

ВИРТУАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КОСТНО-РЕКОНСТРУКТИВНЫХ ОПЕРАЦИЙ ГЛАЗНИЦЫ

Селезнев В.А., Буцан С.Б., Йигиталиев Ш.Н., Хохлачев С.Б., Ходячий А.Е.,
Черненко М.М.

Цель исследования. Повышение эффективности хирургического лечения пациентов с посттравматическими дефектами и деформациями скуло-носо-лобно-глазничной области путем совершенствования методов планирования реконструктивных оперативных вмешательств. ФГБУ «ЦНИИС и ЧЛХ» МЗ РФ. г. Москва, Россия.

Материал и методы. За период с 2016 по 2017 год в отделении челюстно-лицевой хирургии ЦНИИС и ЧЛХ проведено хирургическое лечение 61 пациента с посттравматическими деформациями скуло-носо-лобно-глазничной области. Пациенты различались по степени тяжести и давности травмы. Всем пациентам проводилось компьютерное планирование реконструктивного вмешательства, изготовление интраоперационных стереолитографических моделей и шаблонов, а также изготовление индивидуальных силиконовых имплантатов с применением трехмерного моделирования. На каждом этапе хирургического лечения проводились контрольные расчеты данных компьютерных томограмм. У 34-х пациентов в качестве пластического материала использовались костные аутотрансплантаты свода черепа, у 4-х пациентов – кортикальная пластинка ветви нижней челюсти. Семи пациентам были установлены сетчатые титановые имплантаты с полимерным покрытием. У 8 больных реконструкция проводилась с применением индивидуально смоделированных силиконовых имплантатов. Пяти пациентам было выполнено двухэтапное хирургическое лечение, включающее реконструкцию стенок глазницы с помощью костных аутотрансплантатов со свода черепа, а в последующем – вторым этапом, устранение остаточного энтофтальма индивидуальным силиконовым имплантатом. В трех случаях наблюдалось двустороннее повреждение глазниц. В отдаленном послеоперационном периоде (8 месяцев) проведено контрольное исследование на основании данных МСКТ.

Результаты. При применении костных аутографтов со свода черепа остаточный энтофтальм развился у 9 пациентов (26,5%). При применении костного аутографта ветви нижней челюсти остаточный энтофтальм возник у одного пациента (25%). При использовании сетчатого титанового имплантата остаточный энтофтальм был определен у двух пациентов (28,5%), 9 из 10 пациентов с остаточным энтофтальмом повторно оперированы с применением индивидуально смоделированных силиконовых имплантатов. В отдаленные сроки наблюдения нарушений положения глазного яблока не выявлено.

Выводы. Развитие остаточного энтофтальма определяется возникновением диспропорционального соотношения объемов глазницы и ее содержимого. Основной причиной данного нарушения является невозможность точного воссоздания сложной архитектуры глазницы при помощи только плоских по форме пластических материалов. Наиболее рациональным решением данной проблемы является применение двухэтапной хирургической тактики, позволяющей на базе восстановленных границ глазницы воссоздать их рельеф с высокой точностью при помощи индивидуального силиконового имплантата.

Ключевые слова: травма глазницы, реконструкция глазницы, мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), сегментация, компьютерное моделирование, системы автоматизированного проектирования (САПР), стереолитография, 3D-моделирование, остаточный энтофтальм.

Контактный автор: Селезнёв В.А., e-mail: seleznevmedic@gmail.com

Для цитирования: Селезнев В.А., Буцан С.Б., Йигиталиев Ш.Н., Хохлачев С.Б., Ходячий А.Е., Черненко М.М. Виртуальное планирование костно-реконструктивных операций глазницы. REJR 2018; 8(3):128-148. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-3-128-148.

VIRTUAL PLANNING OF ORBITAL BONE RECONSTRUCTION SURGERY

Seleznev V. A., Butsan S. B., Jigitaliyev Sh. N., Khokhlachev S. B., Hodyachiy A. E.

Purpose. To improve the effectiveness of surgical treatment of patients with middle face posttraumatic defects and deformations by developing of computer modeling methods. Central Research Institute of Dental and Maxillofacial Surgery.

Materials and methods. From 2016 to 2017, 61 patients with posttraumatic middle face deformations underwent surgical treatment in the department of maxillofacial surgery of Central Research Institute of Dental and Maxillofacial Surgery. Patients were divided by severity and duration of injury. All patients underwent computer planning for reconstructive operation, production of intraoperative stereolithographic models and templates, and the production of individual silicone implants using 3D modeling. At each stage of surgical treatment, control calculations of computer tomography data were performed. In 34 patients, bone autografts of the cranial vault were used as a plastic material, in 4 patients the cortical plate of the mandibular branch was used. Seven patients were fitted with reticular titanium implants with a polymer coating. In 8 patients, the reconstruction was performed using individually modeled silicone implants. Five patients underwent two-stage surgical treatment, including reconstruction of the orbital walls with the help of bone autografts from the cranial vault, and in the subsequent - the second stage - elimination of the residual enophthalmos with an individual silicone implant. In three cases, bilateral eye socket damage was observed. In the remote postoperative period (8 months), a control study was performed based on MSCT data.

Results. When bone autografts were used from the cranial vault, residual enophthalmos developed in 9 patients (26.5%). When bone autograft was used in the mandibular branch, residual enophthalmos appeared in one patient (25%). When a reticular titanium implant was used, residual enophthalmos was determined in two patients (28.5%), 9 out of 10 patients with residual enophthalmic were re-operated using individually modeled silicone implants. In the long-term observation of violations of the position of the eyeball is not revealed.

Conclusions. The development of residual enophthalmos is determined by the appearance of a disproportional ratio of the volume of the orbit and its contents. The main reason for this violation is the impossibility of accurately recreating the complex orbital architecture with only flat plastic materials. The most rational solution to this problem is the use of two-stage surgical tactics, which allows reconstructing their relief on the basis of the restored borders of the orbit with high accuracy using an individual silicone implant.

Keywords: eye socket trauma, eye socket reconstruction, multi-helical computed tomography (MSCT), segmentation, computer modeling, CAD systems, stereolithography, 3D modeling, residual enophthalmos.

Corresponding author: Seleznev V. A., e-mail: seleznevmedic@gmail.com

For citation: Seleznev V. A., Butsan S. B., Jigitaliyev Sh. N., Khokhlachev S. B., Hodyachiy A. E. Virtual planning of orbital bone reconstruction surgery. REJR 2018; 8 (3):128-148. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-3-128-148.

Received: 22.06.18

Accepted: 06.07.18

На сегодняшний день в челюстно-лицевой хирургии решены многие проблемы реконструкции глазницы, достигнуты высокие результаты в функциональной реабилитации пациентов с травматическими повреждениями скуло-носо-глазничной области [1]. Однако, вместе с совершенствованием методов обследования пациентов, планирования операций и

технологий их выполнения, повышаются и требования к результатам хирургического лечения, особенно это касается эстетических его аспектов [2]. Не вызывает сомнения тот факт, что все внимание собеседника при общении сосредоточено именно на средней зоне лица, что определяет значимость функциональной и эстетической реабилитации. Если принять во внимание то, что эстетическое составляющее лица для

большинства людей играет основополагающую роль, то функциональная и эстетическая реабилитация является одинаково значимыми [3]. На данный момент по результатам различных ретроспективных исследований процент развития вторичного послеоперационного энофтальма у пациентов, оперированных по поводу изолированной травмы дна глазницы, достигает 26,6% [4]. Во многих работах описаны различные методы диагностики пациентов с травмами глазницы [5, 6]. Тем не менее, для достижения высоких эстетических результатов актуальной проблемой является совершенствование имеющихся и разработка новых методов планирования, позволяющих с математической точностью спрогнозировать результат реконструктивной операции [7, 8].

Цель исследования.

Целью данного исследования являлось повышение эффективности хирургического лечения пациентов с посттравматическими дефектами и деформациями скуло-носо-лобно-глазничной области путем совершенствования методов виртуального планирования реконструктивного вмешательства.

Материалы и методы.

В «ЦНИИС и ЧЛХ» с 2016 по 2017 год в отделе челюстно-лицевой хирургии проведено хирургическое лечение 61 пациента с травмами и посттравматическими деформациями скуло-носо-лобно-глазничной области, $n=61$. Пациенты различались по степени тяжести и давности травмы (срок поступления в клинику составлял от 2 недель до 13 лет с момента получения травмы). Из них 14 пациентов ($n=14$) обратились после ранее проведенного хирургического лечения в других учреждениях, результаты которого расценивались ими как неудовлетворительные. У $n=34$ в качестве пластического материала использовались костные аутоотрансплантаты свода черепа, у $n=4$ устранение костных дефектов проводилось при помощи наружной кортикальной пластинки ветви нижней челюсти. У $n=7$ были установлены сетчатые титановые имплантаты с полимерным покрытием. У $n=8$ реконструкция проводилась с применением индивидуально смоделированных силиконовых имплантатов. $N=5$ выполнено двухэтапное хирургическое лечение, включающее реконструкцию стенок глазницы с помощью костных аутоотрансплантатов со свода черепа, а в последующем – вторым этапом, устранение остаточного энофтальма индивидуальным силиконовым имплантатом. У $n=3$ наблюдалось двустороннее повреждение глазниц. Таким образом, количество реконструированных глазниц составило 61. Всем пациентам проводилось компьютерное проектное моделирование реконструктивно-восстановительного лечения в медицинских системах САПР. По данным, полученным в ре-

зультате планирования, изготавливались интраоперационные стереолитографические шаблоны для забора и моделирования костных аутоотрансплантатов свода черепа или формирования сетчатых титановых имплантатов, в зависимости от выбранной тактики лечения. Интраоперационно применялись индивидуальные стереолитографические модели черепа для припасовки сформированных аутоотрансплантатов или титановых имплантатов. По результатам компьютерного планирования также изготавливались стереолитографические шаблоны, на основании которых отливались индивидуальные силиконовые имплантаты.

