

УДК 616.314-089.843+616.714
МРНТИ 76.29.55,76.29.40

ТРАКЦИОННЫЙ СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФОРМЫ ПОВРЕЖДЕННЫХ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТОВ, ЗАКРЫВАЮЩИХ ДЕФЕКТ ЧЕРЕПА

Н.А. СЕРЕБРЕННИКОВ^{1,2}, Б.Л. ДУБЕРМАН^{1,2}, А.А. СЕРГЕЕВА^{3,4}, В.Г. ПОРОХИН^{1,2}

¹Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

²Первая городская клиническая больница им. Е.Е. Волосевич, Архангельск, Россия

³Мурманская областная клиническая больница имени П.А. Баяндина, Мурманск, Россия

⁴Кировский государственный медицинский университет, Киров, Россия

Duberman B.L. – <https://orcid.org/0000-0002-7041-022X>

Citation/

библиографиялық сілтеме/
библиографическая ссылка:

Serebrennikov NA, Duberman BL, Sergeyeva AA, Porokhin VG. Traction method for repairing damaged titanium cranioplastic implants. West Kazakhstan Medical Journal. 2020;62(4):270-276

Серебренников НА, Дуберман БЛ, Сергеева АА, Порохин ВГ. Бас сүйегінің ақауын жабатын зақымдалған титан импланттарының пішінін қалпына келтірудің тракциялық әдісі. West Kazakhstan Medical Journal. 2020;62(4):270-276

Серебренников НА, Дуберман БЛ, Сергеева АА, Порохин ВГ. Тракционный способ восстановления формы поврежденных титановых имплантов, закрывающих дефект черепа. West Kazakhstan Medical Journal. 2020;62(4):270-276

Traction method for repairing damaged titanium cranioplastic implants

N.A. Serebrennikov^{1,2}, B.L. Duberman^{1,2}, A.A. Sergeyeva^{3,4}, V.G. Porokhin^{1,2}

¹Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

²First Municipal Hospital n.a. E.E. Volosevich, Arkhangelsk, Russia

³Murmansk Regional Hospital n.a. P.A. Bayandin, Murmansk, Russia

⁴Kirov State Medical University, Kirov, Russia

The development of neurosurgery, neuroresuscitation intensive care, made it possible to reduce mortality in severe craniocerebral trauma, brain tumors, but did not reduce the number of patients with post-craniectomy defects. The incidence of cranioplasty is 12.9 per 100,000 population per year. Most often (up to 95% of cases), cranioplasty with titanium mesh implants is used. A significant proportion of patients have long-term neurocognitive and neurobehavioral consequences, which often lead to repeated trauma. To our knowledge, there have been no reports of closed repair of damaged implants.

Methods. Deformation of the titanium plate due to trauma occurred in 5 patients, during the period from 2012 to 2019 at the First City Clinical Hospital of Arkhangelsk. A traction straightener was developed that allows the depressed part of the implant to be pulled out percutaneously.

Results. Restoration of the shape and volume of the cranial vault is important for the medical and social rehabilitation of patients. The use of the traction method allows the implant to be repaired without additional incisions and discomfort for the patient in case of repeated trauma, while avoiding infectious and other surgical complications typical of open interventions to replace the implant.

Discussion. Exposure to high mechanical forces can deform the implant. Mechanical impact most often does not lead to other complications, except for the deformation of the titanium plate. Usually, if the implant is damaged, it is replaced, but this is a technically difficult operation due to the growth of scar and bone tissue into each hole of the plate. Our method avoids the need for major surgical intervention and implant replacement. Our experience has shown no negative aspects of this method.

Conclusion. Titanium cranioplasty protects the brain tissue in patients with skull defects, but mechanical force can lead to a deformation of the implant. Our titanium implant repair technique helps to eliminate the defect in a short amount of time, under local anesthesia.

Keywords: cranioplasty, repeated head injury, titanium implant, implant repair.

