

## СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ЗАКРЫТИЯ ДЕФЕКТОВ КОСТЕЙ ЧЕРЕПА

Ступак В.В.<sup>1</sup>, Мишинов С.В.<sup>1</sup>, Садовой М.А.<sup>1</sup>, Копорушко Н.А.<sup>1</sup>, Мамонова Е.В.<sup>2</sup>,  
Панченко А.А.<sup>3</sup>, Красовский И.Б.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, e-mail: VStupak@niito.ru;

<sup>2</sup>АО «Инновационный медико-технологический центр (Медицинский Технопарк)», Новосибирск, e-mail:  
office\_imtz@inbox.ru;

<sup>3</sup>ООО «3Д медицинские системы», Новосибирск, e-mail: panchenko@logeeks.com

В настоящее время у оперирующего хирурга есть большой выбор материала, с помощью чего он будет проводить пластику дефекта костей черепа. После множества удачных примеров использования различных металлов для закрытия костных дефектов ученые стали синтезировать новые материалы, которые по своим характеристикам соответствуют общепринятым стандартам, предъявляемым к имплантатам. Существует много веществ, из которых создаются имплантаты, но некоторые из них имеют высокую токсичность, высокий риск инфицирования, высокие финансовые затраты, малую практичность. Наиболее распространенными и часто используемыми в практике считаются полимерные и металлические пластины. Выбор имплантата всегда будет важной целью для оперирующего хирурга, поэтому данная тема является актуальной для практикующих нейрохирургов. В данной статье предоставлены исторические факты развития краниопластики от древнего мира до нашего времени. Указаны клинические проявления, возникающие при синдроме трепанированного черепа. Описаны современные материалы, используемые для закрытия дефектов костей черепа, их свойства, особенности, пред- и интраоперационного моделирования. Дана сравнительная характеристика материалов, их положительные и отрицательные качества.

Ключевые слова: краниопластика, дефект костей черепа, имплант, титановая пластина, полиэфиркетон, Реперен, полиметилметакрилат, аутокость.

## MODERN MATERIALS USED TO CLOSE DEFECTS OF THE BONES OF THE SKULL

Stupak V.V.<sup>1</sup>, Mishinov S.V.<sup>1</sup>, Sadovoy M.A.<sup>1</sup>, Koporushko N.A.<sup>1</sup>, Mamonova E.V.<sup>2</sup>,  
Panchenko A.A.<sup>3</sup>, Krasovsky I.B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, e-mail:  
VStupak@niito.ru;

<sup>2</sup> Innovative Medical Technology Center, Novosibirsk, e-mail: office\_imtz@inbox.ru;

<sup>3</sup> 3D medical systems Ltd., Novosibirsk, e-mail: panchenko@logeeks.com

At present time, the operating surgeon has a large material selection, with the help of which he will spend the plastic skull defect. After many successful uses of various metals, scientists began to synthesize new materials to close bone defects, which in their characteristics correspond to the generally accepted standards for implants. There are many materials from which the implants are, but some of them have a high toxicity, high risk of infection, high financial costs, small practicality. The most common and frequently used in practice are considered polymer and metal plates. Choosing an implant will always be an important goal for an operating surgeon, so this topic is relevant for practicing neurosurgeons. This article provides historical facts of the development of cranioplasty from the ancient world to our time. Indicated the clinical manifestations appearing in the syndrome of the Trepanized Skull. Modern materials used to close defects of the skull bones, their properties, features, pre- and intraoperative modeling are described. Is given comparative characteristics of materials and conclusions.

Keywords: cranioplasty, skull bones defect, implant, titanium plate, polyetherketone, Reperen, polymethylmethacrylate, autobone.

Краниопластика – восстановление целостности черепа в месте возникшего дефекта, результатом которого могли послужить такие причины как оперативные вмешательства, направленные на декомпрессию головного мозга, в результате травматического его повреждения, поражение костей черепа опухолями и другими патологическими процессами.

