

DOI: <https://doi.org/10.57231/j.ao.2024.7.1.010>

УДК: 616.716.78/3-001-06-079.1-08]616.8

ОПЫТ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ И ДЕФОРМАЦИЙ КРАНИОФАЦИАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОПЕРАЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ)

Дудич О.Н.¹, Красильникова В.Л.², Осипович В.С.³, Малиновская И.И.⁴, Салех М.М.⁵

1. Кандидат медицинских наук доцент кафедры офтальмологии, УО «Белорусский Государственный медицинский университет», oksana_s20@mail.tu, <https://orcid.org/0009-0004-6554-3230>
2. Доктор медицинских наук, профессор кафедры офтальмологии, УО «Белорусский Государственный медицинский университет», krasilnikova_vik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5852-2616>
3. Кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной психологии и эргономики, ГУО «Белорусский государственный институт информатики и радиоэлектроники», seth22@yandex.by, <https://orcid.org/0000-0001-9658-286>
4. Кандидат медицинских наук доцент кафедры офтальмологии, УО «Белорусский Государственный медицинский университет», inna.malinovskaya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4850-3910>
5. Врач ординатор кафедры офтальмологии, УО «Белорусский Государственный медицинский университет», mohannadcaleh@gmail.com <https://orcid.org/0009-0002-3878-8887>

Актуальность. Актуальной задачей современной офтальмологии, челюстно-лицевой хирургии и нейрохирургии является повышение эффективности и качества хирургической помощи пациентам с посттравматическими дефектами и деформациями глазницы. **Цель исследования.** На клиническом примере продемонстрировать возможности разработанного программного средства на основе нейронной сети с использованием выходных данных МСКТ в формате DICOM в реконструктивной хирургии краниофациальной области. **Материалы и методы.** В представленном материале описывается клинический случай пациента с последствиями сочетанной черепно-челюстно-лицевой травмы. Исследование включало визометрию, биомикроскопию, статическую автоматическую периметрию на этапах наблюдения. МСКТ черепа выполнялось до операции и непосредственно после реконструкции глазницы. Для анализа распространённости травматического процесса в глазнице, моделирования индивидуального имплантата использовалось разработанное программное средство на основе нейронной сети с использованием выходных данных МСКТ в формате DICOM. **Результаты и заключение.** Применение разработанного программного средства на этапе преоперационного планирования позволяет оценить распространённость травматического процесса в глазнице, создать виртуальную трехмерную модель поврежденной глазницы с зоной дефекта, определить последовательность этапов одномоментного реконструктивно-восстановительного лечения при краниофациальной травме, смоделировать персонализированный имплантат. Применение аддитивных технологий позволяет хирургу получить тактильную трехмерную модель поврежденной зоны лицевого скелета и изготовить персонализированный имплантат, что значительно повышает качество хирургического лечения данной категории пациентов.

Ключевые слова: краниофациальная травма, преоперационное планирование, аддитивное производство, персонализированный имплантат.

Для цитирования:

Дудич О.Н., Красильникова В.Л., Осипович В.С., Малиновская И.И., Салех М.М. Опыт хирургического лечения посттравматических дефектов и деформаций краниофациальной области с использованием преоперационного планирования и аддитивных технологий (клинический случай). Передовая Офтальмология. 2024;7(1):57-63.

EXPERIENCE OF SURGICAL TREATMENT OF POST-TRAUMATIC DEFECTS AND DEFORMATIONS OF THE CRANIOFACIAL AREA USING PREOPERATIVE PLANNING AND ADDITIVE TECHNOLOGIES (CLINICAL CASE)

Dudich O.N.¹, Krasilnikova V.L.², Asipovich V.S.³, Malinouskaya I. I.⁴, Saleh M.M.⁵

1. PhD, Associate Professor of the Department of Ophthalmology, Belarusian State Medical University, oksana_s20@mail.tu, <https://orcid.org/0009-0004-6554-3230>
2. DSc, Professor of the Department of Ophthalmology, Belarusian State Medical University, krasilnikova_vik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5852-2616>

3. PhD, Associate Professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, seth22@yandex.by, <https://orcid.org/0000-0001-9658-286>

