УДК 617-089.844

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КРАНИОПЛАСТИКИ

[1]Приволжский окружной медицинский центр ФМБА России, г. Нижний Новгород
[2]Городская клиническая больница № 39, г. Нижний Новгород
[3]Приволжский исследовательский медицинский университет, г. Нижний Новгород
[4]Мордовская республиканская центральная клиническая больница, г. Саранск
[5]Кинешемская центральная районная больница, г. Кинешма
[6]Городская клиническая больница № 40, г. Нижний Новгород

Яриков А.В.[1,2], Фраерман А.П.[2,3], Леонов В.А.[2], Гунькин И.В.[4], Тихомиров С.Е.[5], Макеев Д.А.[4], Явкин М.Н.[4], Цыганков А.М.[4], Смирнов П.В.[2], Смирнов И.И.[2], Яксаргин А.В.[6], Паркаев М.В.[2]

В статье дается историческая справка о развитии краниопластики: со времен мезолита или раннего неолита, когда трепанация черепа носила ритуальный характер. С тех пор реконструктивная нейрохирургия претерпела несколько периодов развития. Показания для краниопластики в настоящее время разделены на три группы: лечебные, косметические и профилактические. В работе перечислены основные этапы, способствующие развитию реконструктивной нейрохирургии. Описаны современные материалы, используемые для закрытия дефектов костей черепа, их свойства, особенности, пред- и интраоперационное моделирование. Ранее при краниопластике использовались «свободно» или «вручную» моделируемые биополимеры. В последнее время для пластики обширных дефектов они применялись редко ввиду плохого эстетического результата. В настоящее время 3D-печать позволяет улучшить эстетический эффект реконструктивной нейрохирургии. Проведение экспериментов на стволовых клетках и разработка морфогенных белков решают проблему отторжения трансплантатов.
Ключевые слова: *краниопластика, аддитивные технологии, 3D-печать, дефекты костей черепа, реконструктивная нейрохирургия.*

The article gives the historical background of the development of cranioplasty: since the Mesolithic or early Neolitic, when cranial trepanation was ritualistic. Since then, reconstructive neurosurgery has undergone several periods of development. Indications for cranioplasty are currently divided into three groups: therapeutic, cosmetic, and preventive. The article lists the main stages contributing to the development of reconstructive neurosurgery. Modern materials used to close skull defects, their properties, features, pre- and intraoperative modeling are described. Previously, "freely" or "manually" simulated biopolymers were used in cranioplasty. Recently, they have seldom been used for the plastic of extensive defects due to a poor aesthetic result. Currently, 3D printing allows to improve the aesthetic effect of reconstructive neurosurgery. Conducting experiments on stem cells and developing morphogenetic proteins solve the problem of transplant rejection.
Keywords: *cranioplasty, additive technologies, 3D printing, skull defects, reconstructive neurosurgery.*

Краниопластика – нейрохирургическое вмешательство, направленное на восстановление целостности костей свода черепа [1, 2, 3]. Последствия операций на своде черепа эпохи мезолита или раннего неолита (10–12 тыс. лет назад) описаны учеными-археологами [4]. В эпоху мезолита большая часть вмешательств носила характер ритуалов. Были выявлены отчетливые признаки заживления краев отверстия, что свидетельствует о выживании пациента [5]. Дефект костных структур черепа формируется после оперативных пособий при травматических повреждениях, сосудистых заболеваниях головного мозга, гнойно-воспалительных заболеваниях или лечении онкологического процесса [6, 7, 8]. Увеличение количества выполняемых декомпрессивных трепанаций в последнее десятилетие обусловлено их эффективностью как метода адекватной борьбы с отеком головного мозга при перечисленных выше состояниях [9, 10, 11]. В нейрохирургии продолжает оставаться актуальной проблема закрытия дефектов свода черепа и фиксации трансплантатов [6, 12, 13]. В арсенале нейрохирурга имеется масса методов и материалов для проведения краниопластик [14, 15, 16]. Широкий выбор свидетельствует о постоянном научно-технологическом поиске и совершенствовании реконструктивной нейрохирургии [17, 18, 19].

Показания для краниопластики [20, 21, 22, 23, 24, 25, 26]:

1) лечебные (необходимость герметизации черепа, защита от внешних воздействий, нормализация внутричерепного давления, ликвородинамики и гемодинамики головного мозга);

2) косметические (дефекты, обезображивающие поверхность головы, лобно-орбитальную область, даже сравнительно небольшие дефекты);

3) профилактические (предупреждение случаев дополнительного травматизма у лиц, страдающих эпиприпадками).

Основные периоды развития краниопластики

Первый период характеризовался началом систематического изучения методов и способов краниопластики. В этом периоде изучается судьба пересаженного трансплантата, роль надкостницы, твердой мозговой оболочки, сосудистой системы (в частности, диплоических вен), солевого обмена и различных других факторов в процессе закрытия дефектов свода черепа [6, 27].

Второй период развития краниопластики (с 00-х по 60-е гг. XX века) характеризовался широким внедрением в нейрохирургическую практику различных материалов: ауто-, ксено-, алло-, гетеротрансплантатов. Это было обусловлено тем, что во время Первой и Второй мировых войн появилось большое количество раненых, имеющих обширные дефекты черепных костей. Наличие такого контингента больных требовало поиска новых материалов, позволяющих надежно закрывать обширные дефекты черепа. В этот период предлагаются различные металлы: тантал, виталлий, серебро, свинец, нержавеющая сталь, полиметилметакрилат (ПММА). Также в этот период был хорошо изучен и описан синдром «трепанированных».

Начался третий период истории развития краниопластики (с 60-х по 80-е гг. XX века). Достижения в консервации органов и тканей на тот период дали возможность искать трансплантационные материалы, которые по своим биологическим, физиологическим и биохимическим свойствам были бы близки тканям реципиента и не вызывали побочных реакций. Также в этот период разрабатывались различные способы хранения аутокости и аллокости: формалинизация (0,5 и 0,25% р-р формалина), лиофилизация (замораживание с последующим высушиванием в вакууме) и быстрое замораживание жидким азотом (t от –40 до –70°С) с последующим хранением при t –25°С (рисунок 1) [28, 29].

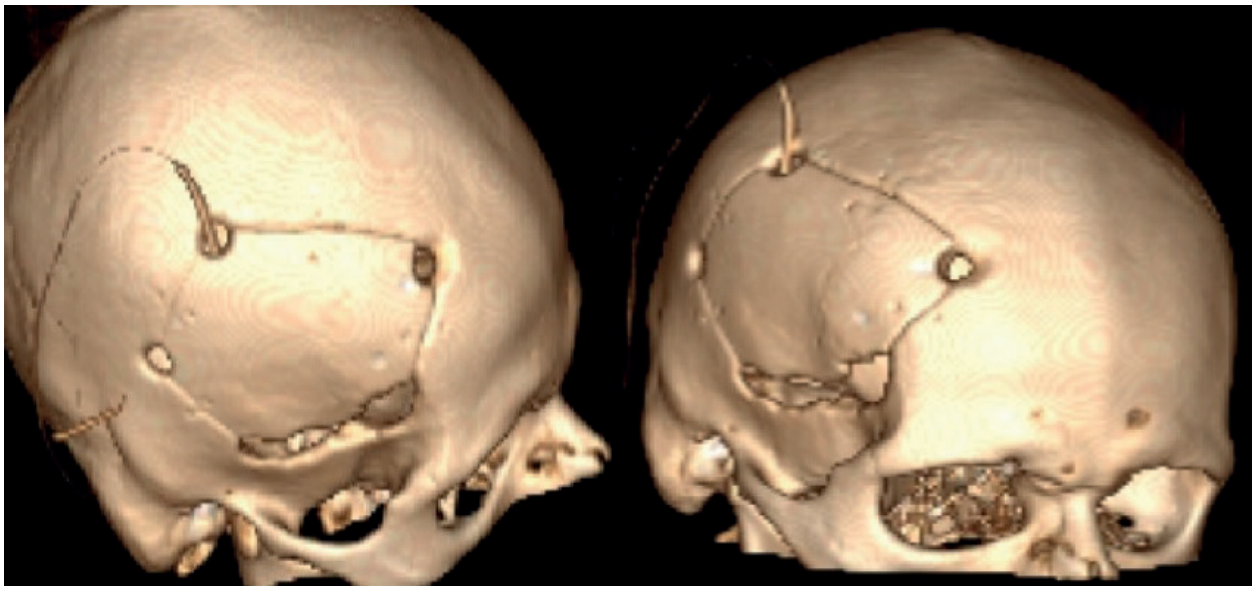


Рисунок 1 – Краниопластика аутокостью (компьютерная томография).
Хранение аутокости проводилось в растворе формалина.

