эндоскопическая краниопластика.

Разработка эндоскопического оборудования и методов позволяет хирургам проводить минимально инвазивную краниопластику. Разработана методика инъекционного заполнения небольших дефектов костей черепа гидроксиапатитом. Данный способ предложен для закрытия дефекта в птериональной области. Хотя минимальная инвазивность является преимуществом, и трендом в современной нейрохирургии, к настоящему времени не проведено больших исследований в поддержку данного метода [43].

Большинство материалов краниопластики используются с небольшими корректировками хирургом. Материал для краниопластики не должен вызывать инфекционных осложнений, должен иметь низкую теплопроводность, быть немагнитным, рентгенопрозрачный, механически прочным и недорогим. Прежде чем закрыть дефект кости, по периметру костного окна должны быть отсепарованы мягкие ткани. Поврежденная ТМО должна быть герметично заклеена или ушита. Кость и материал должны касаться друг друга по периметру дефекта. Для предотвращения подвижности пластины, необходимо предусматривать надежный способ фиксации.

Список использованной литературы.

1. Геворков А.В., Давыдов Е.А., Сафаров Б.И., Ильин А.А., Коллеров М.Ю., Черемкин С.Н., Улитин А.Ю. Применение демпферных краниофиксаторов из нитинола при пластике дефектов черепа // Вестник хирургии. -2010.-Том 169.-№3.-С.69-73.
2. Grant FC, Norcross NC. Repair of Cranial Defects by Cranioplasty.// Ann Surg. 1939.-Vol. 110.-P.488-512. [PubMed: 17857467]

3. Коновалов А.Н., Потапов А.А., Лихтерман Л.Б., Корниенко В.Н., Кравчук А.Д. Хирургия последствий черепно-мозговой травмы. — М., 2006. — 352 с.
4. Лихтерман Л.Б., Потапов А.А., Сербиненко Ф.А., Кравчук А.Д., Охлопков В.А., Лысачев А.Г. Классификация и современные концепции хирургии последствий и осложнений черепно-мозговой травмы// *Нейрохирургия* 2004, 1, 34-39.
5. Dujovny M., Evenhouse R., Anger C., Charbel F., Sadler L., McConathy D. Preformed prosthesis from computed tomography data // *Calvarial and dural reconstraction: Neurosurgical topics / AANS Publ. Com. Rengachary S., Benzel E., ed. — Chapter 7. — 1998. — P. 77—87.*
6. Stula D. *Cranioplasty: Indications, Techniques and Results.* Springer Verlag. — 1984. — 112 p.
7. Schiffer J, Gur R, Nisim U, Pollak L. Symptomatic patients after craniectomy. *Surg Neural* 1997; 47 (3):231—237
8. Gardner WJ. Closure of defects of the skull with tantalum. *Surg Gynecol Obstet.* 1945; 80:303–312.
9. Greenblatt S.H., Dagi F., Epstein M.H. A history of neurosurgery: in its scientific and cultural contexts. Ed. M.H. Epstein. Illinois: Park Ringe: AANS 1997.
10. Кривошапкин А.Л., Чикишева Т.А., Зубова А.В., Курбатов В.П. Трепанации у населения Горного Алтая V—III века до н.э. // *Вопросы нейрохирургии.* - 2014.- №3.-С.62-71.
11. Kurin, D. S. Trepanation in south-central peru during the early late intermediate period (ca. AD 1000-1250). // *Am.J.Phys.Anthropol.,* 2013.- Vol.152.-№4.- 484-494.
12. Aciduman, A., & Belen, D. The earliest document regarding the history of cranioplasty from the ottoman era. // *Surg.Neurol.*2007.-Vol. 68.- №3.-P. 349-353.
13. Sanan A., Haines S. Repairing Holes in the Head: A History of Cranioplasty // *Neurosurgery.* — 1997. — Vol. 3. — № 40. —P. 588—603.
14. Bowers, C. A., Riva-Cambrin, J., Hertzler, D. A., 2nd, & Walker, M. L. Risk factors and rates of bone flap resorption in pediatric patients after decompressive craniectomy for traumatic brain injury.// *J.Neurosurg.Pediatr.* 2013.-Vol.11.-№5.-P. 526-532.
15. Frassanito, P., Massimi, L., Caldarelli, M., Tamburrini, G., Di Rocco, C. Bone flap resorption in infants.// *J.Neurosurg.Pediatr.* 2014.-Vol.13.-№2.-P. 243-244.
16. Stieglitz, L. H., 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.*2015.-Vol.157.-№2.-P. 275-280.
17. Bonfield C. M., Kumar A. R., Gerszten, P. C. The history of military cranioplasty. // *Neurosurgical focus.*-2014.-Vol. 36.-№4.-P. 1-4.
18. Shah, A. M., Jung, H., & Skirboll, S. Materials used in cranioplasty: A history and analysis.// *Neurosurg.Focus.*-2014.-Vol.36.-№4.- P.19.
19. Flanigan, P., Kshetry, V. R., & Benzel, E. C. World war II, tantalum, and the evolution of modern cranioplasty technique.// *Neurosurg.Focus.*2014.-Vol.36.-№4.-P.22.
20. Makela T. Tantalum cranioplasty of war wounds of the skull.// *Ann Chir Gynaecol Fenn.* 1949.- Vol.38,-№7.-P.13–19. [PubMed: 18126356]
21. Blake, G. B., MacFarlane, M. R., & Hinton, J. W. Titanium in reconstructive surgery of the skull and face. *Br.J.Plast.Surg.*1990, Vol.43,-(5), 528-535.
22. Fraenkel, A. Ueber deckung von trepanations defekten am schadel durch heteroplastik // *Wien Klin Wochenschr.* – 1890. – № 3. – P. 475-476.
23. Wang, J. C., Wei, L., Xu, J., Liu, J. F., & Gui, L. Clinical outcome of cranioplasty with high-density porous polyethylene. // *J.Craniofac.Surg.*2012.-Vol. 23.-№5.-P.1404-1406.