4. PhD, Associate Professor of the Department of Ophthalmology, Belarusian State Medical University, inna.malinovskaya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4850-3910>

5. Resident doctor of the Ophthalmology Department of the Belarusian State Medical University, mohannadcaleh@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3878-8887>

Relevance. An urgent task of modern ophthalmology, maxillofacial surgery and neurosurgery is to improve the efficiency and quality of surgical care for patients with post-traumatic defects and deformations of the orbit. The priority direction is the use of modern computer technologies that allow for virtual planning of reconstructive treatment and modeling of individual implants to restore the damaged area. **The purpose of the study.** This article is to demonstrate the capabilities of the developed software tool based on a neural network using MSCT output data in DICOM format in reconstructive surgery of the craniofacial region using a clinical example. **Materials and methods.** The presented material describes a clinical case of a patient with the consequences of a combined craniomaxillofacial injury. The examination included visual acuity, biomicroscopy, static automatic perimetry at the observation stages. MSCT of the skull was performed before surgery and immediately after orbit reconstruction. To analyze the prevalence of the traumatic process in the orbit and model an individual implant, the developed software tool based on a neural network using MSCT output data in DICOM format was used. **Results and conclusion.** The use of the developed software at the stage of preoperative planning allows to assess the prevalence of the traumatic process in the orbit, create a virtual three-dimensional model of the damaged orbit with the defect zone, determine the sequence of stages of one-stage reconstructive treatment for craniofacial trauma, and model a personalized implant. The use of additive technologies allows the surgeon to obtain a tactile three-dimensional model of the damaged area of the facial skeleton and manufacture a personalized implant, which significantly improves the quality of surgical treatment for this category of patients.

Key words: craniofacial injury, preoperative planning, additive manufacturing, personalized implants.

For citation:

Dudich O.N., Kraslinikova V.L., Asipovich V.S., Malinouskaya I.I., Saleh M.M. Experience of surgical treatment of post-traumatic defects and deformations of the craniofacial area using preoperative planning and additive technologies (clinical case). *Advanced ophthalmology*. 2024;7(1):57-63.

Актуальность. Глазница является наиболее восприимчивой к деструкции областью средней зоны лица. До 40% черепно-челюстно-лицевых травм сочетаются с переломами глазницы [5]. Офтальмологические осложнения, при травме средней зоны лица, приводят к резкому снижению качества жизни. [2,7].

Лечением таких пациентов традиционно занимаются представители смежных специальностей (офтальмологи, оториноларингологи, нейрохирурги, челюстно-лицевые хирурги), причем не всегда согласованно и, как следствие, эффективно [3,4]. Такое лечение может растягиваться на годы, а конечный результат часто не удовлетворяет пациента. Реабилитация пациентов с сочетанной черепно-лицевой травмой только одним узким специалистом, отвечающим за свой небольшой участок среди обширных повреждений черепа, часто не оправдывает надежд пациента. Выбор последовательности и преемственности проводимых узкими специалистами вмешательств зачастую не соответствуют степени и объёму разрушений. Отказ от реконструктивных вмешательств часто мотивируется лишь фактором наличия травмы мозга. Все это приводит к формированию стойких деформаций лицевого скелета, обрекая пациентов на последующее длительное хирургическое лечение не всегда с удовлетворительными результатами [3]. В поздние сроки после травмы развитие посттравматических изменений, а также уникальная трехмерная (3D) архитектура черепно-лицевого

скелета увеличивают сложность реконструкции этой области [7].

При одномоментном многоэтапном хирургическом вмешательстве у пациентов с краниофациальной травмой предшествующая реконструкция смежных с глазницей областей приводит к изменению формы и размера дефекта ее стенок. Субъективная оценка хирургом размеров костного дефекта на этапе реконструкции глазницы и эмпирическое интраоперационное моделирование имплантата не позволяют полноценно восстановить архитектуру глазницы, достичь «скелетного баланса» и, как следствие, предсказать полноту устранения функциональных расстройств и восстановление гармоничного внешнего вида пациента [1].