Четвертый период (с 80-х по 90-е гг. XX века) характеризовался появлением более удобных в применении, в меньшей степени вызывающих реакцию окружающих тканей синтетических материалов: керамика, полиэфиркетон (PEEK) и т.д. [30].

Пятый период (с 90-х гг. XX века по 10-е гг. XXI века) характеризовался появлением аддитивных технологий, позволяющих изготавливать индивидуальные импланты [31, 32, 33]. Ранее использовались «свободно» или «вручную» моделируемые биополимеры (рисунок 2, 3) [34, 35].

Наиболее сложными в плане исключительности геометрии, а также высокой функциональной и косметической нагрузки являются дефекты лобно-глазничной локализации [36]. Для пластики обширных и сложных дефектов эти методики применяются редко ввиду плохого косметического результата [23, 37]. В настоящее время имеется широкий выбор 3D-печати, применяемой при краниопластике: моделирование методом послойного наплавления (FDM), стереолитография (SLA), выборочное лазерное спекание (SLS) и прямое лазерное спекание металла (DMLS) (рисунок 4, 5) [15, 38, 39].

Аддитивные технологии (прототипирование) дают возможность точно воссоздавать форму и объем имплантата [40, 41]. Количество научных публикаций по данной тематике возросло с 2013 г. более чем в 10 раз, что связано с популяризацией технологии 3D-печати и

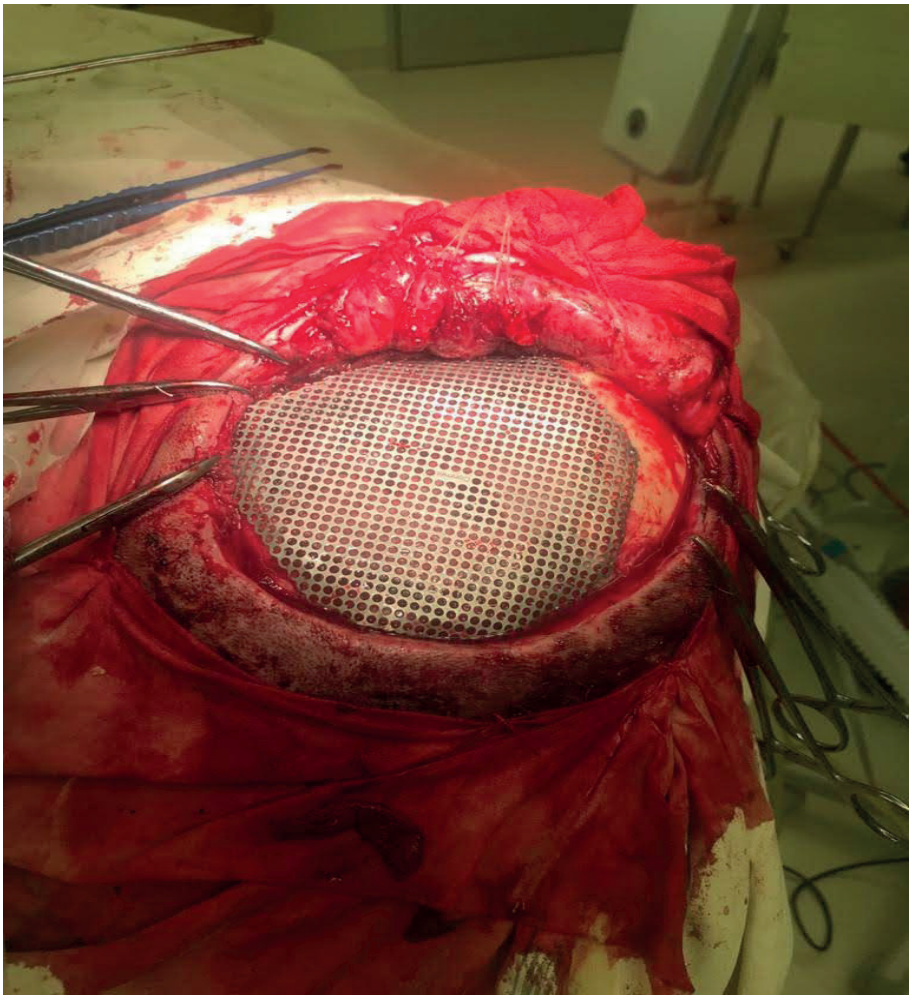


Рисунок 2 – Краниопластика титановой сеткой (интраоперационная фотография). Моделирование геометрии титановой сетки проводилось «вручную».

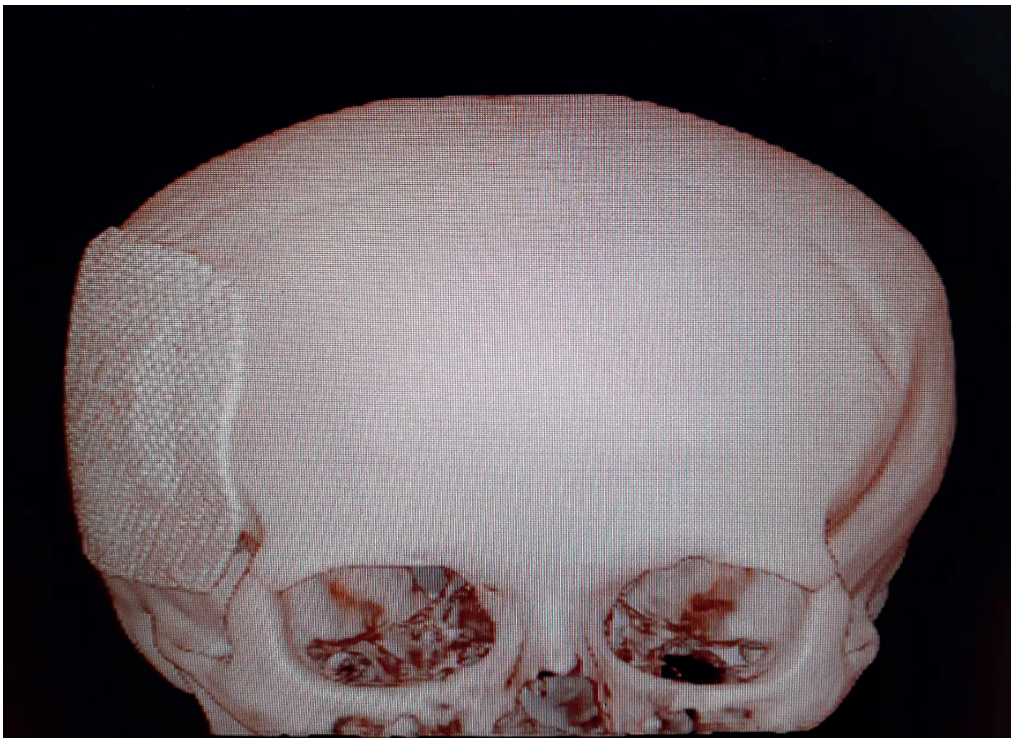


Рисунок 3 – Краниопластика титановой сеткой (компьютерная томография). Моделирование геометрии титановой сетки проводилось «вручную».