История развития краниопластики уходит в глубокую древность. Первые авторы описывают способ замещения костных дефектов драгоценными металлами и морскими раковинами Инками (не позже 3000 г. до н.э.). Другие – указывают, что краниопластика зародилась в 7000 году до н.э. [1], но первый документ о проведении данной методики был написан в эпоху возрождения итальянским врачом и анатомом Fallopius Gabriele (1523–1562 гг.). Он повествует о замещении дефекта костей черепа при помощи пластины из золота. В дальнейшем также было представлено множество и других случаев с использованием различных материалов, таких как целлулоид (1890), алюминий (1893), платина (1929), серебро (1950), виталлий (1943), полиэтилен (1947).

В наше время существует большой выбор материалов для изготовления имплантов не только для нейрохирургии, но и для других отраслей медицины. Заготовка ауто- и аллотрансплантатов не представляет никаких трудностей в связи с появлением качественных методов обработки и консервации. После множества удачных использований различных металлов, для закрытия костных дефектов, ученые стали синтезировать новые материалы, которые по своим характеристикам соответствуют общепринятым стандартам, предъявляемым к имплантам, но никакой материал не может соответствовать собственной кости по многим свойствам [2].

С внедрением в медицину цифровой компьютерной технологии стало доступным изготовление индивидуальных имплантов, что значительно облегчает работу оперирующего хирурга и улучшает косметические и клинические результаты у больных [3].

### **Клиническая картина**

Неврологическая симптоматика у больных, имеющих обширные дефекты костей черепа (синдромом трепанированного черепа – СТЧ), обусловлена последствиями перенесенной тяжелой черепно-мозговой травмы или любыми патологическими процессами, происходящими в тканях коры головного мозга и подкорковых структур [4]. СТЧ включает в себя ряд клинических проявлений: диффузные головные боли и местные боли в области дефекта, возникающие и/или усиливающиеся при изменении атмосферного давления, температуры окружающей среды; выпячивание содержимого черепа в дефект при кашле, чихании, наклоне головы, физическом напряжении и т.п. Характерны жалобы на боязнь повреждения мозга через дефект, чувство неполноценности, а также на косметические неудобства. Особенно тягостны для пострадавших обезображивающие их обширные кранио-орбито-фациальные дефекты [5].

У больных с дефектами, приобретенными путем травматического воздействия на костную ткань и прилегающие к ней структуры, часто возникают эпилептические приступы, пирамидные и экстрапирамидные нарушения, афазии и другие симптомы (в зависимости от

локализации травмы мозга). Появление вышеуказанных симптомов связано с возникшим рубцовым оболочечно-мозговым процессом в области дефекта. Это подтверждается положительным эффектом после проведенной краниопластики, в процессе которой производится, прежде всего, пластика твердой мозговой оболочки (ТМО) и иссечение рубцов в области дефекта [5].

### **Используемые материалы для краниопластики**

В настоящее время у оперирующего хирурга есть большой выбор, с помощью чего он будет проводить пластику дефекта. Материалы, используемые в краниопластике, подразделяются на ауто-, алло- и ксенотрансплантаты.

Сегодня нет импланта, удовлетворяющего всем этим требованиям, кроме собственной кости, поэтому при первичной операции является важным сохранить костные отломки, которые можно использовать для дальнейшей реконструкции образовавшегося дефекта черепа. При травмах, таких как вдавленный перелом, возможна реконструкция дефекта отломками при помощи титановых минипластин, которые с удобством и легкостью фиксируются винтами, к костным фрагментам, соединяя их с краем дефекта. Если во время операции есть возможность сохранить кость, то можно использовать несколько способов консервации, в том числе и во время операции. К ним относятся: помещение кости в подкожно-жировую клетчатку живота или бедра пациента. Описан метод вшивания костного лоскута в подкожно-жировую слой ткани на противоположной половине головы. Поэтому при отсутствии противопоказаний, в послеоперационном периоде, возможно проведение краниопластики собственной костью, которая была сохранена при первичной операции. Но следует учесть то, что собственная кость, помещенная в жировую клетчатку, уменьшается в размере уже через 4–6 месяцев, за счет лизиса костной ткани.

Альтернативными методами могут служить экстракорпоральное сохранение имплантов в морозильной камере, различных растворах в сочетании с термической и химической обработкой.