Современным подходом к реконструктивной хирургии краниофациальной области является использование индивидуального имплантата, созданного в процессе виртуального планирования и моделирования реконструктивного вмешательства. При этом использование аддитивного производства, в данном случае медицинской трехмерной печати, повышает качество предоперационного планирования хирургического вмешательства за счет изготовления трехмерной модели (прототипа) поврежденной зоны черепа в натуральную величину, что обладает очевидными преимуществами перед просмотром изображений на экране компьютера. Трехмерная модель, изготовленная на принтере, позволяет не только рассмотреть

анатомические особенности зоны повреждения конкретного пациента, но и провести симуляцию хирургического вмешательства и смоделировать форму индивидуального имплантата с учетом этапов хирургического лечения при сложных повреждениях краниофациальной области [3,6].

Однако при создании прототипа глазницы использование 3D реконструкции, полученной при проведении МСКТ, является нецелесообразным ввиду наличия значительных расхождений в расчетах показателей размеров и площади дефекта костных стенок глазницы с полученными при использовании 2D изображения и интраоперационно.

Для решения данной проблемы сотрудниками кафедры БГУИР разработано программное средство на основе выходных файлов МСКТ в формате DICOM (рПС), позволяющее в автоматическом режиме провести трехмерный анализ распространённости травматического процесса (определение объёма глазницы, вид и степень дистопии глазного яблока, размерно-геометрические размеры дефекта), провести виртуальное планирование реконструктивно-восстановительной операции, осуществить трехмерное моделирование индивидуального имплантата.

Материалы и методы. В представленном материале описывается клинический случай пациента с последствиями сочетанной черепно-челюстно-лицевой травмы. Обследование включало визометрию, биомикроскопию, статическую автоматическую периметрию на этапах наблюдения. Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) черепа выполнялось до операции и непосредственно после реконструкции глазницы. Для анализа распространённости травматического процесса в глазнице, моделирования индивидуального имплантата использовалось разработанное программное средство на основе нейронной сети с использованием выходных данных МСКТ в формате DICOM.

Цель исследования – на клиническом примере продемонстрировать возможности разработанного программного средства на основе нейронной сети с использованием выходных данных МСКТ в формате DICOM в реконструктивной хирургии краниофациальной области.

Результаты исследования. Представленный ниже клинический пример наглядно демонстрирует возможности использования разработанного программного средства и аддитивных технологий в реконструктивной хирургии глазницы.

Пациент Ш., 53 года, поступил в Городскую клиническую больницу скорой медицинской помощи г. Минска с последствиями сочетанной черепно-челюстно-лицевой травмы. Жалобы при поступлении на снижение зрения на стороне поражения, двоение, изменение прикуса, деформацию лобно-височной области и западение

глазного яблока. Внешний вид пациента при поступлении представлен на рисунке 1 А, Б. Из анамнеза известно, что травма получена в результате ДТП 6 месяцев назад. В районной больнице по экстренным показаниям, была выполнена первичная хирургическая обработка раны и удалены нежизнеспособные отломки височной и лобной костей.

При поступлении: острота зрения правого глаза 1,0, левого глаза 0,4 н/к. Ограничение подвижности глазного яблока вверх. Диплопия по вертикали преимущественно при взгляде прямо и кверху. Гипофтальм, энофтальм слева. Реакция зрачков на свет сохранена. По данным АСП, на момент обращения у пациента на стороне поражения имеется значительное снижение светочувствительности, сопровождающееся скотомами в обоих полуполях с преимущественным поражением верхнего полуполя, снижение индекса поля зрения до 65%. Это свидетельствует о наличии посттравматической нейропатии левого глаза (рис.1 В, Г).

При проведении МСКТ черепа выявлены: множественные переломы костей свода и основания черепа слева с обширными дефектами височной и лобной костей; протяженные костные дефекты нижней и латеральной стенок левой глазницы (перелом скулоорбитального и скулоэтноидального комплексов); втяжение нижней и латеральной прямых мышц левого глаза в зоны костных дефектов; рубцовые изменения в экстраокулярной клетчатке; натяжение зрительного нерва в области вершины глазницы слева на фоне смещения глазного яблока в ВЧП слева (рис.1 Д-Л).