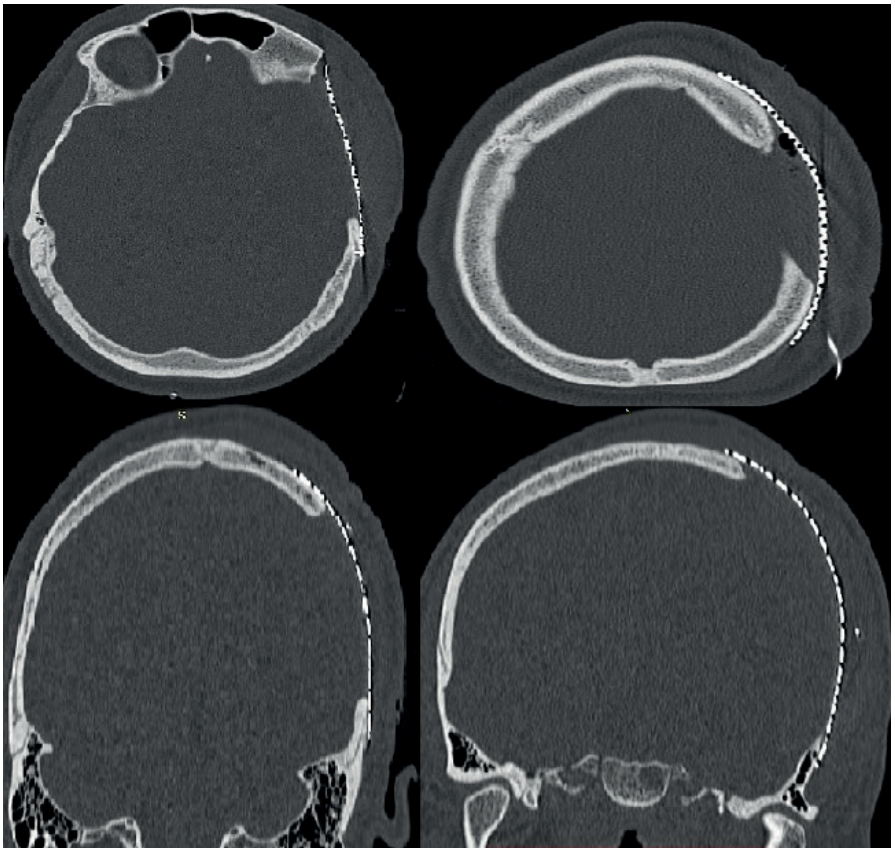


Рисунок 4 – Краниопластика титановой сеткой (компьютерная томография).
Титановая сетка изготовлена методом 3D-печати на DLMS-принтере.

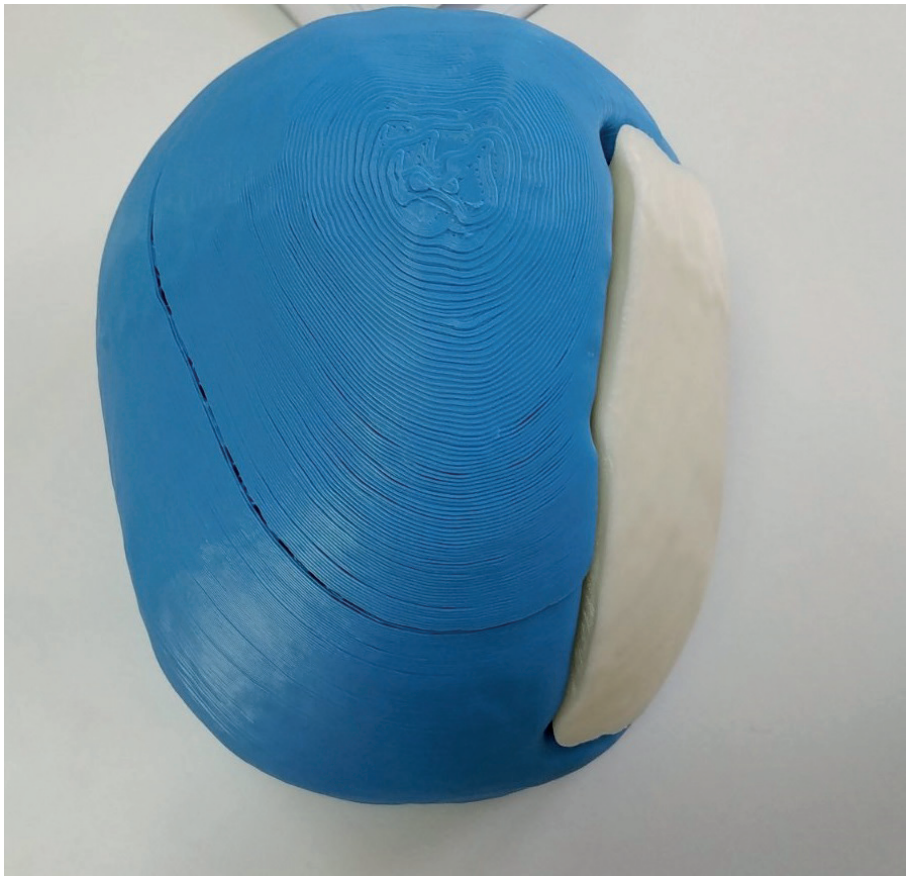


Рисунок 5 – Модель черепа изготовлена на 3D-принтере FDM.
Белая часть – область дефекта черепа, изготовленная по схеме симметричного отражения.

снижением ее стоимости [2, 42, 43]. Применение 3D-печати позволяет выполнить закрытие дефектов костей черепа любых размеров и конфигураций, сократить время операции, достичь лучших косметических и функциональных результатов [41, 44, 45, 46, 47, 48].

Материалы для краниопластики

1. С использованием биологических материалов [27, 49, 50, 51]:

а) аутогенная ткань (самого пациента);

б) аллогенная ткань (кадаверный материал);

в) гетерогенные ткани (животного происхождения);

г) ксеноимпланты.

К современным материалам предъявляется целый спектр требований [5, 38, 52, 53]:

- биосовместимость;
- отсутствие канцерогенного эффекта;
- пластичность;
- удобство в применении;
- возможность стерилизации;
- возможность сочетания с аддитивными технологиями;
- способность срастаться с прилежащей костной тканью (остеоинтеграция);
- совместимость с нейровизуализацией;
- устойчивость к механическим нагрузкам;
- низкий уровень тепло- и электропроводности;
- приемлемая стоимость;
- минимальный риск инфекционных осложнений.

Опыты с аллотрансплантатами костей черепа во время Первой мировой войны оказались безрезультатными из-за высокой частоты осложнений [1, 54]. Доказано, что костная ткань может явиться источником бактериальных и вирусных инфекций [10, 55]. Сохранение клеток и клеточных мембран приводит к развитию реакции отторжения трансплантата. Из-за этого современные методы обработки аллотрансплантатов подразумевают разрушение клеточных элементов аллокости для снижения ее антигенных свойств, но высокий риск резорбции лимитирует применение данных имплантов в реконструктивной нейрохирургии. Также имеются большие юридические проблемы при их использовании.

Гетеротрансплантаты – это костный материал животного происхождения. Невзирая на то, что эксперименты по их применению в качестве костно-пластического материала осуществляли на протяжении длительного времени в различных областях медицины, результаты никогда не были благоприятными, чтобы справиться с высокой частотой отторжения, низкой биосовместимостью и высоким риском инфекционных осложнений [8]. Сохраняются юридические проблемы при применении гетероимплантов.