Общие принципы и подходы к выполнению компьютерного планирования.

Для планирования хирургической реконструкции глазницы применяли разработанный в «ЦНИИС и ЧЛХ» метод, позволяющий с точностью до миллиметра вычислить целевое положение глазного яблока, рассчитать размеры и форму пластического материала. Планирование выполняли при помощи программного обеспечения Amira 5.4.5. В основе метода лежит принцип виртуальной зеркальной симметризации интактной глазницы на поврежденную. Одним из важнейших аспектов данного метода является вычисление плоскости симметрии между глазницами. Принимая во внимание тот факт, что кости черепа в норме имеют определенную степень асимметрии, плоскость симметрии между глазницами чаще всего не совпадает с расположением общей плоскости симметрии черепа. Технически это обстоятельство определяет принципы подхода и очередность проведения расчетов параметров симметрии. Зеркальное трехмерное изображение неповрежденной глазницы совмещается при помощи алгоритма медицинского проектирования в системах САПР по принципу наложения и достижения максимального пересечения объемов трехмерных моделей с поврежденной стороной. Таким образом, уже по результатам максимального наложения определяется истинная плоскость симметрии между глазницами. В результате на трехмерной модели отображается наложение в неповрежденных областях, а в области дефектов костных структур определяется целевой уровень и архитектура отсутствующих костных границ. Вычисленные координаты истинной плоскости симметрии носят теоретический характер. Глазное яблоко с неповрежденной стороны определяет целевое положение для глазного яблока реконструируемой глазницы, параметры его смещения высчитываются в миллиметрах по всем трем осям. Далее виртуально проектируется трехмерный шаблон костного аутоотрансплантата либо имплантатов из титана или силикона. Предпочтение тому или иному пластическому материалу отдается в за-

висимости от конкретного клинического случая.

Отдельного внимания заслуживает ситуация, при которой у пациента оба скулоглазничных комплекса повреждены и нативных ориентиров не существует. В таком случае, при расчетах используется «библиотека» КТ-данных пациентов, не имеющих повреждений и другой патологий черепно-челюстно-лицевой области. Эталонном для планирования операции при двустороннем повреждении глазницы служит модель из «библиотеки», наиболее идентичная конфигурации черепа пациента, максимально совпадающая по краниометрическим показателям при их сопоставлении. Изолированное одностороннее повреждение дна, а также сочетанное одностороннее повреждение дна и медиальной стенки глазницы статистически встречается наиболее часто. С точки зрения точности компьютерного моделирования данные типы травмы дают возможность получить наиболее полную степень наложения виртуально симметризированной интактной стороны на пораженную. С технической стороны, при выполнении оперативного вмешательства хирург имеет множество анатомических костных ориентиров на пораженной стороне и может наиболее точно выполнить устранение костного дефекта. Костные аутотрансплантаты дна и медиальной стенок глазницы при подобном типе травмы имеют наибольшее количество точек опоры и стабильно располагаются в воспринимающей ложе, не требуя фиксации при помощи титановых конструкций или требуя ее в минимальном объеме. Данные условия позволяют с точностью до миллиметра рассчитать направление и степень смещения глазного яблока при устранении гипознофтальма. Учитывая,

что основному количеству пациентов реконструкция стенок глазницы выполнена с применением костных аутотрансплантатов со свода черепа, в рамках данной публикации представляем подробный пример виртуального планирования костно-реконструктивной операции в конкретной клинической ситуации.

Клинический пример.

Пациентка П., 39 лет, обратилась в ЦНИИС и ЧЛХ с диагнозом: посттравматический дефект и деформация нижней и медиальной стенок глазницы слева, гипознофтальм OS. В анамнезе: около года до момента первичного обращения была избита. При обращении за медицинской помощью по месту жительства в г. Чехов патологических изменений со стороны костей лицевого скелета выявлено не было, имелась ушибленная рана подглазничной области слева. Примерно со 2-й недели после травмы у пациентки появились явления гипознофтальма с диплопией, которые постепенно нарастали, однако пациентка за медицинской помощью не обращалась. К офтальмологу паци-

ентка обратилась через 1 год после травмы, была направлена в ЦНИИС и ЧЛХ.

Пальпаторно определяется положительный симптом «костной ступеньки» по левому нижнеглазничному краю. Движения глазных яблок содружественные.

По данным МСКТ выявлено: посттравматическая деформация дна и медиальной стенки левой глазницы (рис. 2, 3), отмечается гипознофтальм – 4 мм, энофтальм – 8 мм. Патологическое сообщение глазницы с полостью верхнечелюстного синуса и клетками решетчатой кости слева.

Концепция лечения определена с учетом отечественного, мирового и собственного опыта ФГБУ «ЦНИИС и ЧЛХ». Ввиду повышенного риска инфицирования искусственного пластического материала из-за патологического сообщения глазницы с полостями верхних дыхательных путей, выбран рациональный метод устранения дефекта стенок глазницы аутокостью, в виду ее высокой резистентности к инфекционным агентам по сравнению с любыми искусственными материалами [9, 10]. Донорской областью выбрана теменная кость за счет подходящей геометрии и плотности. Учитывая давность травмы и необратимые изменения внутриглазничных тканей, мы допускаем вероятность развития остаточного энофтальма после реконструкции [11, 12]. Необходимость дальнейшего хирургического лечения будет определена через 8 месяцев после реконструкции по данным МСКТ. Основным определяющим критерием следующего этапа хирургического лечения будет являться степень развития остаточного послеоперационного энофтальма, который устраняется при помощи индивидуального силиконового имплантата, смоделированного по данным МСКТ [13, 14].

В программах медицинского проектирования САПР выполняется планирование реконструкции, состоящей из этапов расчета реципиентной и донорской областей по данным МСКТ. В основе определения размеров и конфигурации трансплантатов лежит метод зеркального отображения интактной глазницы на поврежденную и последующего вычисления. На рисунке 4 белым цветом выделен зеркально отображенный неповрежденный правый скулоносо-лобно-глазничный комплекс, наложенный на поврежденную левую сторону. Точность совмещения проверяется по совпадению симметричных краниометрических точек.

На аксиальном и сагитальном срезах (рис. 5 а и б соответственно) оранжевым цветом отмечено наложение отраженного интактного скулоглазничного комплекса с противоположной стороны. Синим маркером выделен объем кости, совпадающий при наложении моделей. Визуально хорошо заметно исходное



Рис. 1 а (Fig. 1 а)



Рис. 1 б (Fig. 1 в)



Рис. 1 в (Fig. 1 с)

Рис. 1. Фотографии.

Внешний вид пациентки на момент обращения в ЦНИИС и ЧЛХ. Определяется резко выраженный гипоэнтофтальм слева, диплопия при всех направлениях взгляда. а – Анфас; б – полупрофиль слева; с – подбородочно-лобная проекция.

Fig. 1. Photo.

Patient's appearance at the time of first visit to the clinic. A pronounced hypophthalmos on the left, diplopia is determined in all directions of the gaze. a – frontal view; b – left half-profile, c – semi-axial view.



Рис. 2 а (Fig. 2 а)

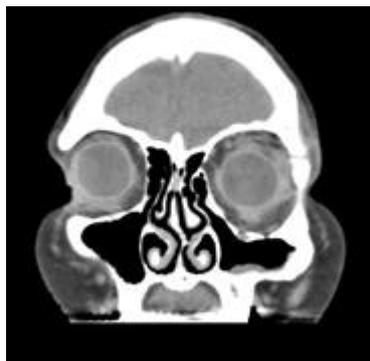


Рис. 2 б (Fig. 2 в)

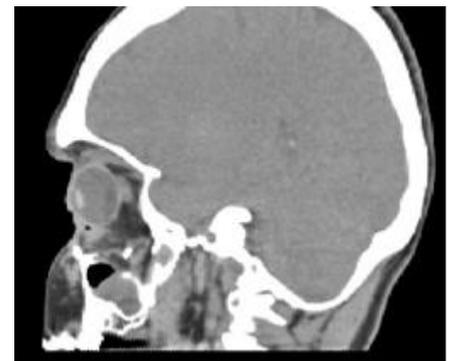


Рис. 2 в (Fig. 2 с)

Рис. 2. МСКТ черепа.

Дефект и деформация дна и медиальной стенок глазницы слева. а – Аксиальная плоскость; б – коронарная плоскость; с – сагиттальная плоскость.

Fig. 2. Cranium MSCT.

Defect and deformation of the bottom and medial wall of the orbit on the left. a – axial view; b – coronal view; c – sagittal view.