24. Marchac, D., Greensmith, A. Long-term experience with methylmethacrylate cranioplasty in craniofacial surgery. // *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* 2008. - Vol. 61. - №7. - P. 744-753.
25. Pikiş, S., Goldstein, J., & Spektor, S. Potential neurotoxic effects of polymethylmethacrylate during cranioplasty. *J. Clin. Neurosci.* 2015. - Vol. 22. - №1. - P. 139-143.
26. Moreira-Gonzalez, A., Jackson, I. T., Miyawaki, T., Barakat, K., & DiNick, V. Clinical outcome in cranioplasty: Critical review in longterm follow-up. // *J. Craniofac. Surg.* 2003. - Vol. 14. - №2. - P. 144-153.
27. Woodhall B, Spurling RG. Tantalum cranioplasty for war wounds of the skull. // *Ann Surg.* 1945. - Vol. 121. - P. 649-668. [PubMed: 17858600]
28. Tuomi, J., Paloheimo, K. S., Vehviläinen, J., Björkstrand, R., Salmi, M., Huotilainen, E., Kontio, R., Rouse, S., Gibson, I., & Mäkitie, A. A. A novel classification and online platform for planning and documentation of medical applications of additive manufacturing. *Surg. Innov.*, 2014. - Vol. 21. - №6. - P. 553-559.
29. Picard, N.A., Zanardi C.A. Brain motion in patients with skull defects: B-mode ultrasound observations on respiration-induced movements. // *Acta Neurochirurgica.* 2013. - Vol. 155. - №11. - P. 2149-2157.
30. Goodrich, G.T., Sandler, A.S., Tepper, O. A review of reconstructive materials for use in craniofacial surgery bone fixation materials, bone substitutes, and distracters // *Childs Nerv. Syst.* 2012. - Vol. 28. - P. 1577-1588.
31. Eppley, B.L., Morales, L, Wood, R, Pensler J, Goldstein J, Havlik RJ, Habal M, Losken A, Williams JK, Burstein F Resorbable PLLA-PGA plate and screw fixation in pediatric craniofacial surgery: clinical experience in 1883 patients. // *Plast Reconstr Surg.* 2004. - Vol. 114. - P. 850.
32. Goldberg, D.S., Bartlett, S.P., Yu, J.C., Hunter JV, Whitaker LA Critical review of microfixation in pediatric craniofacial surgery. // *Journal of Craniofacial Surgery* 1995. - № 6. - P. 301.
33. Piitulainen J.M., Kauko T., Aitasalo K.M.J., Vuorinen V., Vallittu P.K., Post J.P. Outcomes of cranioplasty with synthetic materials and autologous bone grafts. // *World Neurosurgery* 2015. - Vol. 83. - №5. - P. 708-714.
34. Klinger DR, Madden C, Beshay J, White J, Gambrell K, Rickert K: Autologous and acrylic cranioplasty: a review of 10 years and 258 cases. // *World Neurosurg* 2014. - Vol. 82. - P. 525-530.
35. Chiarini L., Figurelli S., Pollastri G., Torcia E. Cranioplasty using acrylic material: a new technical procedure // *J. Craniomaxillofac Surg.* — 2004. — Vol. 32. — № 1. — P. 5—9.
36. Пластика дефектов свода черепа пластинами "Реперен" (экспериментально-клиническое исследование) : автореф. дис. канд. мед. наук : 14.00.28 / Тихомиров Сергей Евгеньевич. М. - 2011. - 68 с.
37. Chicarilli ZN, Ariyan S. Cranioplasty with a silicone prosthesis and split rib grafts. // *Head Neck Surg* 1986. - Vol. 8. - P. 355-62. [PubMed: 3539875]
38. Карнаухова А.В. Устранение дефектов и деформация лобно-носо-орбитальной области и свода черепа с применением композиции эластомед : автореф. дис. канд. мед. наук : 14.00.28 / Карнаухова Анна Витальевна. М. - 2006. - 28 с.
39. Eufinger H., Weihe S., Scherer P. et al. Management of cranial and craniofacial bone defects with prefabricated individual titanium implants: follow-up and evaluation of 166 patients with 169 titanium implants from 1994 to 2000. *Int J Comp Ass Radiol Surg* 2006; 1: 4: 197—203.