В настоящее время чаще используют метод криоконсервирования аутологичной костной ткани, заготовленной ранее при краниотомии. Криоконсервация костной ткани требует присутствия в стационаре локального банка костной ткани с исполнением строгих правил асептики и температурой хранения от –80°С до –196°С.

Металлы, такие как золото, серебро, алюминий, обладают относительно низкой прочностью и оказывают токсическое действие [1]. Возможно применение комбинированных имплантов, а при больших размерах костного дефекта нужно армировать титановой сеткой имплант на основе гидроксиапатита.

В исследовании D.Y. Chan et al. (2017 г.) при хранении 18 аутотрансплантатов в течение 4–55 месяцев доказано, что в 5 случаях (27,8%) зарегистрирован рост бактериальных культур: Pasteurella multocida у 3 и метициллин-резистентный S. aureus – у 2 [56]. Кроме того, они доказали, что ни один из костных лоскутов не сохранил жизнеспособные остеобласты после криоконсервирования.

S. Jin et al. (2018 г.) при изучении анализа 57 аутотрансплантаций выявили, что частота формирования инфекционных осложнений (около 12%) зависит от продолжительности хранения аутокости, так же, как и возможность ее значимой резорбции [57]. A.C. Alves Junior et al. (2018 г.) показывают, что частота инфекционных осложнений и резорбции аутотрансплантата снижается при ранней краниопластике [58].

В работе S. Honeybul et al. (2018 г.) из 64 больных 31 имплантировали титановые пластины и 33 аутокость. В группе 1 на протяжении 12 месяцев не было отмечено признаков несостоятельности импланта, а группе 2 7 больным потребовалась срочная реоперация из-за значительной резорбции аутоимпланта [59].

В метаанализе J.G. Malcolm et al. (2018 г.), включавшем данные 1586 краниопластик из 11 исследований, аутотрансплантаты принесли значительно более высокий риск формирования резорбции, чем синтетические (отношение шансов 1,91, 95% доверительный интервал 1,4–2,61). В 41% случаев резорбции аутокостей осложнялись развитием инфекционных осложнений. Среди больных, имплантаты которых не подверглись резорбции, частота инфицирования и других постоперационных осложнений между группами статистически не различалась [60].

В исследовании B. Lethaus et al. (2014 г.) средняя стоимость краниопластики аутокостью составила 10 850€, при изготовлении индивидуального синтетического имплантата – 15 532€, что в 1,43 раза дороже [61].

M.S. Gilardino et al. (2014 г.) провели сравнение продуктивности и стоимости применения

аутотрансплантатов и индивидуальных синтетических трансплантатов. Результаты лечения в группах не различались. Средняя стоимость лечения составила 25 797$ для аутотрансплантации и 28 560$ для синтетических имплантатов, то есть дороже на 10% [62].

Снижения стоимости индивидуальных трансплантатов для реконструктивной нейрохирургии возможно достичь путем 3D-моделирования нужного изделия самими медицинскими специалистами непосредственно в клинике. Но следует заметить, что для этого необходимы специальные познания в области CAD/CAM моделирования. В настоящее время в расположении хирурга имеется в свободном доступе множество программ для CAD/CAM: 3D Slicer, Cura Slicer, Blender 3D, Autodesk, Mimics Research и т.д. (рисунок 6, 7) [63, 64, 65].

В России применение индивидуальных имплантатов регулировано программой государственной гарантии оказания высокотехнологичной медицинской помощи за счет средств федерального бюджета по специальности «нейрохирургия», группа №13, код вида 8.010.17 – микрохирургическая реконструкция при врожденных и приобретенных сложных и гигантских дефектах и деформациях свода, лицевого скелета и основания черепа с компьютерным и стереолитографическим моделированием, аддитивными технологиями (3D-печать) с применением биосовместимых пластических материалов и ресурсоемких имплантатов [12, 42].

Основные даты в развитии реконструктивной нейрохирургии [28, 31, 66, 67]

1505 г. – Ибрагим бен Абдулла замещал дефекты черепа солдатам с помощью гетеротрансплантатов, полученных от козлов или собак.

1550 или 1560 г. – G. Fallopius применил золотую пластину при замещении дефекта черепа.

1668 г. – голландский хирург J.J. van Meekeren выполнил краниопластику костью черепа собаки русскому дворянину после ранения мечом в г. Москве.

XIX в. – жители островов Фиджи использовали для краниопластики скорлупу кокоса, которую тщательно очищали и помещали под скальп.

1820 г. – немецкий хирург P. von Walther использовал для краниопластики аутокость, сохраненную после трепанации.

1885 г. – Macewen предложили сохранять аутокость после трепанации. Костный лоскут помещали под кожу передней брюшной стенки либо передненаружной поверхности бедра.

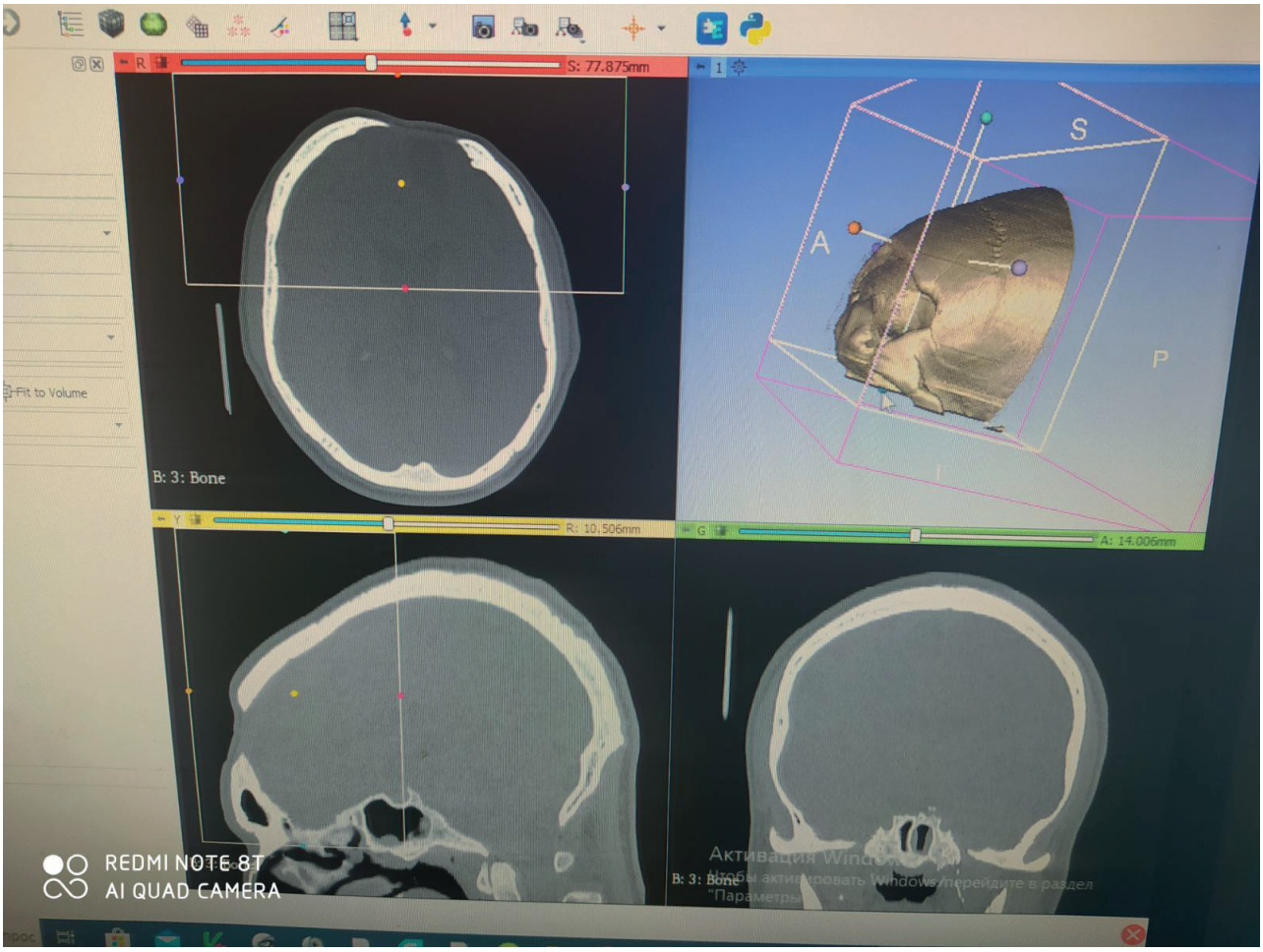


Рисунок 6 – Проектирование модели черепа в программе 3D Sliser.