Бас сүйегінің ақауын жабатын зақымдалған титан импланттарының пішінін қалпына келтірудің тракциялық әдісі

Н.А. Серебренников^{1,2}, Б.Л. Дуберман^{1,2}, А.А. Сергеева^{3,4}, В.Г. Порохин^{1,2}

¹Солтүстік мемлекеттік медицина университеті, Архангельск, Ресей

²Е. Е. Волосевич атындағы бірінші қалалық клиникалық аурухана, Архангельск, Ресей

³П. А. Баяндин атындағы Мурманск облыстық клиникалық ауруханасы, Мурманск қаласы, Ресей

⁴Киров мемлекеттік медицина университеті, Киров, Ресей



Duberman B.L.
e-mail: d1973bold@yahoo.com

Received/
Келіп түсті/
Поступила:
04.12.2020.

Accepted/
Басылымға қабылданды/
Принята к публикации:
18.12.2020

ISSN 2707-6180 (Print)
© 2020 The Authors
Published by West Kazakhstan Marat Ospanov
Medical University

Нейрохирургияның, нейрореанимациялық қарқынды терапияның дамуы ауыр бас сүйек-ми жарақаттары, ми ісіктері кезіндегі өлімді азайтуға мүмкіндік берді, бірақ бас сүйегінің посттравматикалық ақаулары бар пациенттердің санын азайтпады. Краниопластика орындау жиілігі жылына 100000 тұрғынға 12,9 адамды құрайды. Көбінесе қазіргі уақытта (95% жағдайға дейін) краниопластика титан торлы импланттармен қолданылады. Пациенттердің көпшілігінде ұзақ мерзімді нейрокогнитивті және нейропсихиатриялық әсерлер бар, бұл жиі қайталанатын жарақаттарға әкеледі. Біздің білуімізше, зақымдалған торлы импланттардың пішінін жабық қалпына келтіру туралы хабарламалар болған жоқ.

Әдістер. Е.Е. Волосевич атындағы бірінші қалалық клиникалық ауруханада 2012 жылдан 2019 жылға дейінгі кезеңде емделген 5 пациентте титан пластинасының деформациясы тіркелді. Импланттың қысылған бөлігін тері арқылы созуға мүмкіндік беретін тракциялық түзеткіш жасалды.

Нәтижелер. Бас сүйек күмбезінің пішіні мен көлемін қалпына келтіру пациенттерді емдеу және әлеуметтік оңалту жүйесіндегі маңызды іс-шара болып табылады. Тартпа түзеткішті пайдалану пациенттің қосымша кесулерсіз және ыңғайсыздықсыз, қайта жарақат алған жағдайда торлы титан пластинасының бұрынғы көрінісін қалпына келтіруге көмектеседі, ал имплантты ауыстыру үшін ашық араласуға тән инфекциялық және басқа хирургиялық асқынулардың алдын алады.

Үлкен механикалық күштердің әсер ету импланттың деформациясын тудыруы мүмкін. Механикалық әсер көбінесе титан плитасының деформациясынан басқа асқынуларға әкелмейді. Әдетте, имплант зақымдалған жағдайда оны ауыстыру жүзеге асырылады, бірақ бұл пластинаның әр саңылауына тыртық пен сүйек тінінің өнуіне байланысты техникалық жағынан өте күрделі операция. Біз қолданатын әдіс үлкен хирургиялық араласуды және имплантты ауыстыруды болдырмайды. Біздің тәжірибеміз әдістің жағымсыз жақтарын көрсеткен жоқ.

Қорытынды. Титан краниопластикасы бас сүйегінің ақаулары бар науқастарда ми тінін қорғауды қамтамасыз етеді, бірақ оған төтеп бере алатын механикалық күштер шексіз емес, сондықтан импланттың деформациялануы мүмкін. Титан имплантын жабық түзету әдісі аз уақыт ішінде жергілікті анестезиямен ақауды жоюға көмектеседі.

Негізгі сөздер: краниопластика, бас жарақаты, титан импланты, тракциялық түзету, жабық.