Также существует метод расщепленных костных лоскутов, этот метод целесообразно использовать при небольших размерах дефекта (до 3–4 см.), если костный фрагмент не был сохранен при первичной операции. Суть метода заключается в расслаивании костей свода черепа, при помощи набора осциллирующих сагиттальных пил и костных стамесок [2].

Если сохраненной кости недостаточно для оптимального закрытия дефекта, то произвести забор фрагментов костной ткани можно из ребра или подвздошной кости. Недостатки этих методов в том, что существует высокий риск рассасывания этих трансплантатов и формирование косметического дефекта в местах их забора.

Аутотрансплантаты наиболее предпочтительны для использования в замещении костных дефектов черепа, так как только они имеют схожие химические и пластические свойства, в отличие от любых существующих трансплантатов.

Применение аллотрансплантатов для краниопластики имеет долгую историю. Первоначально использовалась необработанная трупная кость, которая в последующем вызывала выраженную местную реакцию и быстро рассасывалась после ее трансплантации в имеющийся дефект. В связи с этим было предложено множество методов обработки (обработка формалином, гамма-лучами, замораживанием), консервации и стерилизации, что улучшило результаты в послеоперационном периоде. Но всё же, несмотря на простоту обработки и стерилизации аллотрансплантата, высокой устойчивости к инфицированию, они имеют свои недостатки: юридическая сложность в получении трупной кости, высокий риск получения специфической инфекции, такой как СПИД, сифилис и/или гепатит [4].

Наиболее распространенным методом считается ксенопластика с использованием искусственных материалов [4]. В настоящее время полимерные и металлические пластины считаются самыми распространенными и часто используемыми в практике. Они практичны, физически и химически устойчивы. Существует много веществ, из которых создаются импланты, но некоторые из них имеют высокую токсичность, риск инфицирования, высокие финансовые затраты, малую практичность, поэтому их используют при необходимости. Современные материалы, перед использованием в хирургии, должны соответствовать ряду требований, предъявляемых государственным стандартом.

История используемых полимерных материалов в краниопластике начинается с 1890 года, когда Fraenkel использовал целлулоид для закрытия дефекта черепа [6]. Oppenheimer В. в 1958 году выяснил, что пластина, состоящая из целлулоида, обладает высокими канцерогенными свойствами [7]. Широкое применение синтетических материалов в восстановительной хирургии начинается с XX века, когда по всему миру стала развиваться химия полимеров. Пригодными к использованию для краниопластики стали акриловые пластмассы. Otto Rohm, в 1902 году, произвел первый синтез полиметилметакрилата [8]. Впервые в 1938 году у обезьян выполнили замещение дефектов костей черепа смесью полиметилметакрилата [9]. С 1940 года в мире стал широко применяться акриловый костный цемент [9]. К самым распространенным полимерным материалам можно отнести полиэфиркетоны (ПЕК) и выше упомянутые полиметилметакрилаты (ПММА). [4,10,11].

Если приводить в пример протакриловый композит, то он дешевый, термоустойчивый, инертный и прочный, его удобно заготавливать и моделировать на пациенте во время операции, за счет его мягкой консистенции в первые минуты смешивания компонентов. Главные его недостатки это выделение непрореагированных (ненужные для формирования

композита) продуктов (когда производится неправильный расчет компонентов) и повышенная экзотермическая реакция, эти недостатки могут привести к ожогу мягких тканей и адсорбции токсических веществ в области дефекта [4].

Чтобы избежать этих осложнений был внедрен метод 3D печати пресс-формы, при котором создавалась форма для будущей пластины и после ее стерилизации, оставалось лишь установить в область дефекта. Этот метод значительно сокращает время операции, уменьшает риск адсорбции токсичных продуктов и получения термического ожога мягких тканей. Но пластина, полученная из пресс-формы, имеет погрешности в восстановлении косметического вида, в связи с чем протакрил стал использоваться реже [4].