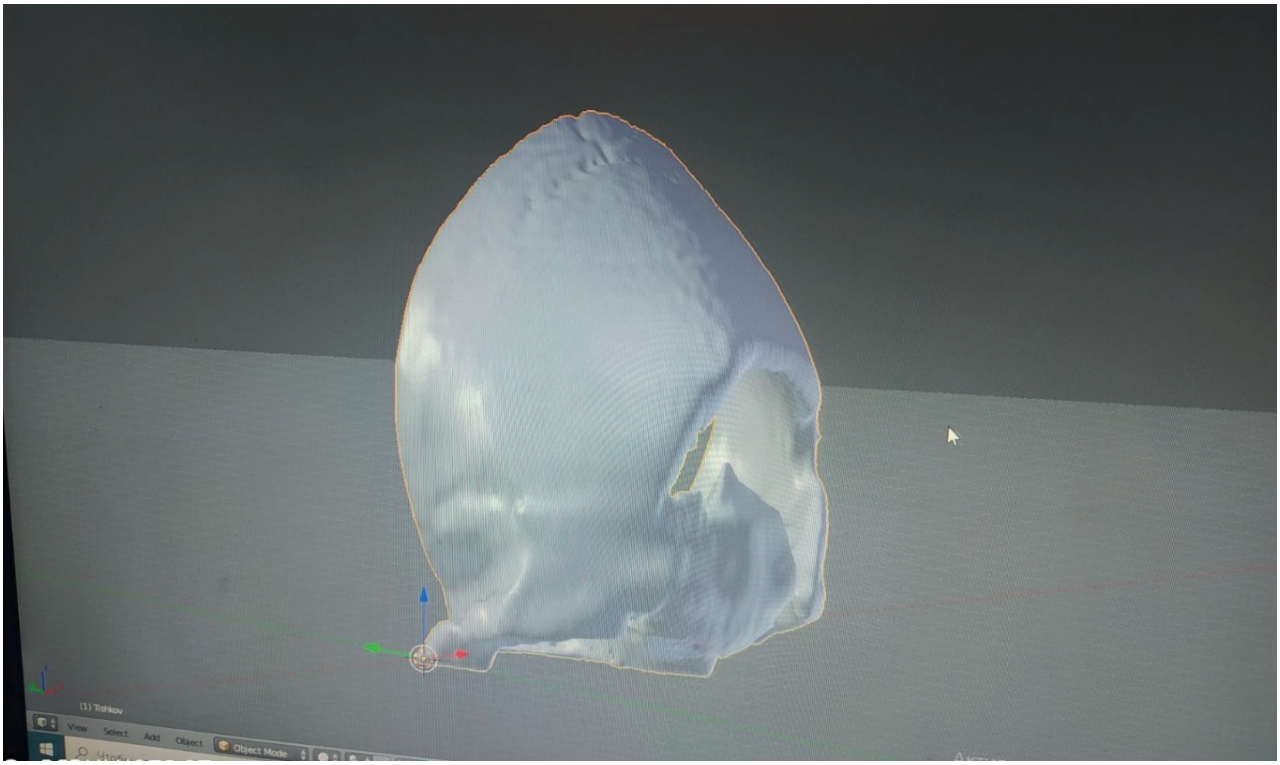


Рисунок 7 – Проектирование модели черепа в программе Blender.

1890 г. – A. Fraenkel использовал целлулоид для закрытия дефекта черепа. В дальнейшем от него отказались из-за низкой биосовместимости.

1890 г. – P. Muller при небольших размерах костного окна (до 4 см) начал использовать расщепленный костный лоскут.

1893 г. – J. Booth и B. Curtis, для краниопластики в качестве материала был применен алюминий. Алюминий показал инфекционные осложнения во многих случаях. Также многие пациенты страдали эпилепсией после краниопластики с помощью алюминия.

1895 г. – J. Barth использовал для замещения дефектов свода черепа прокаленную трупную костную пластинку.

1899 г. – А.Д. Зворыкин использовал пластинки из смеси известковых солей, близких по составу к кости.

1903 г. – S. Sebileau в качестве материала для краниопластики использовал серебро. Это вызывало изменение цвета кожи из-за окисления.

1908 г. – P. Mauclaire и M. Rouvillois использовали свинец. Он характеризовался высоким уровнем токсичности, приводящей к развитию плюмбизма у оперированных пациентов.

1912 г. – E. Kane в качестве материала применил листовую слюду.

1913 г. – E. Rehn применил рог быка.

1914 г. – P. Mauclaire применил подвздошную кость пациента.

1915 г. – H. Morestin использовал аллотрансплантат, изготовленный из трупного хряща.

1915 г. – M. Reynier применил кость кролика.

1915 г. – P. Muller применил грудину больного для краниопластики.

1916 г. – P. Mauclaire использовал кость слона.

1916 г. – K. Henschen применил кость буйвола.

1917 г. – лопатки коров, полученные из больничной пищи, были использованы в краниопластике, названной «суповой костью».

1917 г. – D. Kuttner применил кость человекообразной обезьяны.

1929 г. – для краниопластики применена платина. Она показала хорошую биосовместимость без тканевой реакции, но ее использование не было широко распространено из-за ее дороговизны.

1938 г. – выполнение краниопластики у обезьян ПММА.

1939 г. – F. C. Grantand и N. C. Norcross описали клинику «синдрома трепанированных».

1940 г. – для пластики дефектов черепа начал использоваться ПММА.

1943 г. – O. H. Fulcher впервые описал использование тантала. Однако из-за высокой теплопроводности пациенты страдали от головной боли при воздействии солнечных лучей или холода.

1943 г. – для краниопластики был применен виталлий (сплав кобальта, молибдена и хрома). Он уже был использован в качестве зубного имплантата и показал минимальную коррозию. Эксперименты на животных показали, что комбинированные металлы дают меньше тканевой реакции, чем чистые металлы.

1945 г. – E. Boldrey была применена нержавеющая сталь. Сетка из нержавеющей стали, являясь дешевле тантала в 290 раз, была пригодна для закрытия только малых дефектов вследствие ее значительной деформации при малейшей травме.

1949 г. – E. Busch применил полиэтилен. Однако он был слишком мягким для реконструкции крупных дефектов.

1958 г. – B. Oppenheimer доказал, что пластина из целлулоида обладает высокими канцерогенными свойствами.

1965 г. – D. Simpson при краниопластике применил титан.

1968 г. – A. Courtemanche и G. Thompson использовали силиконовый каучук, но его мягкость ограничивала его использование.

1968 г. – кремний был предложен в качестве материала для краниопластики, но его мягкая сборка ограничила использование.

1987 г. – технология SLA была представлена на автошоу в г. Детройте.