Тракторный способ восстановления формы поврежденных титановых имплантов, закрывающих дефект черепа

Н.А. Серебренников^{1,2}, Б.Л. Дуберман^{1,2}, А.А. Сергеева^{3,4}, В.Г. Порохин^{1,2}

¹Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

²Первая городская клиническая больница им. Е.Е. Волосевич, Архангельск, Россия

³Мурманская областная клиническая больница имени П.А. Баяндина, Мурманск, Россия

⁴Кировский государственный медицинский университет, Киров, Россия

Введение. Развитие нейрохирургии, нейрореанимационной интенсивной терапии, позволили снизить летальность при тяжелых черепно-мозговых травмах, опухолях головного мозга, но не уменьшили численность пациентов с посттравматическими дефектами черепа. Частота выполнения краниопластики составляет 12,9 человек на 100000 населения в год. Чаще всего в настоящее время (до 95% случаев) применяется краниопластика титановыми сетчатыми имплантами. У значительного числа пациентов есть долгосрочные нейрокогнитивные и нейроповеденческие последствия, что нередко приводит к повторным травмам. Насколько нам известно, не было сообщений о закрытом восстановлении формы поврежденных сетчатых имплантов.

Методы. Деформация титановой пластины при повторной травме было зафиксировано у 5 пациентов, пролеченных в период с 2012 г. по 2019 г. в первой городской клинической больнице имени Е. Е. Волосевич. Был разработан тракторный выпрямитель, позволяющий чрескожно вытянуть вдавленную часть импланта.

Результаты. Восстановление формы и объема свода черепа является важным мероприятием в системе лечебной и социальной реабилитации пациентов. Использование тракторного выпрямителя помогает без дополнительных разрезов и дискомфорта для пациента вернуть прежний вид сетчатой титановой

пластине в случае повторной травмы, при этом избежать инфекционных и других хирургических осложнений характерных для открытого вмешательства по замене импланта.

Обсуждение. Воздействие больших механических сил может вызвать деформацию имплантата. Механическое воздействие чаще всего не приводит к другим осложнениям, кроме деформации титановой пластины. Обычно в случае повреждения импланта выполняется его замена, но это технически довольно сложная операция из-за прорастания рубцовой и костной ткани в каждое отверстие пластины. Применяемый нами метод позволяет избежать необходимости большого хирургического вмешательства и замены импланта. Наш опыт не показал отрицательных сторон метода.

Заключение. Титановая краниопластика обеспечивает защиту мозговой ткани у пациентов с дефектами черепа, но механические силы, которые она может выдержать, не безграничны, поэтому возможны случаи деформации импланта. Наша методика закрытого выпрямления титанового импланта помогает за небольшое количество времени, под местной анестезией устранить дефект.

Ключевые слова: краниопластика, повторная травма головы, титановый имплант, тракционное выпрямление, закрытое выпрямление.

Введение

На протяжении веков остается актуальной проблема восстановления целостности костей черепа, после вдавленных переломов, декомпрессивной трепанации, огнестрельных ранений, а также других патологических состояний. Количество пострадавших с костными дефектами постоянно увеличивается в связи с ростом тяжелой черепно-мозговой травмы (ЧМТ) и хирургической активностью, расширением показаний к декомпрессивной трепанации не только при травме, но и сосудистой патологии [1]. В настоящее время, внедрение принципов малоинвазивной микро-нейрохирургии, использование современных методов нейровизуализации, комплексной адекватной нейро-реанимационной интенсивной терапии, позволили снизить летальность при тяжелых черепно-мозговых травмах, опухолях головного мозга, но не уменьшили численность пациентов с посттрепанационными дефектами черепа. Очевидно, что незащищенный мозг уязвим для внешних сил, которые могут привести к вторичному повреждению. Большие дефекты могут также вызывать такие осложнения, как гидроцефалия, кортикальная грыжа и субдуральный выпот, с последующим неврологическим дефицитом. Кроме того, пациенты часто страдают от ряда симптомов, часто называемых «синдромом трепанированного» или «синдромом погружающегося лоскута скальпа» [2,3,19]. Эти симптомы включают головную боль, головокружение, раздражительность, судороги, усталость и изменения в поведении [4,5,6]. Также сообщалось о таких симптомах, как гемиплегия и дефекты зрения [7,8]. У значительного числа пациентов есть долгосрочные нейрокогнитивные и нейроповеденческие последствия [17], что нередко приводит к повторным травмам. Реконструкция дефекта может облегчить эти симптомы и защитить мозг от внешних воздействий [9]. Несколько материалов доступны для реконструкции, и титан является одним из наиболее широко используемых [10]. Частота выполнения краниопластики, по нашим данным, в год составляет 12,9 человек