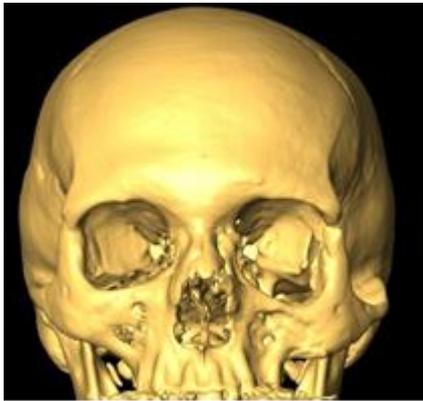


Рис. 3 а (Fig. 3 а)



Рис. 3 б (Fig. 3 в)



Рис. 3 в (Fig. 3 с)

Рис. 3. МСКТ, 3D-реконструкция на момент обращения.

Дефект медиальной стенки и дна глазницы слева.

Fig. 3. MSCT. 3D reconstruction. First visit.

Defect of the medial wall and the bottom of the eye socket on the left.

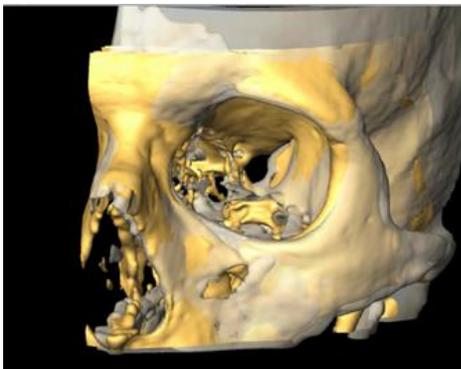


Рис. 4 (Fig. 4)

Рис.4. Виртуальное наложение зеркально отображенной модели интактной глазницы на поврежденную (выделена желтым цветом).

Fig. 4. Virtual imposition of a mirror image of an intact eye socket on the damaged eye socket. (highlighted in yellow).

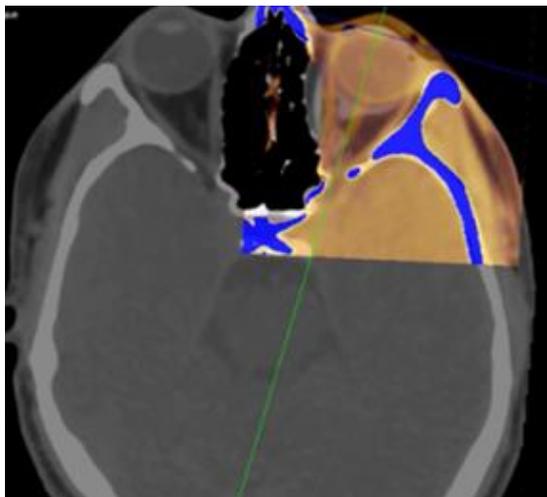


Рис. 5 а (Fig. 5 а)

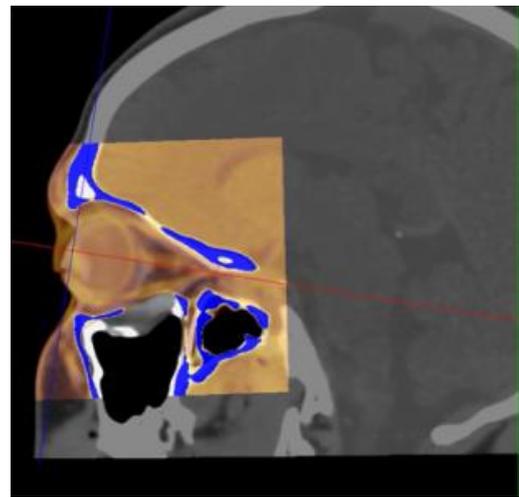


Рис. 5 б (Fig. 5 в)

Рис. 5. МСКТ. Зеркальное отображение интактной глазницы на поврежденную.

а – аксиальная плоскость, б – сагиттальная плоскость. Отображенный фрагмент выделен синим цветом.

Fig. 5. MSCT. Mirror image of the intact orbit on the damaged eye.

а – axial view, б – sagittal view. The displayed fragment is highlighted in blue.

(красная стрелка) и целевое (синяя стрелка) положение глазного яблока, исходя из которого будут рассчитаны размеры, конфигурация и положение костных аутотрансплантатов, установка которых приведет к восстановлению анатомической целостности глазницы и перемещению глазного яблока в целевое положение.

Для определения геометрии аутотрансплантата, истинных границ глазницы и исключения ложных дефектов выполняется сегментация кости в ручном режиме [15]. Сегментация кости выполняется методом послойного контурирования на аксиальных срезах с учетом значений Хаунсфилда от +100 и поправкой на «эффект частичного объема» (PVE) в граничащих с газом -900 HU тонких структурах [16]. Полученные контуры объединяются в один объект на 3d-реконструкции (рис. 6).

Методом ручной сегментации создана «рабочая» трехмерная модель, на которой воздух приравнен по плотности к кости и объединен с ней. Таким образом, просчитан и визуализирован реальный объем полости левой глазницы, полученная модель пригодна для проектирования костных аутотрансплантатов.

Для определения расчетной плоскости расположения аутотрансплантата на поврежденную глазницу отображается дно интактной глазницы, контур которого и сегментируется в ручном режиме на каждом коронарном срезе (рис. 8). Объединенные контуры сводятся в геометрический объект, который и является расчетной моделью аутотрансплантата.

В результате получено трехмерное отображение расчетной плоскости дна глазницы, в соответствии с которой будет позиционироваться трансплантат (рис. 9).

Следующим этапом планирования является определение потенциала донорских зон и виртуальный забор костного аутотрансплантата. Под термином «потенциал донорской зоны» мы понимаем совокупность параметров донорской зоны, определяющих качество аутотрансплантата. Для аутографта свода черепа этими качественными параметрами являются: плотность, максимально возможные для забора размеры, а также конфигурация костной пластинки с обязательным учетом ее кривизны. Приоритет безопасного забора трансплантата при максимальном сохранении и соответствии всех вышеперечисленных параметров в условиях конкретной клинической ситуации является основополагающим. На данные свойства трансплантата, в свою очередь, влияет множество различных факторов: от индивидуальных анатомических параметров пациента и гистологических характеристик кости донорской области до уровня квалификации хирурга и оснащенности операционной.

По данным МСКТ определены параметры

донорской области, позволяющие безопасно выполнить забор костных аутотрансплантатов необходимой кривизны, размеров и формы: общая толщина теменной кости слева – 6,7 мм, справа – 7,2 мм; толщина наружной кортикальной пластинки слева – 2,6 мм, справа – 2,0 мм. С учетом толщины костной ткани, реконструируется трехмерная модель черепа (рис. 10). Светлым цветом окрашены толстые участки, имеющие два кортикальных слоя прослойкой губчатого вещества, более темным – участки, соответствующие эмбриогенетически обусловленным более тонким областям черепа, не делящиеся на слои и представляющие собой цельный кортикальный слой. Также в данном фильтре может быть отображено взаиморасположение теменных костей с другими анатомическими структурами такими, как венозные синусы, пальцевидные вдавления, а также эмиссарные вены головного мозга, влияющими на структуру кости. Для безопасного забора расщепленного костного аутотрансплантата необходим участок теменной кости, имеющий бикортикальное строение.

Виртуально выполняется забор костного бикортикального фрагмента теменной кости заведомо большего размера. Это дает возможность наиболее точно подобрать донорский участок кости в соответствии с требующимися для реконструкции конфигурацией, кривизной и рельефом, а именно его максимальным потенциалом. Данный подход позволяет не только максимально рационально использовать объем и площадь костного аутотрансплантата, но и значительно уменьшает шансы перфорации внутренней кортикальной пластинки при его заборе (рис. 11).

Полученный костный фрагмент теменной кости имеет бикортикальное строение, что отчетливо видно на трехмерной модели, построенной с применением фильтра, разделяющего объем в зависимости от его плотности (рис. 12). На данном этапе костный блок находится в своем анатомическом положении и на иллюстрации отображен в пространстве без окружающих тканей.

Для формирования готового трансплантата требуется только наружная кортикальная пластинка. Выполняется ручная сегментация и проектное расщепление костного блока на уровне наружной кортикальной пластинки с учетом ориентиров плотности от +1500 HU.

Сегментированный костный блок преобразуется в математическую модель аутотрансплантата, пригодную для дальнейшего проектного моделирования (рис. 14).

Следующим этапом планирования выполняется виртуальное перемещение костного блока в полость глазницы. С применением алгоритмов программы Amira 5.4.5. выполняется

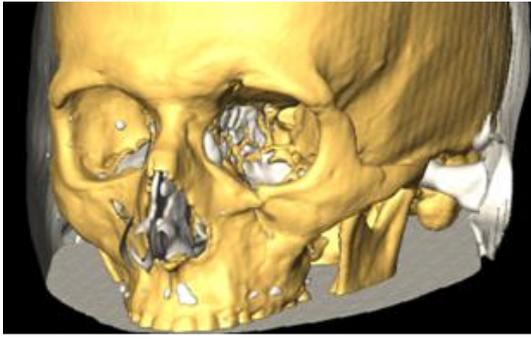


Рис. 6 (Fig. 6)

Рис. 6. 3D-реконструкция.

Визуализация газа придаточных пазух носа и носовых ходов (выделено белым цветом).

Fig. 6. 3D-reconstruction.

Visualization of the gas of the paranasal sinuses and nasal passages. (highlighted in white).