Материалы из группы полиэфиркетонов в связи с высокой температурой плавления изготавливаются только в пресс-формах. Существуют сведения в литературе, что полиэфирэфиркетонные (ПЕЕК) пластины изготавливают путем прямой трехмерной печати при помощи 3D принтера [10]. К положительным качествам этой технологии можно отнести химическую инертность, прочность, эластичность, термоустойчивость, а также хорошую рентгенопроницаемость, что снижает появление артефактов при проведении лучевых методов исследования. Но у полиэфиркетона, как и у любого ксенотрансплантата, есть свои недостатки: высокая стоимость порошка для изготовления пластины, риск образования инфекции (в сравнении с другими синтетическими и титановыми имплантатами), сложность в комбинировании его с другими веществами [11,12].

В 1996 году в практику был внедрен новый синтетический материал реперен. Изначально он предназначался в офтальмологии в виде искусственного хрусталика, радужной оболочки и т.д. Позже его стали применять в общей хирургии для герниопластики [13]. С 2006 года в нейрохирургии стали применяться пластины из Реперена. Он представляет собой пространственно сшитый полимер из олигомеров метакрилового ряда. При помощи запрограммированных параметров и фотополимеризации создается пластина, готовая к применению. По литературным данным, пластина вызывает минимальную локальную воспалительную реакцию [14]. Его главное положительное качество в том, что во время операции пластина может менять форму, используя стерильный физиологический раствор, нагретый до 80 С [14,15]. Под воздействием высокой температуры пластина из Реперена становится мягкой и эластичная, что позволяет моделировать ее под дефект пациента и при помощи общего хирургического инструментария (ножниц и кусачек) изменять её размер и форму [15]. Что касается прочности, то пластина 10x10 см с кривизной 140 мм, способна выдержать до 15 кг при точечном ударе [14]. Недостаток в том, что при использовании ее на сложных дефектах, время моделирования во время операции может занять от нескольких минут до нескольких часов.

В настоящий момент, большое предпочтение отдается металлическим имплантатам. Еще в древности дефекты замещали драгоценными металлами: золотом, серебром, медью, но в связи с большими финансовыми затратами и способностью металла подвергаться коррозии под кожным лоскутом эти материалы перестали использовать. В настоящее время пластины из титанового сплава широко используются в нейрохирургии. Титан имеет низкую массу и высокую прочность, низкую теплопроводность, коррозионную устойчивость, среднюю стоимость. Титановые изделия применяются как в виде фиксирующих мини-пластин, так и в виде сеток. Сетки, как и большинство имплантов, моделируются на пациенте во время операции. С внедрением в медицину метода трехмерной печати, титановые пластины используются в нейрохирургии как индивидуальные изделия. Из титанового порошка при помощи 3D принтера создается индивидуальный имплантат. Главным недостатком является наличие артефактов на снимках, сделанных при помощи лучевой диагностики [3,11].

Для наглядной иллюстрации положительных и негативных качеств различных материалов, применяемых в качестве имплантатов, они сведены в таблицу (Таблица).

Сравнительная характеристика материалов, применяемых для краниопластики

Материал	Недостатки	Положительные качества
Полиэфиркетон	Высокая стоимость материала, сложность в комбинировании;	химическая инертность, прочность, эластичность, термоустойчивость, хорошая рентгенопроницаемость, возможность применения прямой трехмерной печати;
Полиметилметакрилат	Высокая гипертермическая реакция и токсичность;	термоустойчивость, химическая инертность, прочность, дешевизна, возможность моделирования в пресс-форме;
Реперен	Трудность моделирования при сложных и гигантских дефектах.	размягчение при нагревании свыше 80°C, химическая инертность;
Титан	Наличие артефактов при лучевых методах исследования.	низкая масса и высокая прочность, низкая теплопроводность, коррозионная устойчивость, средняя стоимость, возможность применения прямой трехмерной печати.

## Заключение

В настоящее время нейрохирурги имеют большой выбор материалов для закрытия дефектов костей черепа. При небольших костных дефектах можно использовать

полиметилметакрилат, заранее смоделированный в пресс-форме. Также, возможно использовать имплантаты из Реперена или титановой сетки.

С внедрением в медицину трехмерной печати стало доступным изготовление индивидуальных имплантатов на основе титана и полиэфирэфиркетона. Их использование позволяет добиться желаемого косметического результата, снизить риски послеоперационных осложнений, уменьшить длительность оперативного вмешательства. Учитывая все недостатки и положительные качества современных имплантатов, используемых в нейрохирургии для закрытия дефектов костей черепа, по нашему мнению, титан является лучшим вариантом, так как его можно использовать при дефектах различной площади и сложности.