1990-е гг. – как потенциальный заменитель кости был представлен гидроксиапатит кальция, или биокерамика, так как морфологически схож с костью человека.

1998 г. – начало применения PEEK.

1999 г. – внедрение SLA в клиническую практику НИИ им. Н.Н. Бурденко.

2006 г. – стали применяться пластины из реперена.

2013 г. – в Дании был изготовлен фрагмент челюсти из титана с помощью 3D-печати и успешно имплантирован.

2014 г. – стал применяться костнозамещающий материал «Рекост» и его отвержденный вариант «Рекост-М».

Заключение

Интерес к краниопластике поддерживается не только эволюцией взглядов на оказываемые клинические эффекты, но и поиском «идеального материала» для закрытия дефекта. За всю историю их было проанализировано огромное множество: от подручных материалов древнейших цивилизаций и отливаемых инками золотых пластин, различных видов металла до современных высокотехнологичных полимеров, используемых в аэрокосмической промышленности. В настоящее время продолжаются исследования, направленные на поиск оптимального пластического материала как биологического, так и небиологического происхождения. Очевидно, что универсальный способ и материал для краниопластики, который мог бы использоваться для решения всех задач и проблем, связанных с закрытием дефектов черепа, найти в настоящий момент не удалось. В ближайшем будущем ожидается проведение экспериментов на стволовых клетках и разработка морфогенных белков.

Также стоит отметить что в настоящее время отмечается популяризация 3D-печати и 3D-моделирования, изготовления индивидуальных имплантов для реконструктивной нейрохирургии. Это связано со снижением стоимости данных технологий и с повышением их доступности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы:

1. Офицеров А.А., Боровкова Н.В., Талыпов А.Э., Пономарев И.Н. Современные материалы для реконструкции костей свода черепа. *Трансплантология*. 2019; 11(3):234-243.

2. 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 книге: *VIII Всероссийский съезд нейрохирургов:* Материалы съезда. 2018: 169.

3. Мишинов С.В., Копорушко Н.А., Ларионов П.М., Мухамадияров Р.А., Зайдман А.М., Базлов В.А., Ступак В.В. Морфологическая характеристика реакций мягких тканей при имплантации титановых имплантатов для краниопластики. Экспериментальное исследование. *Современные проблемы науки и образования*. 2020; 4: 109.

4. Яриков А.В., Фраерман А.П., Леонов В.А., Столяров И.И., Гунькин И.В., Цыганков А.М. Хирургия дефектов черепа: обзор современных методик, материалов и аддитивных технологий. *Амурский медицинский журнал*. 2019;4 (28): 65-77.

5. Левченко О.В. Современные методы краниопластики. *Нейрохирургия*. 2010; 2: 5-13.

6. Тихомиров С.Е. Краниопластика пластинами «Реперен»® (экспериментальные и клинические результаты). *Пермский медицинский журнал*. 2009; 26(6): 54-59.

7. Тихомиров С.Е. Пластика костей свода черепа материалом «Реперен»®. *Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова*. 2010; 2(3):52-58.

8. Радкевич А.А., Гюнтер В.Э., Каспаров Э.В., Мамедов Р.Х., Синиюк И.В. Реконструкция костных дефектов свода черепа с использованием имплантатов на основе никелида титана. В сборнике: *Актуальные вопросы современной хирургии*: сборник научно-практических работ, посвященный 70-летию заведующего кафедрой общей хирургии им. проф. М. И. Гульмана КрасГМУ им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого заслуженного деятеля науки РФ, заслуженного врача России, академика РАЕН, профессора, доктора медицинских наук Юрия Семеновича Винника. 2018: 225-229.

9. Копорушко Н.А., Ступак В.В., Мишинов С.В., Орлов К.Ю., Астраков С.В., Вардосанидзе

В.К., Голобоков А.В., Бобылев А.Г. 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.

10. Копорушко Н.А., Мишинов С.В., Кангельдиев А.Э., Ступак В.В. Косметические результаты реконструктивных нейрохирургических вмешательств на черепе. *Политравма*. 2020;1: 47-55.

11. Кубраков К.М., Карпук И.Ю., Федукович А.Ю. Реконструктивная аллопластика дефектов костей черепа титановыми имплантатами. *Новости хирургии*. 2011; 19(1): 72-76.

12. Копорушко Н.А., Ступак В.В., Мишинов С.В., Орлов К.Ю., Астраков С.В., Вардосанидзе В.К., Голобоков А.В., Бобылев А.Г. Эпидемиология и пидемиология и этиология приобретенных дефектов костей черепа на примере крупного промышленного города. *Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова*. 2019; 11(S): 209-210.

13. 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 им. И.И. Грекова*. 2010; 169(2): 69-73.

14.Мишинов С.В., Ступак В.В., Мамонова Н.В., Панченко А.А., Красовский И.Б., Лазуренко Д.В. Методы трехмерного прототипирования и печати в реконструктивной нейрохирургии. *Медицинская техника*. 2017; 2 (302): 22-26.

15. Мишинов С.В., Ступак В.В., Панченко А.А., Красовский И.Б. Реконструкция лобно-скуло-орбитальной зоны с использованием индивидуального титанового имплантата, созданного методом прямого лазерного спекания на 3D принтере. Клинический случай. *Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова*. 2017; 9(1): 80-82.

16. Андреева М.С., Климцева Е.Е., Киселев А.В., Чертков А.К. Возможности современной краниопластики. 3D моделирование дефектов черепа. В сборнике: *Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения*: Материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов, III Форума медицинских и фармацевтических ВУЗов России «За качественное образование». 2018: 803-807.

17. Мишинов С.В., Ступак В.В., Копорушко Н.А., Панченко А.А., Красовский И.Б., Десятых И.В. Применение индивидуальных титановых имплантатов, полученных методом трехмерной печати. В книге: *Второй Сибирский нейрохирургический конгресс:* Сборник тезисов. 2018: 82.

18. Мишинов С.В., Ступак В.В., Копорушко Н.А., Самохин А.Г., Панченко А.А., Красовский И.Б., Десятых И.В., Киселев А.С. Реконструктивные нейрохирургические вмешательства с использованием индивидуальных титановых имплантатов. *Медицинская техника*. 2018; 3 (309): 5-7.

19. Гинзбург Е.Р., Старых В.С., Улунов Ю.Д., Дубовой А.В. Перелом протеза черепа. *Медицина в Кузбассе*. 2006; 5(2): 44-45.

20. Иванов О.В., Семичев Е.В., Собакарь Е.Г., Дрянных А.А., Шнякин П.Г., Милехина И.Е. Опыт пластики дефектов черепа титановыми сетчатыми имплантатами в Сибирском научно-клиническом центре ФМБА России. В сборнике: *Актуальные вопросы современной хирургии*: сборник научно-практических работ, посвященный 70-летию заведующего кафедрой общей хирургии им. проф. М. И. Гульмана КрасГМУ им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого заслуженного деятеля науки РФ, заслуженного врача России, академика РАЕН, профессора, доктора медицинских наук Юрия Семеновича Винника. 2018: 285-289.

21. Иванов О.В., Семичев Е.В., Собакарь Е.Е., Дрянных А.А., Шнякин П.Е., Милехина И.Е. Опыт пластики обширных дефектов черепа титановыми имплантатами. В сборнике: *Современные технологии лечения пациентов с травмой опорно-двигательного аппарата и центральной нервной системы*: Сборник статей научно-практической конференции. Отв. ред. Т.Г. Рукша. 2019: 97-102.

22. Кравчук А.Д., Маряхин А.Д., Потапов А.А., Панченко В.Я., Комлев В.С., Новиков М.М., Охлопков В.А., Дувидзон В.Г., Латышев Я.А., Челушкин Д.М., Чобулов С.А., Александров А.П., Шкарубо А.Н. Применение аддитивных технологий в нейрохирургии. В сборнике: *Аддитивные технологии: настоящее и будущее*: Материалы V международной конференции. 2019: 253-274.