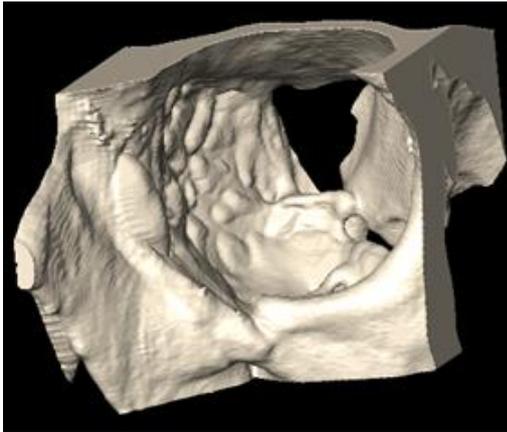


Рис. 7 (Fig. 7)

Рис. 7. Трехмерная модель левой глазницы, пригодная для дальнейшего проектирования.

Fig. 7. Three-dimensional model of the left eye socket, suitable for further design.

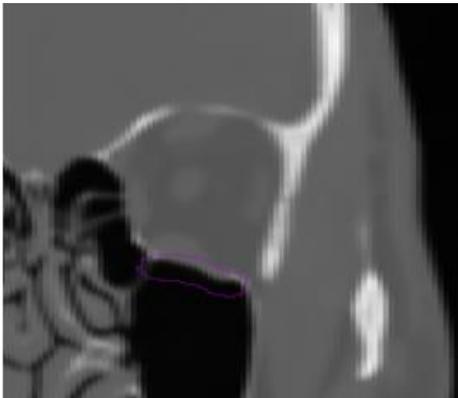


Рис. 8 (Fig. 8)

Рис. 8. МСКТ.

Определение расчетной плоскости аутотрансплантата дна глазницы (выделено фиолетовым цветом).

Fig. 8. MSCT.

Determination of the calculated plane of the autograft of the bottom of the eye socket. (highlighted in purple).

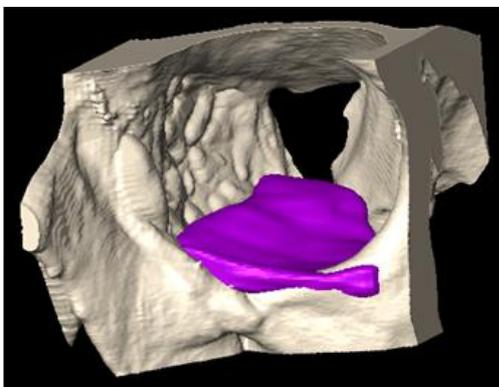


Рис. 9 (Fig. 9)

Рис. 9. Трехмерная визуализация расчетной плоскости дна реконструируемой глазницы (отмечено фиолетовым цветом).

Fig. 9. Three-dimensional visualization of the calculated plane of the bottom of the reconstructed eye socket. (marked in purple).



Рис. 10 (Fig. 10)

Рис.10.Кости свода черепа, реконструированные в зависимости от их толщины и количества слоев.

Fig. 10. Bones of the cranial vault, reconstructed depending on their thickness and number of layers.



Рис. 11 (Fig. 11)

Рис. 11. Виртуальный забор костного блока для моделировки аутотрансплантата дна глазницы.

Область забора указана зеленой линией.

Fig. 11. Virtual bone block sampling for modeling the autograft of the bottom of the eye socket.

The sampling area is indicated by a green line.

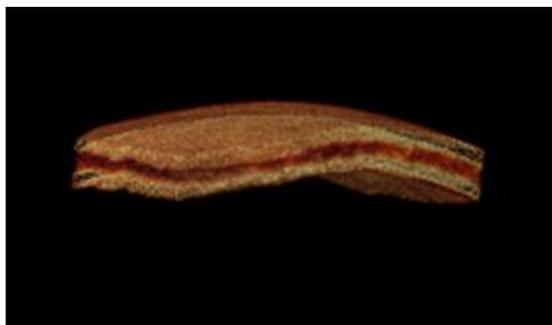


Рис. 12 (Fig. 12)

Рис. 12. Вид на бикортикальный костный блок с латеральной стороны.

Fig. 12. View of the bicortical bone block from the lateral side.

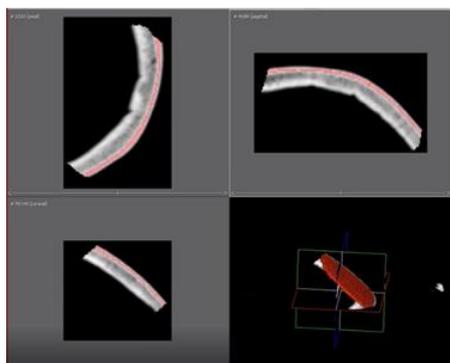


Рис. 13 (Fig. 13)

Рис. 13. Сегментировано компактное вещество наружной кортикальной пластинки из объема костного блока со свода черепа.

Fig. 13. The compact substance of the outer cortical plate is segmented from the volume of the bone block from the cranial vault.

позиционирование костного блока в глазнице, наиболее точно соответствующее заданной плоскости дна глазницы (рис. 8, 9). Перемещение костного блока не ограничено пределами полости глазницы на модели и происходит с наложением на объем модели. Исходя из конфигурации объема костного блока и конфигурации расчетной плоскости дна глазницы, алгоритм вычисляет положение костного блока, при котором происходит максимальное пересечение объема блока и расчетной целевой плоскости дна глазницы (рис. 15).

Проводится контроль расположения блока в соответствии с участками дна глазницы, которые являются наиболее значимыми в определении положения глазного яблока. В первую очередь, это точка наибольшего сближения костной пластинки с нижним полюсом глазного яблока (рис. 16), область перехода дна глазницы в нижнеглазничный край. Данные аспекты не могут быть в полной мере учтены алгоритмом программы и требуют квалифицированного контроля со стороны инженера и хирурга. Поскольку в данном клиническом случае предполагается использовать два костных ауто трансплантата – на нижнюю и медиальную стенку глазницы, то точка наибольшего сближения медиальной стенки глазницы с экватором глазного яблока будет учтена отдельно при моделировании ауто трансплантата на внутреннюю стенку глазницы.

Когда окончательное положение костного блока определено, проводится формирование непосредственно костного ауто трансплантата. Достигнутое положение костного блока не только максимально точно соответствует целевой плоскости нижней стенки глазницы, но также является хирургически благоприятным, так как имеются широкие точки опоры по переднему, латеральному и заднему краю костного ауто трансплантата. Медиальный его край моделируется, исходя из особенностей строения медиальной стенки глазницы, и будет рассмотрен далее. В автоматическом режиме алгоритмом программы Amira 5.4.5. отсекаются все части костного блока, пересекающиеся с костными границами трехмерной модели глазницы, а также воздушными пространствами, так как на модели они приравнены по плотности. Выполнение данного этапа в автоматическом режиме позволяет не только рационализировать сам процесс моделировки, но и дает возможность с высокой точностью сформировать рельеф края будущего трансплантата. Такой подход значительно повышает точность его интраоперационного позиционирования за счет достижения высокой конгруэнтности контактирующих поверхностей, а также способствует консолидации ауто трансплантата в воспринимающем ложе (рис. 17).

Далее моделирование ауто трансплантата выполняется вручную при помощи редактора объемного изображения программы Amira 5.4.5. Отсекаются фрагменты кости, выходящие за пределы глазницы спереди, находящиеся в проекции сосудисто-нервного комплекса и мышц в дистальных отделах, а также по латеральному краю. Формируется костная выемка для слезоотводящих путей. Принцип работы ручного редактора объема представлен на рисунке 18.

При формировании медиального края костного ауто трансплантата учитывается тонкая структура внутренней стенки глазницы, а также ее взаиморасположение с полостями решетчатого лабиринта, что важно для формирования медиальных отделов ложа трансплантата в ране. С технической точки зрения интраоперационно попытка вплотную приблизиться к воздухоносным полостям, отграниченным от полости глазницы слизистой оболочкой, весьма затруднительна и может привести к формированию нежелательного сообщения с решетчатым лабиринтом. В данном случае, являющимся скорее исключением, рельеф и толщина медиальной стенки позволяет сделать это безопасно. Чаще же приходится вручную укорачивать медиальный край костного ауто трансплантата дна глазницы еще на этапе виртуального планирования для того, чтобы снизить риск перфорации медиальной стенки при его установке. В аналогичном данному случае, если планируется применение второго костного ауто трансплантата на медиальную стенку глазницы, незначительное укорочение медиального края ауто трансплантата дна глазницы не повлияет на точность достижения целевого объема глазницы. Опорные функции медиального края трансплантата не являются основополагающими, наличие точек опоры трансплантата в передних, латеральных и дистальных отделах достаточно для обеспечения его стабильности, однозначности позиционирования в ране и последующей консолидации. В результате этапов моделирования, в автоматическом и ручном режимах, получена виртуальная модель костного трансплантата, устраняющего дефект дна глазницы (рис. 19). Моделировка фиксирующего и позиционирующего паза для костного ауто трансплантата медиальной стенки будет рассмотрена далее.

Смоделированный костный ауто трансплантат возвращается в исходное донорское положение. Определена реальная топография ауто трансплантата на своде черепа (рис. 20). Отклонение от расчетной точки забора костного ауто трансплантата неизбежно влияет на изменение его кривизны и может послужить причиной погрешности в пространственном расположении точки наибольшего сближения с полюсом глазного яблока и, соответственно, на век-



Рис. 14 (Fig. 14)

Рис.14. Сегментированный костный блок наружной кортикальной пластинки со свода черепа в виде самостоятельного математического объекта, пригодного для дальнейшего проектного моделирования.