на 100000 населения. Чаще всего (в настоящее время в 95% случаев) применяется краниопластика титановыми сетчатыми имплантами [11]. Иногда пациенты с закрытыми дефектами черепа получают повторные травмы, что приводит к деформации - сдавлению сетчатого импланта. Насколько нам известно, не было сообщений о закрытом восстановлении поврежденных сетчатых имплантов. Открытая операция по замене импланта сопряжена с существенным риском осложнений. Сообщается, что частота неудач краниопластики составляет от 4% до 25% [12,13,14,15]. Инфекции были часто основной причиной отторжения аллотрансплантата, но недавние исследования показали, что такие осложнения могут также быть вызваны или ускорены иммунной чувствительностью хозяина к металлическим веществам внутри имплантата. Повышенная чувствительность металла может привести к кожным экзематозным высыпаниям, хроническому воспалению, боли и ряду других неблагоприятных реакций.

Материалы и методы

Повреждение титановой пластины при травме было зафиксировано у 5 пациентов, пролеченных в период с 2012 г. по 2018 г. в ГБУЗ Архангельской области «Первая городская клиническая больница им. Е.Е. Волосевич». У всех пациентов деформация заключалась в наличии вдавления сетчатого импланта. Не было случаев отрыва импланта от кости либо смещения фиксирующих винтов. Также у всех пациентов не было дополнительных неврологических симптомов либо признаков повреждения мозга по спиральной компьютерной томографии. Для восстановления формы импланта был разработан тракционный выпрямитель, представляющий собой кольцевую опору диаметром 80 мм со стойками и отверстием для тянущего винта. На конец винта накручена втулка со штангами. В отверстия сетчатого импланта по центру вдавления вкручиваются 1 или 2 винта длиной 50мм с короткой резьбовой частью и кольцом на другом конце. Винты вкручиваются в отверстия сетчатого импланта на глу-

бину 2-3 мм, расстояние между винтами 2-4см. Если сетчатый имплант имеет неподходящие для винтов отверстия, вместо винтов можно использовать крючки, также имеющие кольца на другом конце. Опорное кольцо выпрямителя устанавливается так, чтобы участок вдавления был по его центру, штанги резьбовой втулки проводятся в кольца винтов. При закручивании тянущего винта происходит дозированное вытягивание вдавленного участка пластины. Необходимое расстояние тракции определяется предварительно по результатам измерений и во время вытягивания при пальпации. В результате пластина приобретает прежнюю форму. Операция проводится под местной анестезией, через проколы кожи. Винты безопасны для использования, так как не имеют острых концов и погружаются в отверстие не более 3 мм, не прокалывая рубцовые ткани под пластиной. Пациенту процесс вытягивания не доставляет дискомфорта. Данная методика позволяет за 8-10 минут выпрямить пластину без открытого вмешательства.

Пример: Пациент Г., 32 года в 2008г. перенес тяжелую ЧМТ: Вдавленный перелом свода черепа, ушиб головного мозга, острая субдуральная гематома. Был оперирован, отломки удалены, выполнена декомпрессионная краниоэктомия. Пациент хорошо восстановился, не инвалидизирован. В ноябре 2008г выполнена краниопластика титановым сетчатым имплантом, индивидуально изготовленной по стереолитографической модели. (производитель импланта - ООО «КОН-МЕТ», Москва). В ноябре 2018г вновь получил травму. Удар вызвал деформацию импланта (рис.1). После этой травмы не было клинических симптомов. КТ показала, что прогиб не вызывает существенного сдавления паренхимы головного мозга, также не было признаков отека мозга или кровоизлияний. Окружающие костные структуры были неповрежденными, а винты,