Наиболее продвинутыми и совершенными являются имплантаты, изготовленные из порошкового титана путем трехмерной печати методом аддитивных технологий, которые позволяют закрывать костные дефекты любой сложности и локализации и размеров с хорошим косметическим эффектом.

### Список литературы

1. Aydin, S., Kucukyuruk B., Abuzayed B., Aydin S., Sanus G. Z. Cranioplasty: review of materials and techniques // Journal Neurosciences Rural Practice. – 2011. – № 2, vol. 2. – P. 162-167.
2. Левченко, О.В. Хирургическое лечение краниоорбитальных повреждений в остром периоде черепно-мозговой травмы: автореф. дис. ... д-ра мед. наук:14.01.18 / Левченко Олег Валерьевич. – М., 2012. – 27 с.
3. Методы трехмерного прототипирования и печати в реконструктивной нейрохирургии / С.В. Мишинов [и др.] // Медицинская техника. – 2017. – № 2(302). – С. 22-26.
4. Современные технологии в хирургическом лечении последствий травмы черепа и головного мозга / А.А. Потапов [и др.] // Вестник РАМН. – 2012. – № 9. – С. 31-38.
5. Реконструктивная и минимальноинвазивная хирургия последствий черепно-мозговой травмы / А.Н. Коновалов, А.А. Потапов, Л.Б. Лихтерман и др. – М.: Изд-во ИП «Т.А. Алексева», 2012. – 320 с.
6. Fraenkel, A. Ueber deckung von trepanations defekten am schadel durch heteroplastik // Wien Klin Wochenschr. – 1890. – № 3. – P. 475-476.
7. Чернегов В.В. Использование биологически инертной корундовой керамики для устранения дефектов и деформаций лицевого скелета (экспериментально-клиническое

исследование): дис. ... канд. мед. наук: 14.00.21 / Чернегов Валентин Васильевич. – СПб., 2005. – 21с.

8. Местная антибактериальная терапия остеомиелита с использованием нерассасывающихся материалов (обзор литературы) / Б.Е. Тулеубаев [и др.] // Georgian medical news. – 2016. – № 6(255). – С. 21-26.

9. The well cemented total hip arthroplasty/ S.J. Breusch, H. Malchau. – Wurzburg: Sturtz, 2005. – 377 p.

10. Еолчиан, С.А. Пластика сложных дефектов черепа имплантатами из титана и полиэтерэтеркетона (PEEK), изготовленными по CAD/CAM технологиям / С.А. Еолчиан // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. – 2014. – №78(4). – С. 3-13.

11. Shah, A.M., Jung H., Skirboll S. Materials used in cranioplasty: a history and analysis// Neurosurgical Focus. – 2014. – № 4, vol. 36. – P. E19.

12. Morton, R.P., Abecassis I.J., Hanson J.F., Barber J., Nerva J.D., Emerson S.N., Ene C.I., Chowdhary M.M., Levitt M.R., Ko A.L., Dellit T.H., Chesnut R.M. Predictors of infection after 754 cranioplasty operations and the value of intraoperative cultures for cryopreserved bone flaps / R.P. Morton // Journal of Neurosurgery. – 2016. – № 3, vol. 125. – P. 766-770.

13. Треушников, В.М. Катаракта и процессы старения клеток: возможные механизмы старения и замедления этих процессов / В.М. Треушников // Визит к офтальмологу. – 2009. – № 12. – С. 10-45.

14. Пластика дефектов свода черепа и твердой мозговой оболочки новым полимерным материалом Реперен / С.Е. Тихомиров [и др.] // Современные технологии в медицине. – 2010. – № 2. – С. 6-11.

15. Крупко, А.В. Применение полимерных сеток «Реперен» в хирургическом лечении воронкообразной деформации грудной клетки / А.В. Крупко, А.Б. Богосьян, М.С. Крупко // Травматология и ортопедия России. – 2014. – № 3. – С. 69-75.