Fig. 14. Segmented bone block of the outer cortical plate from the cranial vault in the form of an independent mathematical object, suitable for further design modeling.

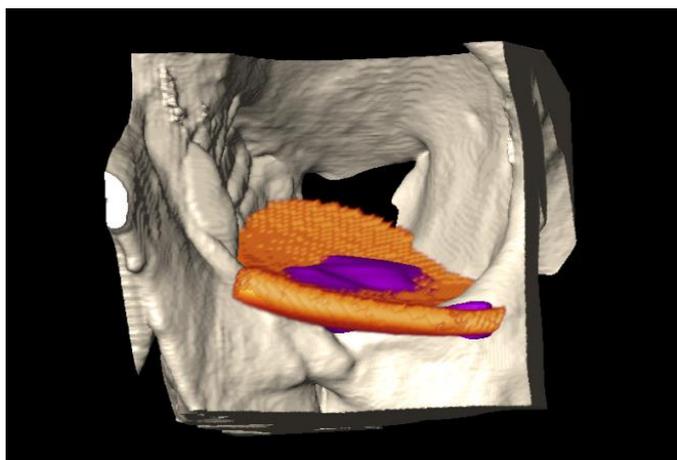


Рис. 15 (Fig. 15)

Рис.15. Этап перемещения и автоматизированного позиционирования костного блока в полости глазницы (оранжевым цветом обозначен костный аутографт, фиолетовым – расчетная плоскость).

Fig. 15. The stage of movement and automated positioning of the bone block in the cavity of the orbit. (orange color indicates a bone autograft, purple - the calculated plane).

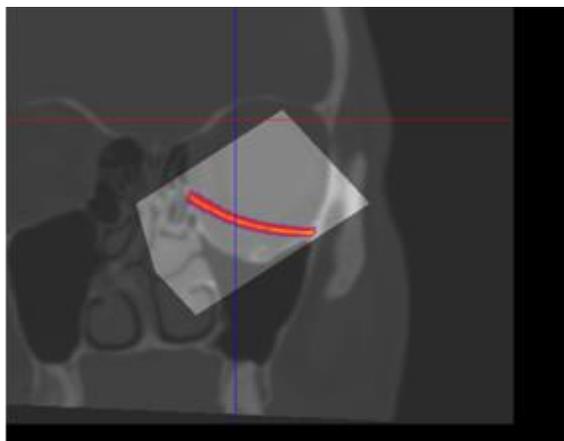


Рис. 16 а (Fig. 16 а)

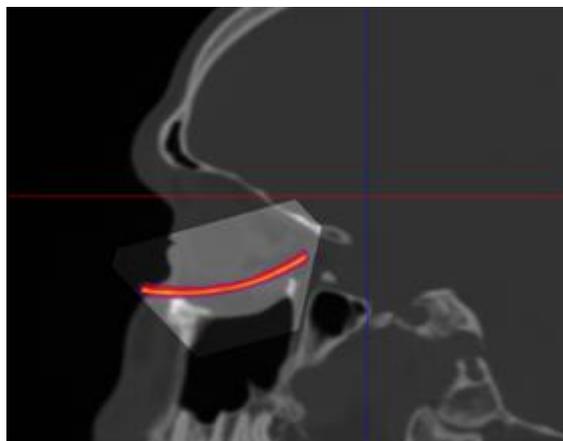


Рис. 16 б (Fig. 16 в)

Рис. 16. Результат контроля положения костного блока дна глазницы, при зеркальном отображении дна интактной глазницы на поврежденную.

а – Корональная плоскость; б – сагиттальная плоскость. Определяется точка максимального сближения с полюсом глазного яблока.

Fig. 16. The result of the control of the position of the bone block of the bottom of the eye socket, with the mirror image of the bottom of the intact eye socket on the damaged eye socket.

а – coronal view; б – sagittal view. The point of maximum closeness with the pole of the eyeball is determined.

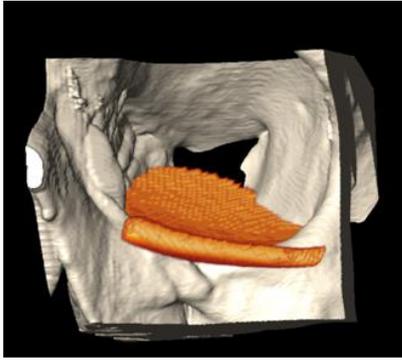


Рис. 17 (Fig. 17)

Рис. 17. Результат автоматизированного этапа моделирования костного аутографтата.

Fig. 17. The result of the automated stage of modeling the bone autograft.

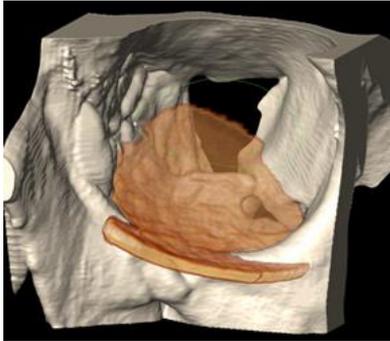


Рис. 18 а (Fig. 18 а)

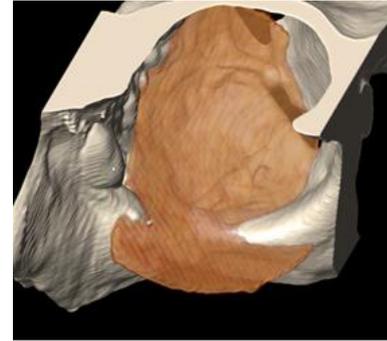


Рис. 18 б (Fig. 18 в)

Рис. 18. Моделирование аутографтата вручную при помощи редактора объема Volume Edit (место отсечения костного объема указано зеленой линией).

Fig. 18. Manually modeling the autograft using the Volume Edit Volume Editor. (the location of the bone volume is indicated by a green line).

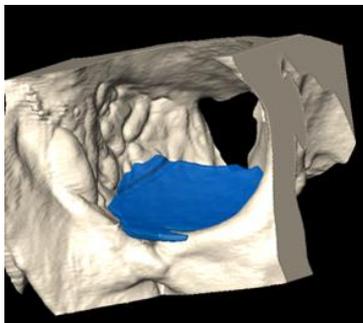


Рис. 19 (Fig. 19)

Рис.19. Трехмерная модель костного аутографтата дна глазницы.

Fig. 19. Three-dimensional model of the bone autograft of the bottom of the eye socket.

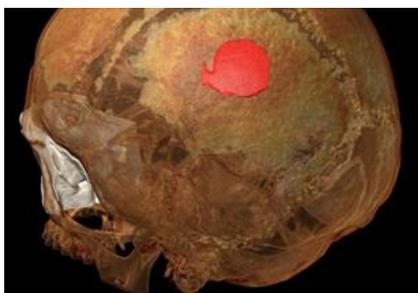


Рис. 20 а (Fig. 20 а)

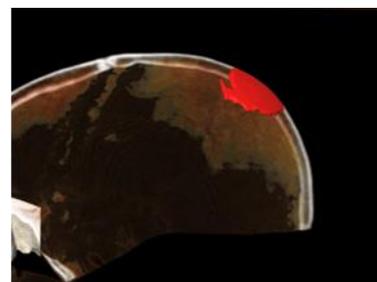


Рис. 20 б (Fig. 20 в)

Рис. 20. Топография костного аутографтата на своде черепа (указано красным цветом).

Fig. 20. Topography of the bone autograft on the cranial vault (indicated in red).

тор и степень репозиции глазного яблока в целом.

По аналогичной технологии выполняется виртуальный забор костного блока для реконструкции медиальной стенки, расчет целевой плоскости расположения костного аутотрансплантата медиальной стенки, виртуальное отделение наружной кортикальной пластинки и ее перенос в полость глазницы и затем позиционирование в соответствии с расчетной плоскостью. Дополнительно проводится корректировка плоскости аутотрансплантата с учетом точки максимального сближения с экватором глазного яблока (рис. 21).

После определения плоскости трансплантата по аналогичной технологии выполняется автоматизированное моделирование его краев – удаляется весь объем костного блока, пересекающийся с моделью глазницы. На рисунке 22 отображен результат этого этапа, а также взаиморасположение двух аутотрансплантатов в пространстве.

Так как необходимо учесть не только костные границы глазницы, но и располагающиеся в данной области анатомические структуры, то дальнейшее моделирование выполняется вручную при помощи редактора объема. Удаляется объем аутокости из области прохождения слезоотводящих путей. В данном клиническом случае костный аутотрансплантат практически не пересекается со слезоотводящими путями и сосудисто-нервными комплексами, потому костный аутотрансплантат со стадии автоматизированного моделирования практически без изменений будет установлен на место медиальной стенки глазницы.

Следующим этапом формируется позиционирующий и фиксирующий паз аутотрансплантата, устраняющего дефект дна глазницы для трансплантата на медиальную стенку. Для этого костные пластинки визуализированы отдельно от общей модели так, что аутотрансплантат дна отображен фантомно, то есть таким образом, что визуально видна его трехмерная конфигурация, но функция инструментаредатора объема VolumeEdit на него не распространяется. Таким образом, он служит визуальным ориентиром и не подвержен воздействию редактора. В проекции плоскости аутотрансплантата дна глазницы при помощи ручного редактора объема проведена линия, делящая его толщину пополам и по которой затем сформирован нижний край аутотрансплантата медиальной стенки (рис. 23). Далее в автоматическом режиме из объема аутотрансплантата дна глазницы удаляется объем пересекающегося с ним нижнего края аутотрансплантата медиальной стенки. При помощи редактора объема вручную адаптируются верхний, дистальный и передний края аутотрансплантата. Уда-

ляются тонкие фрагменты кости, которые не несут пластической, позиционирующей и фиксационной нагрузки, а также неизбежно будут потеряны на этапе создания стереолитографического шаблона.