с помощью которых устанавливался имплантат, были надежно расположены в кости. Пациента беспокоил вновь образовавшийся пластический дефект. (рис.2) Пациент дал согласие на ведение видео- и фотосъемки. Вмешательство выполнялось под местной анестезией Sol. Lidocaini 1%-20,0 мл. После обработки операционного поля пальпаторно определен центр вдавления. В этой области выполнена местная анестезия, на расстоянии 2см друг от друга выполнены два прокола кожи по 3 мм каждый, через них проведены самонарезающие винты устройства для вытяжения. Винты вкручены в отверстия сетчатого импланта (рис.3, 4). Собрано устройство для вытяжения и при закручивании тянущего винта выполнена медленная тракция вдавленной части импланта. Степень необходимого вытягивания определялась при пальпации импланта – до восстановления его формы. По словам пациента, некоторый дискомфорт доставляло только давление опорного кольца, момент введения винтов и выпрямления пластины он не чувствовал. На контрольной спиральной компьютерной томографии (рис.5) определяется достаточное восстановление формы импланта. Косметический результат процедуры представлен на рис.6.

Результаты

Метод закрытого выпрямления импланта выполнялся 5 пациентам. У всех пациентов деформация заключалась в наличии вдавления сетчатого импланта. Всем пациентам после выполнения вмешательства выполнялась КТ. Во всех случаях удалось устранить деформацию сетчатого импланта. Небольшие неровности, возникающие в точках тракции (рис.6), не были заметны и не определялись при пальпации. Не было зафиксировано случаев инфицирования, кровоизлияний и других осложнений.

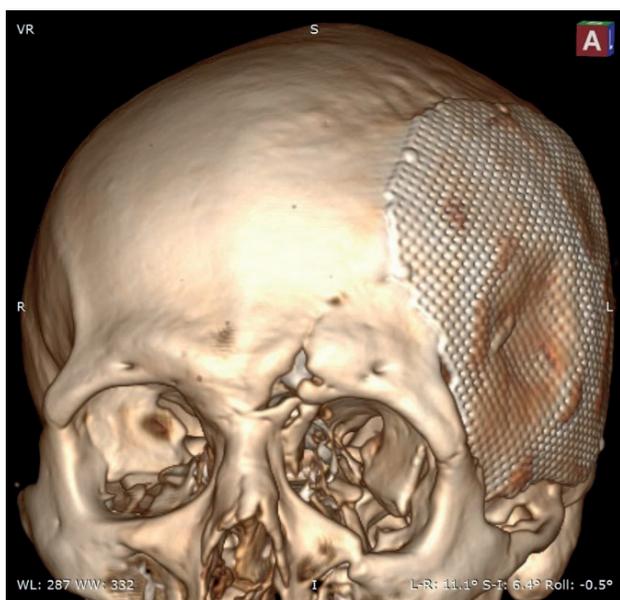


Рис.1 КТ 3D реконструкция. Поврежденный титановый сетчатый имплант.