На основании жалоб, анамнеза, данных клинического осмотра и рентгенологического обследования выставлен диагноз: перелом скулоглазничного комплекса III типа слева, перелом назоорбитоэтноидального комплекса, посттравматический дефект височной и лобной кости, основания передней черепной ямки слева.

Показанием к хирургическому лечению пациента, обратившегося спустя 6 месяцев после травмы, являлось наличие выраженных эстетических дефектов (гипофтальм, энофтальм, асимметрия и деформация лица), а также функциональные расстройства в виде диплопии, травматической нейропатии зрительного нерва, нарушения процесса жевания.

Процесс предоперационного виртуального планирования реконструктивной операции с использованием рПС включал следующие последовательные этапы:

1. расчет в автоматическом режиме показателей распространённости травматического процесса в глазнице: волюметрические параметры (объём повреждённой (V_{пр}) 38,5 см³ и объём интактной глазницы (V_{иг}) – 27,5 см³),

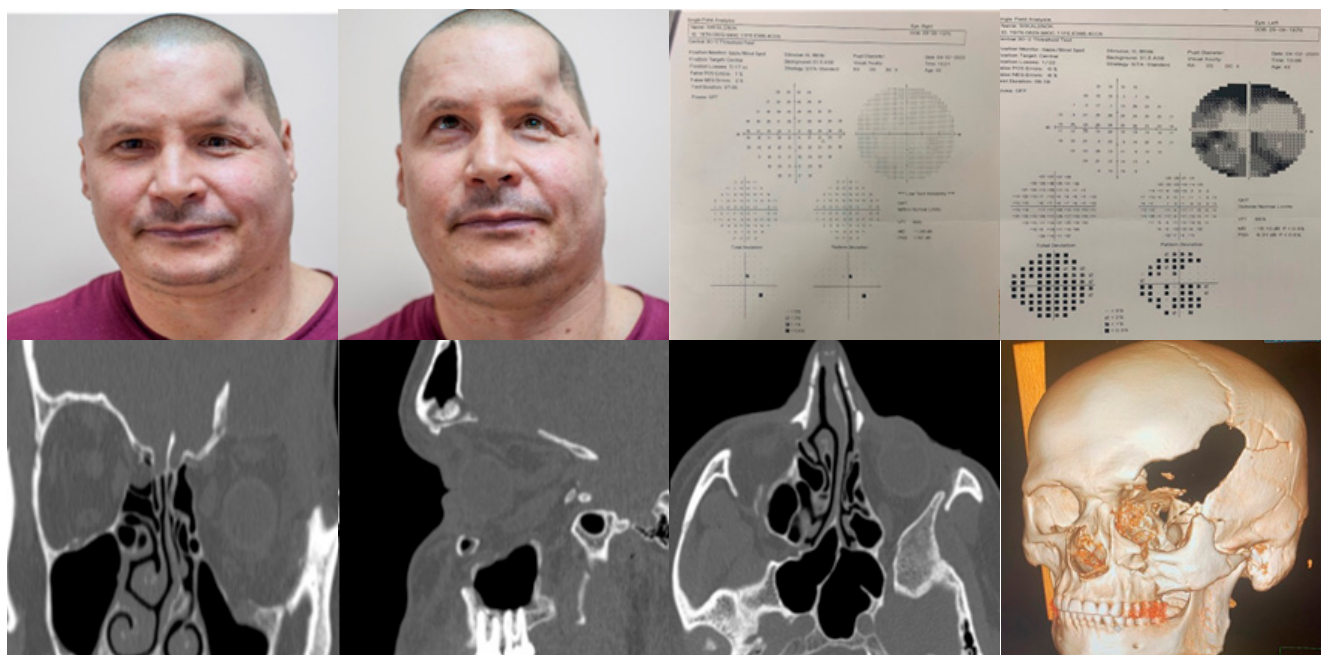


Рисунок 1 Внешний вид пациента, данные АСП и МСКТ до операции А, Б – внешний вид пациента при поступлении; В, Г – результаты АСП пациента Ш. до операции (В-правый глаз, Г-левый глаз). МСКТ до операции: Д – коронарная проекция, И – сагиттальная проекция, К – аксиальная проекция. Л – трехмерная реконструкция черепа: перелом скулоглазничного комплекса III типа слева, перелом назоорбитоэтмоидального комплекса типа, посттравматический дефект височной и лобной кости, основания передней черепной ямки слева.