На рисунке 24 представлено пространственное взаиморасположение костных аутотрансплантатов.

Определяется топография костных аутотрансплантатов на 3d-реконструкции свода черепа для интраоперационного позиционирования стереолитографических шаблонов при их заборе (рис. 25).

Окончательным этапом виртуального планирования является конвертация трехмерных моделей в файлы для 3d-печати и дальнейшее изготовление стереолитографических шаблонов.

Основные этапы операции.

Первым этапом выполняется забор и моделирование костных аутотрансплантатов, размеры и конфигурация которых заранее и точно рассчитаны. После выполнения доступа на свод черепа произведен забор костных аутотрансплантатов с использованием интраоперационных стереолитографических шаблонов (рис. 25, 26).

Далее выполнено их моделирование в соответствии с конфигурацией шаблонов и припасовка на стереолитографической модели черепа (рис. 27).

Посредством трансконъюнктивального разреза выполнен доступ к восстанавливаемым отделам глазницы. Отмечается патологическое сообщение полости глазницы с полостью верхнечелюстного синуса, в виду имеющегося обширного дефекта дна глазницы. Сформировано воспринимающее ложе для аутотрансплантатов дна и медиальной стенки глазницы. Костные аутотрансплантаты установлены в воспринимающее ложе в соответствии с виртуальной моделью. Положение аутотрансплантатов стабильное, фиксации не требует. Рана ушита послойно.

В раннем послеоперационном периоде выполнена контрольная КЛКТ, что также информативно для определения положения аутотрансплантатов (рис. 28).

Внешний вид пациента в раннем послеоперационном периоде (рис. 29), отмечается остаточный коллатеральный отек в области оперативного вмешательства.

Через 8 месяцев пациентка повторно консультирована, выполнена контрольная МСКТ. (Рис. 30, 31).

Результаты и их обсуждение.

При значительной степени смещения фрагментов скулоглазничного комплекса возникают показания для репозиции и металлоостеосинтеза. В большинстве случаев выраженное смещение фрагментов скуловой кости при-

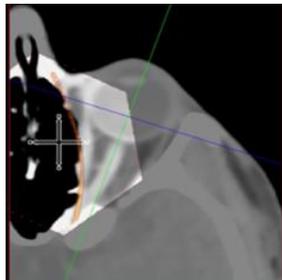


Рис. 21 а (Fig. 21 а)

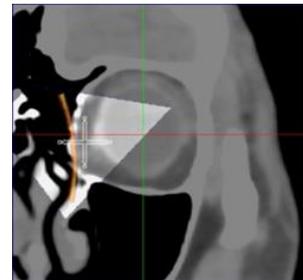


Рис. 21 б (Fig. 21 в)

Рис. 21. Результат контроля положения костного блока медиальной стенки, при зеркальном отображении здоровой глазницы на поврежденную.

а – аксиальная плоскость, б – корональная плоскость. Определяется точка максимального сближения с экватором глазного яблока.

Fig. 21. Result of monitoring the position of the bone block of the medial wall, when mirroring the healthy eye socket to the damaged orbital wall.

а – axial view; б – coronal view. The point of maximum closeness with the equator of the eyeball is determined.

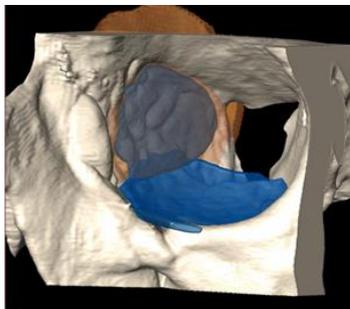


Рис. 22 а (Fig. 22 а)



Рис. 22 б (Fig. 22 в)

Рис. 22. Результат этапа автоматизированного моделирования костного аутографта медиальной стенки глазницы.

Синим цветом отображена конечная форма аутографта, вписанная в плоскость всей медиальной заготовки в полости глазницы (а) и пространстве (б).

Fig. 22. The result of the stage of automated modeling of the bone autograft of the medial wall of the orbit.

Blue shows the final shape of the autograft, inscribed in the plane of the entire medial preform in the cavity of the orbit (а) and space (b).

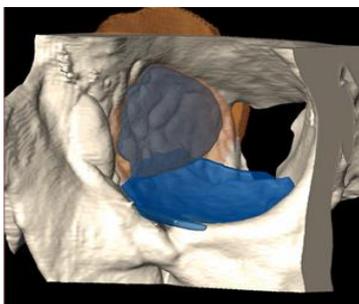


Рис. 23 а (Fig. 23 а)



Рис. 23 б (Fig. 23 в)

Рис. 23. а – Формирование фиксирующего паза костного аутографта дна глазницы и краев медиального аутографта; б – конечный результат манипуляции.

Fig. 23. а - Formation of the fixing groove of the bone autograft of the bottom of the orbit and the edges of the medial autograft; б – the final result of the manipulation.



Рис. 24 а (Fig. 24 а)

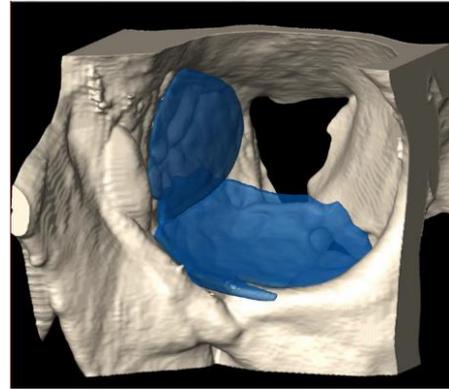


Рис. 24 б (Fig. 24 в)

Рис. 24. а – Окончательный вид костных аутографтов в пространстве; б – в полости глазницы.

Fig. 24. а – final form of bone autografts in space; б – in the cavity of the orbit.



Рис. 25 (Fig. 25)

Рис. 25. Топография костных аутографтов медиальной стенки и дна глазницы на своде черепа (обозначены красным цветом).

Fig. 25. Topography of the bone autografts of the medial wall and the bottom of the eye socket on the cranial vault (marked in red).



Рис. 26 а (Fig. 26 а)



Рис. 26 б (Fig. 26 в)

Рис. 26. Фотографии.

Забор костных аутографтов с применением стереолитографических шаблонов.

Fig. 26. Photo.

Sampling the bone autografts using stereolithographic patterns.



Рис. 27 (Fig. 27)

Рис. 27. Фотография.

Припасовка костных аутографтов на стереолитографической модели.

Fig. 27. Photo.

Adaptation of bone autografts on a stereolithographic model.

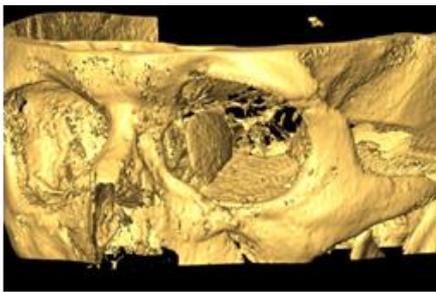


Рис. 28 а (Fig. 28 а)

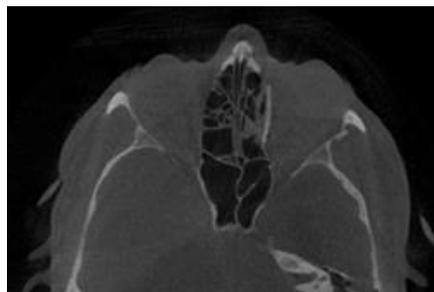


Рис. 28 б (Fig. 28 в)

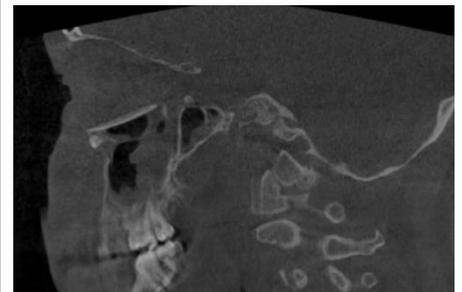


Рис. 28 в (Fig. 28 с)

Рис. 28. Контрольная КЛКТ в раннем послеоперационном периоде.

а – 3D-реконструкция; б – аксиальная плоскость; с – сагиттальная плоскость.

Fig. 28. Control CBCT in the early postoperative period.

а - 3D-reconstruction; b – axial view; c – sagittal view.



Рис. 29 а (Fig. 29 а)



Рис. 29 б (Fig. 29 в)

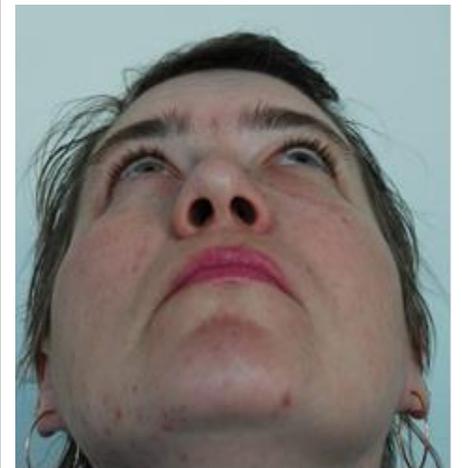


Рис. 29 в (Fig. 29 с)

Рис. 29. Фотографии. Внешний вид пациентки в раннем послеоперационном периоде.