40. Gilardino M.S., Cabiling D.S., Bartlett S.P. Long-term follow-up experience with carbonated calcium phosphate cement (Norian) for cranioplasty in children and adults.// *Plast Reconstr Surg* 2009.-Vol. 123.-P.983.
41. Gosain AK. Hydroxyapatite cement paste cranioplasty for the treatment of temporal hollowing after cranial vault remodeling in a growing child. // *J Craniofac Surg*. 1997. -№8,-P.506–511.
42. Еолчиан С.А. Пластика сложных дефектов черепа имплантатами из титана и полиэфирэфтеркетона (ПЕЕК), изготовленными по CAD/CAM технологиям // *Вопросы нейрохирургии*. - 2014. - №.-С.3-13.
43. Kubo S, Takimoto H, Kato A, Yoshimine T. Endoscopic cranioplasty with calcium phosphate cement for pterional bone defect after frontotemporal craniotomy: technical note.//*Neurosurgery*.-2002;-Vol.-51.-№10.-P.-1094-6.
44. Coulter IC, Pesic-Smith JD, Cato-Addison WB, Khan SA, Thompson D, Jenkins AJ, Strachan RD, Mukerji N: Routine but risky: a multi-centre analysis of the outcomes of cranioplasty in the northeast of England // *Acta Neurochir*.-2014- Vol. 156. -P. 1361-1368.
45. Bobinski L, Koskinen LO, Lindvall P: Complications following cranioplasty using autologous bone or polymethylmethacrylate—retrospective experience from a single center.// *Clin Neurol Neurosurg*.-2013.-Vol.115.-P.1788-1791.
46. Wachter D, Reineke K, Behm T, Rohde V: Cranioplasty after decompressive hemicraniectomy: underestimated surgery-associated complications? *Clin Neurol Neurosurg* 115:1293-1297, 2013.
47. Lee CH, Chung YS, Lee SH, Yang HJ, Son YJ: Analysis of the factors influencing bone graft infection after cranioplasty.// *J Trauma Acute Care Surg*.-2012.-Vol.73.-P.255-260.
48. Honeybul S, Ho KM: How “successful” is calvarial reconstruction using frozen autologous bone? // *Plast Reconstr Surg*.-2012.-Vol.130.-P.1110-1117.
49. Hill, C. S., Luoma, A. M., Wilson, S. R., Kitchen, N. Titanium cranioplasty and the prediction of complications. // *Br.J.Neurosurg*.-2012.-Vol.26.-№6.-P.832-837.
50. Европейская конвенция по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей// *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*.-2008.-№1.-С.23-40.
51. Табаков, Г.П. Основы ветеринарии:учебник./Г.П. Табаков.- Москва: Академия, 2006.- 256 с.