степень дистопии глазного яблока (гипофтальм – 5,1 мм, что соответствует III степени, энофтальм – 3,8 мм – II степень);

2. создание трехмерной модели черепа пациента с имеющимися костными дефектами и деформациями (рис.2 А);

3. виртуальная репозиция костных фрагментов скуловой кости, с учетом зон остеотомий, в анатомически правильное положение (рис.2Б);

4. определение истинных границ дефекта глазницы после репозиции костных фрагментов скуловой кости, послойное построение

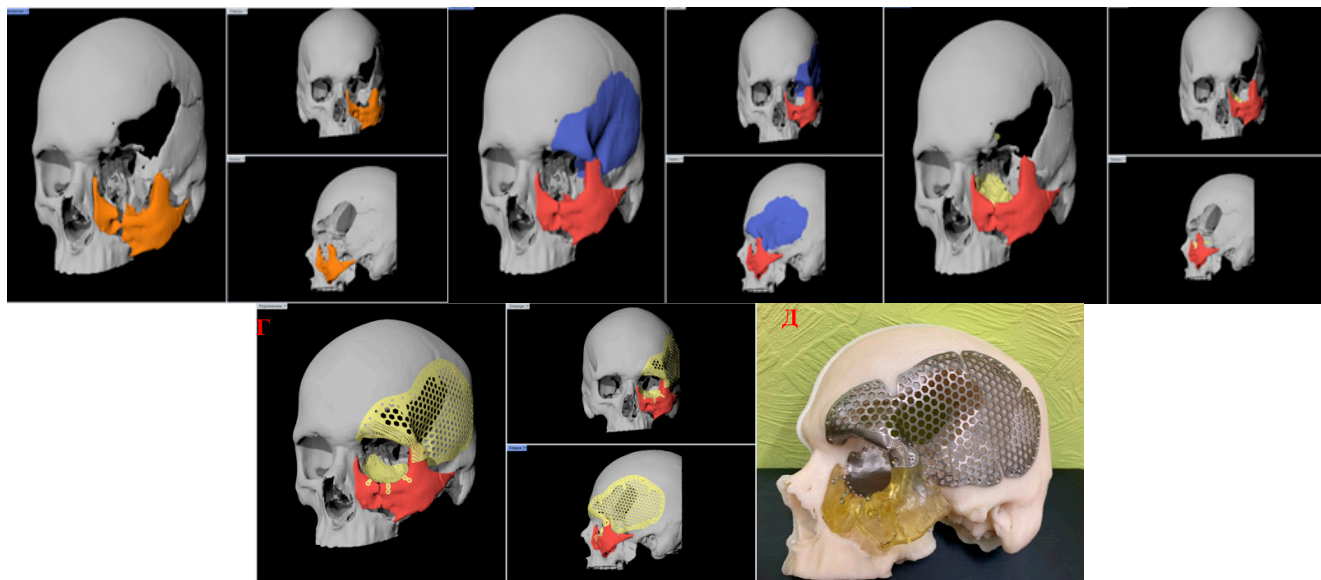


Рисунок 2 – Этапы предоперационного виртуального планирования реконструктивной операции. А – 3D модель черепа пациента с имеющимися костными дефектами и деформациями; Б – 3D модель черепа пациента после виртуальной репозиции костных фрагментов скуловой кости в анатомически правильное положение; В, Г – определение границ костного дефекта, моделирование индивидуального имплантата, определение ретенционных точек фиксации. Моделирование имплантата в области мозгового черепа; Д – прототип черепа пациента, индивидуальные титановые имплантаты.

трехмерной модели дефекта глазницы и создание на ее основе трехмерной модели индивидуального имплантата, четко соответствующего размерно-геометрическим параметрам костного дефекта, определение ретенционных точек фиксации имплантата (рис.2В);

5. моделирование имплантата в области мозгового черепа с использованием принципа «зеркального» отражения (перемещение и наложение конгруэнтных участков с интактной стороны на зону повреждения (рис.2Г);

6. производство с использованием трехмерной печати прототипа черепа пациента в натуральную величину, прототипа костного дефекта глазницы и производство индивидуальных имплантатов из титана (рис.2Д).