а – Анфас; б – полупрофиль слева; с – подбородочно-лобная проекция.

Fig. 29. Photo. Appearance of the patient in the early postoperative period.

а – frontal view; б – left half-profile; с - chin-frontal view.

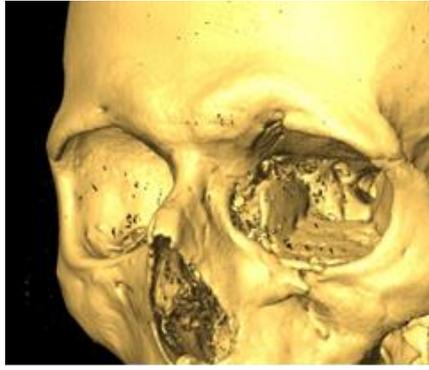


Рис. 30 а (Fig. 30 a)

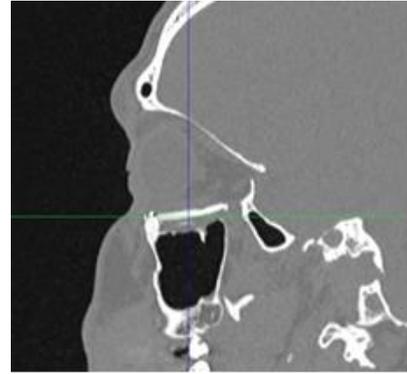


Рис. 30 б (Fig. 30 в)

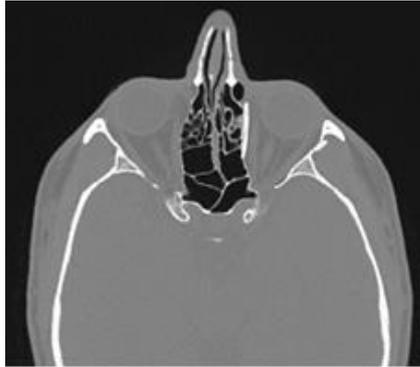


Рис. 30 в (Fig. 30 с)



Рис. 30 г (Fig. 30 d)

Рис. 30. Контрольная МСКТ в отдаленном послеоперационном периоде.

а – Трехмерная реконструкция; б – сагиттальная плоскость; с – корональная плоскость; d – аксиальная плоскость.

Fig. 30. Control MSCT in the remote postoperative period.

a – three-dimensional reconstruction; b – sagittal view; c – coronal view; d – axial view.



Рис. 31 а (Fig. 31 а)



Рис. 31 б (Fig. 31 в)



Рис. 31 в (Fig. 31 с)

Рис. 31. Фотографии.

Внешний вид пациента в отдаленном послеоперационном периоде. а – Анфас; б – полупрофиль слева; с – подбородочно-лобная проекция.

Fig. 31. Photos.

Appearance of the patient in the remote postoperative period. a – frontal view; b – left half-profile; c – chin-frontal view.

водит к развитию тяжелых функциональных нарушений таких, как ограничение открывания рта, ограничение боковых движений нижней челюсти. Ранний срок с момента травмы (до 4 недель) также является прямым показанием к выполнению репозиции и металлоостеосинтеза костных фрагментов. Репозицию костных фрагментов на ранних и поздних сроках после травмы стоит рассматривать отдельно по причине стратегически отличающихся подходов к планированию и самому хирургическому лечению. Сложный рельеф и текстура костных отломков на ранних сроках после травмы и, следовательно, их высокая конгруэнтность при репозиции позволяет выполнить точный остеосинтез. В контексте компьютерного планирования это дает возможность с высокой точностью прогнозировать результаты операции, прецизионно вычислить размеры и конфигурацию костных аутотрансплантатов. Принципиально отличается ситуация, когда с момента травмы прошел значительный период времени. Костные отломки подвергаются резорбции и порочной консолидации с их ремоделированием. В таких ситуациях к репозиции прибегают только в случае наличия функциональных нарушений, вызванных смещением костных отломков, которые были описаны выше. Наиболее точным протоколом предоперационного планирования и лечения в таких случаях является создание промежуточных стереолитографических шаблонов, определяющих позиционные параметры репозиции. Определяются данные параметры индивидуально, исходя из следующих факторов:

- степени костной резорбции отломков (чем более выражена резорбция, тем больше будет диастаз между правильно репонированными костными фрагментами)
- сглаженности рельефа конгруэнтных поверхностей (чем сильнее сглажен рельеф конгруэнтных поверхностей, тем меньше площадь консолидации отломков и количество визуальных ориентиров в ране)
- неизбежного повреждения порочно консолидированных костных фрагментов при остеотомии (ширина линии остеотомии), а также при выделении их из рубцовых тканей.

С учетом двух этапов операции (репозиции с последующим остеосинтезом и реконструкции стенок глазницы), планирующихся одновременно для последовательного выполнения в течение одного вмешательства возникает дополнительный фактор суммирующейся погрешности. В любом случае, точность прогнозирования метода относительно одноэтапной операции (устранение дефекта без репозиции) в такой ситуации снижается.

Для более точного понимания формирования показаний и противопоказаний к использованию того или иного пластического материала, а следовательно, и алгоритма планирования, следует рассмотреть подробнее преимущества и недостатки каждого из них. Особенности планирования операций с применением различных пластических материалов и тактик лечения отличаются и будут рассмотрены отдельно.

Костные аутотрансплантаты.

Расщепленный кортикальный костный аутотрансплантат со свода черепа.

Основным преимуществом данного пластического материала является его иммунная совместимость и, соответственно, низкий процент воспалительных осложнений при его применении. В условиях сообщения полости глазницы с верхнечелюстным синусом, следовательно, и с окружающей средой, данный аспект будет являться основополагающим. Его механическая прочность, возможность точно выполнить моделирование с учетом мельчайших деталей также дают возможность в высокой степени соответствовать расчетным параметрам при выполнении операции. В силу анатомических особенностей теменной донорской зоны имеется техническая возможность выполнить забор трансплантата большой площади. Низкая степень костной резорбции теменного кортикального аутографта даже в отдаленном периоде позволяет в значительной степени точно прогнозировать результаты операции (вставить ссылку на исследование по резорбции).

Наиболее значительным недостатком применения расщепленного костного аутотрансплантата со свода черепа является его геометрия – уплощенная форма, не позволяющая в полной мере воссоздать особенности архитектуры дна и стенок глазницы с их сложным рельефом, влияющим на положение глазного яблока. Наличие обширной донорской зоны при использовании костного аутографта со свода черепа для многих пациентов также является одной из основных причин для отказа от данного метода. Состояние костей свода черепа также определяет потенциал данного типа аутографта в каждом конкретном клиническом случае.

Ключевыми особенностями при выполнении расчетов костного аутографта является необходимость учитывать его плоскую форму и, по сути, сводится к взаимодействию костной пластинки с глазным яблоком лишь в точке их максимального сближения. Вектор перпендикуляра к плоскости аутотрансплантата и будет в основном определять направление смещения глазного яблока в сторону целевого положения. От него во многом зависит конечная форма и размер аутотрансплантата. Также ключевым моментом является количество и взаимораспо-

ложение точек опоры аутографта на костное основание реципиентной зоны. В практическом смысле этот фактор обеспечивает его стабильность, а также легкость и однозначность позиционирования аутотрансплантата в условиях реального операционного доступа.

Расщепленный костный аутотрансплантат с ветви нижней челюсти.

Обладает схожим рядом свойств с теменным аутотрансплантатом в отношении антигенного статуса и пластических свойств, а также невозможности точно формировать костную архитектуру костных границ глазницы. Среди отличительных преимуществ можно отметить, что донорская зона при заборе костного аутотрансплантата с ветви нижней челюсти значительно меньше. Однако есть и ряд недостатков данного типа аутографта. Доказана большая степень резорбции костной ткани в отдаленный период вследствие меньшей плотности компактного вещества кортикальной пластинки ветви нижней челюсти. Ограниченный объем аутотрансплантата также сужает область его применения при обширных повреждениях.

В контексте планирования не отличается от аутотрансплантата со свода черепа, однако имеет значительно большую склонность к резорбции.

Сетчатый титановый имплантат с полимерным покрытием.

Положительно отличается от костных аутографтов отсутствием донорского ущерба, что снижает объем операционной травмы и продолжительность наркоза, однако среди недостатков можно отметить повышенный риск возникновения септических осложнений при наличии сообщения с верхнечелюстным синусом. В силу своих физических свойств с большой вероятностью деформируется при установке в воспринимающее ложе после моделировки через ограниченный хирургический доступ.

При планировании позволяет рассчитывать на более сложную форму точки давления на глазное яблоко, а соответственно более рациональное формирование вектора движения глазного яблока к целевому положению и формирование точек опоры имплантата. Планирование сетчатого имплантата практически реализуется через создание трехмерного стереолитографического шаблона, по которому выполняется формирование рельефа и контуров титанового имплантата.

Силиконовый имплантат.

Имеет широчайший потенциал в отношении моделировки и предсказуемости результатов, позволяя воссоздать мельчайшие детали рельефа реконструируемой поверхности и выполнить смещение глазного яблока в необходимом направлении. Среди значительных недо-

статков можно отметить, что силиконовый имплантат неприменим в условиях сообщения полости глазницы с верхнечелюстной пазухой. Являясь инородным телом при значительном объеме имплантата, часто вызывает дискомфорт при контакте с холодом.