23. Коновалов Ан.Н., Пилипенко Ю.В., Элиава Ш.Ш. Технические особенности и осложнения краниопластики у пациентов после декомпрессивной трепанации черепа в остром периоде субарахноидального кровоизлияния. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко*. 2018;82(5):88-95.

24. Арушанян М.Ю. Коррекция дефектов черепа. *Евразийское Научное Объединение*. 2020;7-3 (65): 149-154.

25. Цех Д.В., Сакович В.П., Бухер М.М. Определение сроков вмешательств по закрытию дефектов свода черепа. *Гений ортопедии*. 2011; 1: 44-47.

26. Цех Д.В. Ранние реконструктивные вмешательства после декомпрессивных краниоэктомий. В сборнике: *Аспирантские чтения - 2010. Материалы докладов Всероссийской конференции «Молодые учёные - медицине»*. 2010: 48-50.

27. Тихомиров С.Е., Цыбусов С.Н., Кравец Л.Я. Использование материала «Реперен»® для пластики дефектов свода черепа (экспериментальные и клинические результаты). *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2010; 93(2): 121-124.

28 Иванов О.В., Семичев Е.В., Шнякин П.Г., Собакарь Е.Г. Пластика дефектов черепа: от аутокости к современным биоматериалам (обзор литературы). *Медицинская наука и образование Урала*. 2018; 19(3(95)): 143-149.

29. Пак О.И., Антоненко Ф.Ф., Сидоров Г.А., Дон О.А., Елицкий А.С., Назаров Д.В. Аутокраниопластика ребрами постоперационных костных дефектов черепа у детей. *Нейрохирургия и неврология детского возраста*. 2009;2 (20):32-41.

30. Еолчиян С.А., Потапов А.А., Серова Н.К., Катаев М.Г., Сергеева Л.А., Захарова Н.Е., Ван Дамм Ф. Реконструктивная хирургия краниоорбитальных повреждений. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2011; 75(2): 25-40.

31. Еолчиян С.А. Пластика сложных дефектов черепа имплантатами из титана и полиэтерэтеркетона (PEEK), изготовленными по cad/cam технологиям. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2014; 78(4): 3-13.

32. 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.

33. Левченко О.В., Шалумов А.З., Крылов В.В. Пластика дефектов лобно-глазничной локализации с использованием безрамной навигации. *Нейрохирургия*. 2010; 3: 30.

34. Гаибов С.С.Х., Воробьев Д.П., Захарчук И.А., Захарчук Е.В. Пластика сложного гигантского дефекта черепа (клинический случай). *Университетская медицина Урала*. 2018; 4(3 (14): 7-9.

35. Иванов А.Л., Сатанин Л.А., Агапов П.И., Рогинский В.В., Сахаров А.В. Компьютерное планирование и биомоделирование в лечении пациента со сложным посттравматическим дефектом и деформацией краниофациальной области (клиническое наблюдение). *Нейрохирургия и неврология детского возраста*. 2012;2-3 (32-33): 144-151.

36. Левченко О.В., Шалумов А.З., Крылов В.В. Использование безрамной навигации для пластического устранения костных дефектов лобноглазничной локализации. *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии*. 2011;3: 30-36.

37. Крылов В.В., Петриков С.С., Талыпов А.Э., Пурас Ю.В., Солодов А.А., Левченко О.В., Григорьева Е.В., Кордонский А.Ю. Современные принципы хирургии тяжелой черепно-мозговой травмы. Неотложная медицинская помощь. *Журнал им. Н.В. Склифосовского*. 2013; 4: 39-47.

38. Потапов А.А., Корниенко В.Н., Кравчук А.Д., Лихтерман Л.Б., Охлопков В.А., Еолчиян С.А., Гаврилов А.Г., Захарова Н.Е., Яковлев С.Б., Шурхай В.А. Современные технологии в хирургическом лечении последствий травмы черепа и головного мозга. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2012; 67(9): 31-38.

39. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Малков Ф.С., Очкал С.В., Полькин Р.А. Перспективы применения технологий 3D печати в Байкальском регионе. В книге: *Перспективы развития биомедицинских технологий в Байкальском регионе. Сборник тезисов Международной научной конференции*. 2019: 11-12.

40. Левченко О.В., Михайлюков В.М., Давыдов Д.В. Безрамная навигация в хирургии посттравматических дефектов и деформаций краниоорбитальной области. *Нейрохирургия*. 2013;3: 9-14.

41. Медведев М.П., Фомина М.А. 3D - печать как новая эпоха в медицине. *Новая наука: От идеи к результату*. 2016; 11-4: 16-19.

42. Ступак В.В., Копорушко Н.А., Мишинов С.В., Гузев А.К., Астраков С.В., Вардосанидзе В.К., Голобоков А.В., Бобылев А.Г. Эпидемиологические данные приобретенных дефектов черепа у больных, перенесших черепно- мозговую травму, на примере крупного промышленного города (Новосибирска). *Политравма*. 2019; 1: 6-10.

43. Иванов В.П., Ким А.В., Хачатрян В.А. 3D-печать в краниофациальной хирургии и нейрохирургии. Опыт ФГБУ «НМИЦ ИМ. В.А. АЛМАЗОВА». *Нейрохирургия и неврология детского возраста*. 2018; 3 (57): 28-39.

44. Дюсембеков Е.К., Исатаев Б.С., Садыкова Ж.Б., Аглаков Б.М., Ли К.Ю. Краниопластика: применение 3D имплантов для пластики дефекта черепа. *Вестник Казахского национального медицинского университета*. 2016; 4: 82-

45. Сафонов М.Г., Строгий В.В. Применение 3D-печати в медицине. *Международный студенческий научный вестник*. 2015;3-3: 394-395.

46. Холодилов А.А., Яковлева А.В. Инновационное применение аддитивных технологий в медицине. *Молодой ученый*. 2019;5 (243): 35-38.

47. Черебыло С.А., Евсеев А.В., Ипполитов Е.В., Новикова Л.В., Панченко В.Я., Кравчук А.Д., Потапов А.А. Пластика дефектов черепа с использованием трехмерного моделирования и лазерной стереолитографии. *Перспективные материалы*. 2011;S13: 917-922.

48. Дюсембеков Е.К., Мирзабаев М.Ж., Аглаков Б.М., Садыкова Ж.Б. Компьютерное моделирование 3D имплантов для пластики дефекта

основания и свода черепа. *Нейрохирургия и неврология Казахстана*. 2017;2 (47): 4-13.

49. Тихомиров С.Е., Цыбусов С.Н., Кравец Л.Я., Фраерман А.П., Балмасов А.А. Пластика дефектов свода черепа и твердой мозговой оболочки новым полимерным материалом Реперен. *Современные технологии в медицине*. 2010;2: 6-11.

50. 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.

51. Яриков А.В., Фраерман А.П., Леонов В.А., Перльмуттер О.А., Тихомиров С.Е., Яксаргин А.В., Смирнов П.В. Краниопластика: обзор материалов и методик. *Креативная хирургия и онкология*. 2019; 9(4): 278-284.

52. Мишинов С.В., Ступак В.В., Копорушко Н.А., Самохин А.Г., Панченко А.А., Красовский И.Б., Десятых И.В., Киселев А.С. Реконструктивные нейрохирургические вмешательства с использованием индивидуальных титановых имплантатов. *Медицинская техника*. 2018;3 (309): 5-7.

53. Левченко О.В., Крылов В.В. Современные методы краниопластики. *Consilium Medicum. Неврология и ревматология*. 2009;1: 9-15.