Рис.2 Вид пациента с поврежденным имплантом

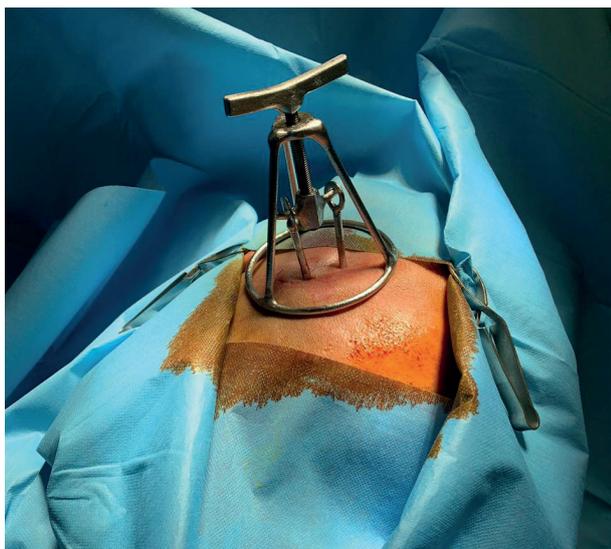


Рис.3 Устройство для выполнения трaкции

Обсуждение

Наиболее распространенные искусственные материалы для краниопластики – это гидроксипатит, полиметилметакрилат (PMMA), полиэфирэфиркетон (PEEK), титан. Воздействие больших механических сил может вызвать смещение, деформацию или перелом имплантата. Посттравматический перелом имплантата произошел у 27 из 1549 пациентов с гидроксипатитовой краниопластикой, о которых сообщили Stefini и соавторы. [13]. Также сообщалось о переломах имплантата из полиметилметакрилата (PMMA) *in vivo*: имплантат 14-летнего мальчика был раздроблен во время велосипедной аварии. [14]. Однако серьезных осложнений этих переломов не было. В исследовании, сравнивающем PMMA и титановые имплантаты с использованием FEM-модели, максимальное проявленное напряжение после приложенного усилия в 100 Н было выше в титане,

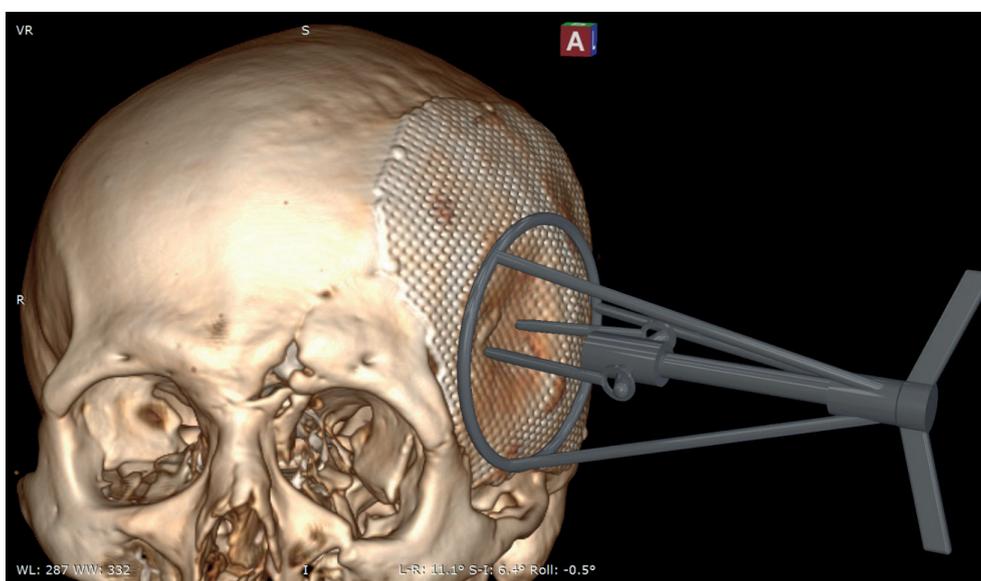


Рис.4 Схема применения устройства

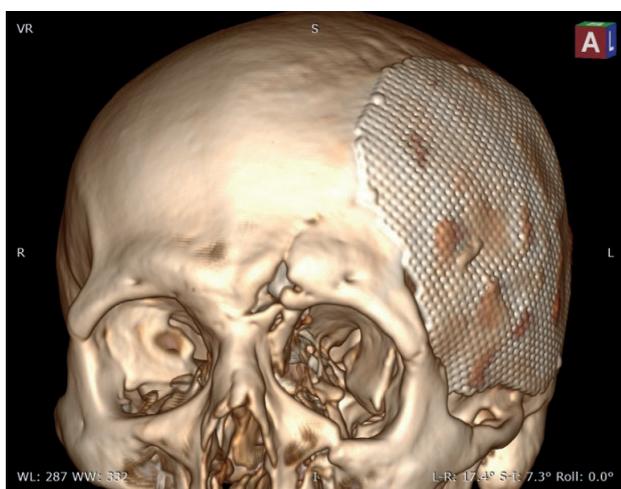


Рис.5 КТ 3D реконструкция. Имплант после трaкционного выпрямления



Рис.6 Внешний вид больного после операции.