При планировании открывает наибольшие возможности в отношении воссоздания рельефа стенок глазницы, а также точного восполнения недостающего объема внутриглазничных мягких тканей. Особенности, необходимые к учету при планировании определяются свойствами самого материала. Большие его объемы создают дополнительный вес и часто ощущаются пациентом при резких движениях. Большое значение для стабильности силиконового имплантата имеет рельеф площади его основания. При достаточной его выраженности достигается стабильность имплантата в воспринимающем ложе, а также легкость его установки в технических реалиях ограниченного хирургического доступа. При использовании двухэтапного хирургического лечения гипознофтальма, на первом его этапе возможен превентивный учет этих факторов без ущерба для точности каждого этапа в отдельности.

Выводы.

Принимая во внимание результаты данного исследования, а также многолетний опыт Института в хирургическом лечении пациентов с травмами глазницы, можно обозначить наиболее важные факторы, определяющие его успешность. Фундаментальную роль, безусловно, играет понимание патанатомических и патофизиологических процессов, происходящих в глазнице в момент травмы, в процессе формирования посттравматической глазницы, а также на этапах оперативного лечения и в отдаленные сроки после них. Детальный анализ каждого конкретного клинического случая в отдельности с учетом механизмов травмы, а также последующих факторов, в посттравматическом периоде (осложнения течения, хирургический анамнез и его особенности и т.д.) позволяет максимально точно подходить к разработке индивидуальной тактики лечения, планированию операций и прогнозу их результатов. Применение данных мультиспиральной компьютерной томографии для диагностики, последующего проектного моделирования операций и технологий трехмерной печати позволяют не только просчитать конечный результат оперативного лечения, но и обозначить его основные этапы.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Неробеев А.И., Сельский Н.Е., Буцан С.Б., Хохлачев С.Б., Йигиталиев Ш.Н.У. Опыт лечения дефектов скуло-нослбно-орбитального комплекса, сопровождающихся посттравматической субатрофией или утратой глазного яблока. *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии.* 2011; 2: 8-18.
2. Кулаков А.А., Бутова В.Г., Чкадуа Т.З. Разработка критериев качества медицинской помощи в челюстно-лицевой хирургии. *Стоматология.* 2015; 2: 20-22.
3. Ашуев Ж.А., Базиев А.А., Лаптева А.Е. Медико-социальная деятельность при заболеваниях и травмах челюстно-лицевой области. *Вестник Всероссийского общества специалистов по медико-социальной экспертизе, реабилитации и реабилитационной индустрии.* 2015; 4: 12-20.
4. Chi M. J. et al. An analysis of 733 surgically treated blowout fractures. *Ophthalmologica.* 2009; 224 (3): 167-175.
5. Sangaeva L.M., Serova N.S., Vykliuk M.V., Bulanova T.V. Radiodiagnosis of injuries to the eye and orbital structures. *Vestn Rentgenol Radiol.* 2007; 2: 60-4.
6. Серова Н.С., Павлова О.Ю. Мультиспиральная компьютерная томография в оценке повреждений глазодвигательных мышц на до- и послеоперационном этапах лечения. *Диагностическая и интервенционная радиология.* 2017; 11 (3): 54-58.
7. Клинические рекомендации по диагностике и лечению пациентов с челюстно-лицевыми деформациями врожденного и приобретенного генеза. «Ассоциация челюстно - лицевых хирургов и хирургов - стоматологов». 2014.
8. Ходячий А. Е. и др. Сегментация костных и мышечных структур челюстно-лицевой области на этапе планирования реконструктивно-восстановительного лечения. *Стоматология.* 2015; 2: 20-22.

References:

1. Nerobeev A. I., Selskiy N.E., Butsan S. B., Khokhlachov S. B., Iigitaliev Sh. N. Experience in the treatment of defects of the zygoma-naso-fronto-orbital complex, accompanied by post-traumatic subatrophy or loss of the eyeball. *Annals of plastic, reconstructive and aesthetic surgery.* 2011; 2: 8-18 (in Russian).
2. Kulakov A.A., Butova V. G., Chkadua T. Z. Development of criteria of quality of medical care in maxillofacial surgery. *Stomatology.* 2015; 2: 20-22 (in Russian).
3. Ashuev J. A., Baziyeu A. A., Lapteva E. A. Medico-social activities in diseases and injuries of the maxillofacial region. *Bulletin of the all-Russian society of medical and social expertise, rehabilitation and rehabilitation industry.* 2015; 4: 12-20 (in Russian).
4. Chi M. J. et al. An analysis of 733 surgically treated blowout fractures. *Ophthalmologica.* 2009; 224 (3): 167-175.
5. Sangaeva L. M., Serova N. S., Vykliuk M. V., Bulanova T. V. Radiodiagnosis of injuries to the eye and orbital structures. *Vestn Rentgenol Radiol.* 2007; 2: 60-4.
6. Serova N. S., Pavlova O. Yu. Multispiral computed tomography in the assessment of damage to the oculomotor muscles at the pre-and postoperative stages of treatment. *Diagnostic and interventional radiology.* 2017; 11 (3): 54-58. (in Russian).
7. Clinical recommendations for the diagnosis and treatment of patients with maxillofacial deformities of congenital and acquired Genesis. "Association of maxillofacial surgeons and dental surgeons". 2014. (in Russian).

8. Khodiachiy A.E. et al. Segmentation of bone and muscle structures of the maxillofacial area at the planning stage of reconstructive treatment. *Dentistry.* 2015; 94 (6-2): 96-97. (in Russian).
9. Dubois L. et al. Controversies in orbital reconstruction—III. Biomaterials for orbital reconstruction: a review with clinical recommendations. *International journal of oral and maxillofacial surgery.* 2016; 45 (1): 41-50.
10. Sahoo N. et al. Comparative evaluation of autogenous calvarial bone graft and alloplastic materials for secondary reconstruction of cranial defects. *Journal of Craniofacial Surgery.* 2010; 21 (1): 79-82.
11. Yau G. S. K. et al. Postoperative enophthalmos correction and secondary midfacial reconstruction after complex orbital-maxillary fracture repair. *Asian J Ophthalmol.* 2015; 4: 088-092.
12. Guo L. et al. Reconstruction of orbital floor fractures: comparison of individual prefabricated titanium implants and calvarial bone grafts. *Annals of plastic surgery.* 2009; 63 (6): 624-631.
13. Prowse S. J. B. et al. Orbital floor reconstruction: a case for silicone. A 12-year experience. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery.* 2010; 63 (7): 1105-1109.
14. Salmi M. et al. Patient-specific reconstruction with 3D modeling and DMLS additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal.* 2012; 18(3): 209-214.
15. Буцан С.Б., Хохлачев С.Б., Йигиталиев Ш.Н., Заякин Я.А. Возможности 3D моделирования в реконструктивной хирургии глазницы. *Вестник офтальмологии.* 2012; 128 (2): 20-26.
16. Ходячий А.Е., Перфильев С.А., Надточий А.Г., Хохлачев С.Б. Проектирование послеоперационного облика челюстно-лицевой области пациента при реконструктивно-восстановительном лечении на основе данных МСКТ. *Онкохирургия, Материалы I Междисциплинарного конгресса по заболеваниям органов головы и шеи.* 2013; 5 (1): 149.

8. Khodiachiy A.E. et al. Segmentation of bone and muscle structures of the maxillofacial area at the planning stage of reconstructive treatment. *Dentistry.* 2015; 94 (6-2): 96-97. (in Russian).
9. Dubois L. et al. Controversies in orbital reconstruction—III. Biomaterials for orbital reconstruction: a review with clinical recommendations. *International journal of oral and maxillofacial surgery.* 2016; 45 (1): 41-50.
10. Sahoo N. et al. Comparative evaluation of autogenous calvarial bone graft and alloplastic materials for secondary reconstruction of cranial defects. *Journal of Craniofacial Surgery.* 2010; 21 (1): 79-82.
11. Yau G. S. K. et al. Postoperative enophthalmos correction and secondary midfacial reconstruction after complex orbital-maxillary fracture repair. *Asian J Ophthalmol.* 2015; 4: 088-092.
12. Guo L. et al. Reconstruction of orbital floor fractures: comparison of individual prefabricated titanium implants and calvarial bone grafts. *Annals of plastic surgery.* 2009; 63 (6): 624-631.
13. Prowse S. J. B. et al. Orbital floor reconstruction: a case for silicone. A 12 year experience. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery.* 2010; 63 (7): 1105-1109.
14. Salmi M. et al. Patient-specific reconstruction with 3D modeling and DMLS additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal.* 2012; 18(3): 209-214.
15. Butsan S. B., Khokhlachov S. B., Iigitaliev S. N., Zakin J. A. Possibilities of 3D modeling in reconstructive surgery of the orbit.

Bulletin of ophthalmology. 2012; 128 (2): 20-26. (in Russian).

16. Khodiachiy A. E., Perfiliev A. S., Nadtochiy A. G., Khokhlov S. B. Design of the postoperative appearance of the maxillo-facial region of a patient in a reconstructive treatment on the basis of MSCCT data. *Oncosurgery, Proceedings of the I Interdisciplinary Congress on diseases of the head and neck. 2013; 5 (1): 149. (in Russian).*