54. Ступак В.В., Мишинов С.В., Садовой М.А., Копорушко Н.А., Мамонова Е.В., Панченко А.А., Красовский И.Б. Современные материалы, используемые для закрытия дефектов костей черепа. *Современные проблемы науки и образования*. 2017;4: 38.

55. Левченко О.В., Крылов В.В. Современные методы краниопластики. *Справочник поликлинического врача*. 2009: 2: 63-66.

56. Chan D.Y.C., Mok Y.T., Lam P.K., Tong C.S.W., Ng S.C.P., Sun T.F.D. et al. Cryostored autologous skull bone for cranioplasty? A study on cranial bone flaps' viability and microbial contamination after deep-frozen storage at -80°C. *J Clin Neurosci*. 2017;42:81-83. DOI: 10.1016/j.jocn.2017.04.016

57. Jin S., Kim S.D., Ha S.K., Lim D.J., Lee H., You H.J. Analysis of the factors affecting surgical site infection and bone flap resorption after cranioplasty with autologous cryopreserved bone: the importance of temporalis muscle preservation. *Turk Neurosurg*. 2018;28(6):882-888. DOI: 10.5137/1019-5149.JTN.21333-17.2

58. Alves Junior A.C., Hamamoto Filho P.T., Gonçalves M.P., Palhares Neto A.A., Zanini M.A. Cranioplasty: An Institutional Experience. *J Craniofac Surg*. 2018;29(6):1402-1405. DOI: 10.1097/SCS.0000000000004512

59. Honeybul S., Morrison D.A., Ho K.M., Lind C.R.P., Geelhoed E. A randomised controlled trial comparing autologous cranioplasty with custom-made titanium cranioplasty: long-term follow-up. *Acta Neurochir (Wien)*. 2018;160(5):885-891. DOI: 10.1007/s00701-018-3514

60. Malcolm J.G., Mahmooth Z., Rindler R.S., Allen J.W., Grossberg J.A., Pradilla G. et al. Autologous Cranioplasty is Associated with Increased Reoperation Rate: A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurg*. 2018;116:60-68. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.05.009

61. Lethaus B., Bloebaum M., Koper D., Poort-Ter Laak M., Kessler P. Interval cranioplasty with patient-specific implants and autogenous bone grafts - Success and cost analysis. *J Cranio-Maxillofacial Surg*. 2014;42(8):1948-1951. DOI: 10.1016/j.jcms.2014.08.006

62. Gilardino M.S., Karunanayake M., Al-Humsi T., Izadpanah A., Al-Ajmi H., Marcoux J. et al. A Comparison and Cost Analysis of Cranioplasty Techniques. *J Craniofac Surg*. 2015;26(1):113–117. https://doi.org/10.1097/ SCS.0000000000001305

63. Семенов В.В., Верхозина Ю.А. 3D-принтеры - основа нашего будущего. *Молодежный вестник ИрГТУ*. 2017; 4: 1.

64. Кашин В.А., Коваленко Р.А., Черебилло В.Ю. Технические возможности индивидуального 3D-биомоделирования в нейрохирургии. В книге: *3D-технологии в медицине. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции*. 2019: 14-15.

65. Коваленко Р.А., Пташников Д.А., Черебилло В.Ю., Руденко В.В., Кашин В.А. Применение индивидуальных 3D моделей в хирургии позвоночника - обзор литературы и первый опыт использования. *Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова*. 2018; 10(3-4): 43-48.

66. Мишинов С.В., Ступак В.В., Мамуладзе Т.З., Копорушко Н.А., Мамонова Н.В., Панченко А.А., Красовский И.Б., Рабинович С.С., Ларькин В.И., Долженко Д.А., Новокшонов А.В. Использование трехмерного моделирования и трехмерной печати в обучении нейрохирургов. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016; 11-6: 1063-1067.

67. Колмогоров Ю.Н., Успенский И.В., Маслов А.Н., Новиков А.Е., Тарасов Д.А., Мячин Н.Л., Гончаров А.Ю., Корзун А.С., Латыпов Т.Ф., Ядыков Д.А., Балязин-Парфенов И.В. Костнозамещающие имплантаты из материала «РЕКОСТ-М» на основе 3D-моделирования для закрытия посттрепанационных дефектов черепа: доклинические и клинические исследования. *Современные технологии в медицине*. 2018; 10(3): 95-103.

Контактные данные

Автор, ответственный за переписку: Яриков Антон Викторович, к.м.н., нейрохирург Приволжского окружного медицинского центра ФМБА России, Городской клинической больницы № 39, г. Нижний Новгород.

603001, г. Нижний Новгород, Нижневолжская наб., 2.
Тел.: +9506181354.
E-mail: anton-yarikov@mail.ru

Информация об авторах

Фраерман Александр Петрович, д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, нейрохирург Городской клинической больницы № 39, ведущий научный сотрудник группы микронейрохирургии Приволжского исследовательского медицинского университета, г. Нижний Новгород.
603005, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, 10/1.
Тел.: (831) 4222000.
E-mail: operacii39@mail.ru

Леонов Василий Александрович, нейрохирург Городской клинической больницы № 39, г. Нижний Новгород.
603028, г. Нижний Новгород, Московское шоссе, 144.
Тел.: (831) 2826603.
E-mail: valleomed@yandex.ru

Гунькин Иван Владимирович, к.м.н., нейрохирург Мордовской республиканской центральной клинической больницы, г. Саранск.
430013, г. Саранск, ул. Победы, 14/5, корп. 1.
Тел.: (8342) 760212.
E-mail: gunkiniv@mail.ru

Тихомиров Сергей Евгеньевич, к.м.н., нейрохирург Кинешемской центральной районной больницы, г. Кинешма.
155801, г. Кинешма, ул. Нагорная, 18.
Тел.: (49331) 55861.
E-mail: sergey.tikhomirov.1980@mail.ru

Макеев Дмитрий Алексеевич, нейрохирург Мордовской республиканской центральной клинической больницы, г. Саранск.
430013, г. Саранск, ул. Победы, 14/5, корп. 1.
Тел.: (8342) 760212.
E-mail: dima.makeev.1991@mail.ru

Явкин Михаил Николаевич, нейрохирург Мордовской республиканской центральной клинической больницы, г. Саранск.
430013, г. Саранск, ул. Победы, 14/5, корп. 1.
Тел.: (8342) 760212.
E-mail: mikjavkin@mail.ru

Цыганков Александр Михайлович, заведующий нейрохирургическим отделением Мордовской республиканской центральной клинической больницы, г. Саранск.
430013, г. Саранск, ул. Победы, 14/5, корп. 1.
Тел.: (8342) 760212.
E-mail: paraplegiya@yandex.ru

Смирнов Павел Васильевич, к.м.н., нейрохирург Городской клинической больницы № 39, г. Нижний Новгород.
603028, г. Нижний Новгород, Московское шоссе, 144.
Тел.: (831) 2826603.
E-mail: igorev_19931993@mail.ru

Смирнов Игорь Игоревич, нейрохирург Городской клинической больницы № 39, г. Нижний Новгород.
603028, г. Нижний Новгород, Московское шоссе, 144.
Тел.: (831) 2826603.
E-mail: pavliksmirnov@ya.ru

Яксаргин Алексей Владимирович, нейрохирург Городской клинической больницы № 40, г. Нижний Новгород.
603083, г. Нижний Новгород, ул. Героя Юрия Смирнова, 71.
Тел.: (831) 2170633.
E-mail: yaksargin@yandex.ru

Паркаев Михаил Валерьевич, нейрохирург Городской клинической больницы № 39, г. Нижний Новгород.
603028, г. Нижний Новгород, Московское шоссе, 144.
Тел.: (831) 2826603.
E-mail: mr.parkaev@yandex.ru