чем в ПММА. По сравнению с РММА титан может поглощать более высокие нагрузки и, таким образом, обеспечивает лучшую защиту. Lethaus и соавторы моделировали клиническую ситуацию с имплантатом черепа, прикрепляя титановую пластину к модели из полиамидного черепа. Титан не проявлял никакой деформации вплоть до самых высоких приложенных сил ~ 50 кН. Это отличается от механической реакции имплантата РЕЕК, который фрагментируется на несколько частей при более низком давлении, чем максимальное давление, приложенное к титановому имплантату. Это показывает, что титановая пластина более устойчива к механическим воздействиям, чем РЕЕК, при использовании имплантатов той же толщины. Нет сообщений о случаях, когда в результате механического воздействия повреждение имплантата из титановой сетки вызывало осложнения у пациента, были описаны лишь случаи деформации титановой пластины [16]. Восстановление формы и объема свода черепа является важным мероприятием в системе лечебной и социальной реабилитации пациентов. Обычно в случае повреждения импланта принято выполнять его замену, но это технически довольно сложная операция из-за прорастания рубцовой и костной ткани в каждое отверстие пластины. Кроме того, эта обширная операция может сопровождаться инфицированием и другими осложнениями [18]. Поэтому, выполнение

повторной краниопластики в случае повреждения импланта нежелательно. Использование метода черескожного тракционного выпрямления помогает без дополнительных разрезов и дискомфорта для пациента вернуть прежний вид сетчатой титановой пластине в случае повреждения ее при травме, при этом избежать инфекционных и других хирургических осложнений характерных для открыто выпрямления импланта. Таким образом, краниопластика титаном получает дополнительное преимущество – в случае повреждения возможно закрытое восстановление формы импланта, без его замены.

Заключение

Титановая краниопластика обеспечивает надежную защиту мозга у пациентов с дефектами черепа, но механические силы, которые она может выдержать, не безграничны. Деформация титанового импланта в случае травмы обычно не сопровождается повреждением ткани мозга или признаками неврологических нарушений, однако вызывают косметических дефект, а также локальное давление на мозг и уменьшение объема черепа. Наша методика закрытого выпрямления титанового импланта позволяет за небольшое количество времени, под местной анестезией устранить косметический дефект.

Список литературы:

- Potapov AA, Kravchuk AD, Lihtermann LB. Реконструктивная хирургия дефектов черепа. Клинические рекомендации. // Ассоциация нейрохирургов России, Москва 2015. *Potapov AA, Kravchuk AD, Lihtermann LB. Rekonstruktivnaya hirurgiya defektov cherepa. Klinicheskie rekomendatsii. // Assotsiatsiya neirohirurgov Rossii, Moskva 2015. (In Russian)*
- Honeybul S, Ho K M. Long-term complications of decompressive craniectomy for head injury. // *J Neurotrauma*. 2011;28(6):929–935. DOI: 10.1089/neu.2010.1612
- Akins P T, Guppy K H. Sinking skin flaps, paradoxical herniation, and external brain tamponade: a review of decompressive craniectomy management. // *Neurocrit Care*. 2008;9(2):269–276 DOI: 10.1007/s12028-007-9033-z
- Dujovny M, Aviles A, Agner C, Fernandez P, Charbel FT. Cranioplasty: cosmetic or therapeutic? // *Surg Neurol*. 1997;47(3):238–241. DOI: 10.1016/s0090-3019(96)00013-4
- Honeybul S. Complications of decompressive craniectomy for head injury. // *J Clin Neurosci*. 2010;17(4):430–435. DOI: 10.1016/j.jocn.2009.09.007
- Grant F C, Norcross N C. Repair of cranial defects by cranioplasty. // *Ann Surg*. 1939;110(4):488–512 DOI: 10.1097/0000658-193910000-00002
- Ng D, Dan NG. Cranioplasty and the syndrome of the trephined. // *J Clin Neurosci*. 1997;4(3):346–348 DOI: 10.1016/s0967-5868(97)90103-x
- Fodstad H, Love J A, Ekstedt J, Fridén H, Liliequist B. Effect of cranioplasty on cerebrospinal fluid hydrodynamics in patients with the syndrome of the trephined. // *Acta Neurochir (Wien)* 1984; 70(1–2):21–30. DOI: 10.1007/BF01406039
- Liang W, Xiaofeng Y, Weiguo L. et al. Cranioplasty of large cranial defect at an early stage after decompressive craniectomy performed for severe head trauma. // *J Craniofac Surg*. 2007;18(3):526–532. DOI: 10.1097/scs.0b013e3180534348
- Spetzger U, Vougioukas V, Schipper J. Materials and techniques for osseous skull reconstruction. // *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2010;19(2):110–121 DOI: 10.3109/13645701003644087
- *Yirui Sun, MD, PhD,1 Yue Hu, MD,2 Qiang Yuan, MD, PhD,1 Jian Yu, MD, PhD,1 Xing Wu, MD, PhD,1 Zhuoying Du, MD, PhD,1 Xuehai Wu, MD, PhD,1 and Jin Hu, MD, PhD1 Association between metal hypersensitivity and implant failure in patients who underwent titanium cranioplasty. *J Neurosurg*. 2018 Jul 6;131(1):40-46. doi: 10.3171/2018.1.JNS171804. DOI: 10.3171/2018.1.JNS171804
- Jaberi J, Gambrell K, Tiwana P, Madden C, Finn R. Long-term clinical outcome analysis of poly-methyl-methacrylate cranioplasty for large skull defects. // *J Oral Maxillofac Surg*. 2013;71(2):e81–e88. DOI: 10.1016/j.joms.2012.09.023
- Stefini R, Esposito G, Zanotti B, Iaccarino C, Fontanella M M, Servadei F. Use of “custom made” porous hydroxyapatite implants for cranioplasty: postoperative analysis of complications in 1549 patients. // *Surg Neurol Int*. 2013;4:12 DOI: 10.4103/2152-7806.106290
- Eppley B L. Biomechanical testing of alloplastic PMMA cranioplasty materials. // *J Craniofac Surg*. 2005;16(1):140–143 DOI: 10.1097/00001665-200501000-00028
- Ko A L, Nerva J D, Chang J J, Chesnut R M. Traumatic fracture of polymethylmethacrylate patient-specific cranioplasty implant. // *World Neurosurg*. 2013;82(3–4):5.36E13–5.36E15. DOI: 10.1016/j.wneu.2013.09.025
- Valerie R. De Water, Ellianne J. dos Santos Rubio, Joost W. Schouten, Maarten J. Koudstaal Deformation of a Titanium Calvarial Implant following Trauma: A Case Report Craniomaxillofac // *Trauma Reconstr*. 2016 Jun; 9(2): 158–161. Published online 2015 Nov 5 DOI: 10.1055/s-0035-1567810
- Pavlovic D, Pekic S, Stojanovic M, Popovic V. Traumatic brain injury: neuropathological, neurocognitive and neurobehavioral sequelae. // *Pituitary*. 2019 Jun;22(3):270–282. doi: 10.1007/s11102-019-

00957-9.

18. Wiggins A, Austerberry R, Morrison D, Ho Kwok M, Honeybul S. Cranioplasty with custom-made titanium plates--14 years experience. // Neurosurgery 2013 Feb;72(2):248–56; discussion 256. doi: 10.1227/NEU.0b013e31827b98f3
19. Ashayeri K, Jackson EM, Huang J, Brem H, Gordon CR. Syndrome of the Trephined: A Systematic Review. // Neurosurgery. 2016 Oct;79(4):525–34. doi:10.1227/NEU.0000000000001366