Реконструктивно-восстановительное лечение проводилось одномоментно бригадой врачей в составе: нейрохирург, челюстно-лицевой хирург и офтальмолог. Основные этапы операции представлены на рисунке 3.

Технически данная операция выглядела следующим образом: на первом этапе использовался субциллиарный доступ, выполнена остеотомия костных отломков нижней и медиальной стенок глазницы, произведена репозиция экстраокулярных тканей из ВЧП.

Следующим этапом произведено репонирование скуловой кости. Для этого преддверным доступом в проекции от 22 до 26 зуба хирургическим молотком и костным долотом выполнена остеотомия по скулоальвеолярному гребню, латеральному краю грушевидного отверстия и скуловой дуги до мобильности отломков. Накостный остеосинтез выполнялся титановыми минипластинами от периферии к центру: по скулоальвеолярному гребню, передней стенке верхнечелюстной пазухи, нижнему краю глазницы.

После того, как скуловая кость была репонирована и фиксирована в анатомически правильном положении, произведена установка индивидуального титанового имплантата, устраняющего костный дефект глазницы, который фиксирован согласно запланированным ретенционным точкам микровинтами.

На заключительном этапе оперативного вмешательства была проведена установка индивидуального титанового имплантата на область посттрепанационного дефекта левой лобной и височной костей, который фиксирован к костям черепа 5 титановыми микровинтами по заранее заданным точкам.

Наличие в операционной 3D модели черепа пациента позволяло осуществлять визуальный контроль за точностью запланированного положения имплантатов. Особенно в условиях ограниченной видимости при реконструкции глазницы, когда четкое совпадение изгибов гаптических элементов имплантата с профилем изгиба

подглазничного края в меридианах предполагаемой фиксации свидетельствует о точности расположения имплантата.

Послеоперационный период протекал без выраженных явлений воспаления.

Внешний вид пациента через неделю после операции представлен на рисунке 4 А, В.

Согласно данным объективного осмотра острота зрения правого глаза составила 1,0; левого 0,4 н/к. Ограничение подвижности глазного яблока кверху на 1-2 мм. В первые сутки после операции наблюдалось усиление двоения. Однако спустя 6 месяцев после операции остаточное двоение сохранялось лишь в крайнем верхнем отведении, что не ограничивает профессиональную и повседневную деятельность пациента.

Анализ данных АСП до и после операции показал, что улучшились показатели светочувствительности зрительной системы, повысился индекс поля зрения с 65% до 85%, однако сохраняется значительный дефект в нижнем полуполе, что является последствием травматической нейропатии. Результаты сравнения АСП левого глаза пациента до и после операции представлены на рисунке 4 В, Г.

Согласно данным МСКТ, после операции дефект костей свода черепа слева перекрыт перфорированной пластиной, максимально восстановлена анатомическая форма костей скулоорбитального комплекса и лобной кости. По форме и размеру имплантат в области глазницы перекрывает всю зону костного дефекта, изгиб пластины максимально повторял анатомическую форму нижней стенки.

Степень энофтальма и гипофтальма левого глаза, по данным рГС, значительно уменьшилась и составила 1,2 мм и 2,3 мм соответственно, что соответствует I степени и не является клинически значимой (до операции гипофтальм 5,1 мм, энофтальм 3,8 мм). Объем реконструированной глазницы, приблизился к значениям интактной (Vиг – 27,5 см³) и составил 29,1 см³.

Натяжение зрительного нерва на момент проведения исследования не определялось (зрительный нерв равномерной толщины на всем протяжении) (рис. 4 И).

Устранение нарушений со стороны органа зрения, грубой деформации лица, а также восстановление физиологического прикуса позволяет говорить об одномоментном решении как функциональных, так и эстетических проблем. Достигнутый результат удовлетворил пациента.

Заключение. Таким образом, применение, разработанного программного средства на основе нейронной сети с использованием выходных данных МСКТ в формате DICOM на этапе предоперационного планирования реконструктивной операции у пациентов с травмами

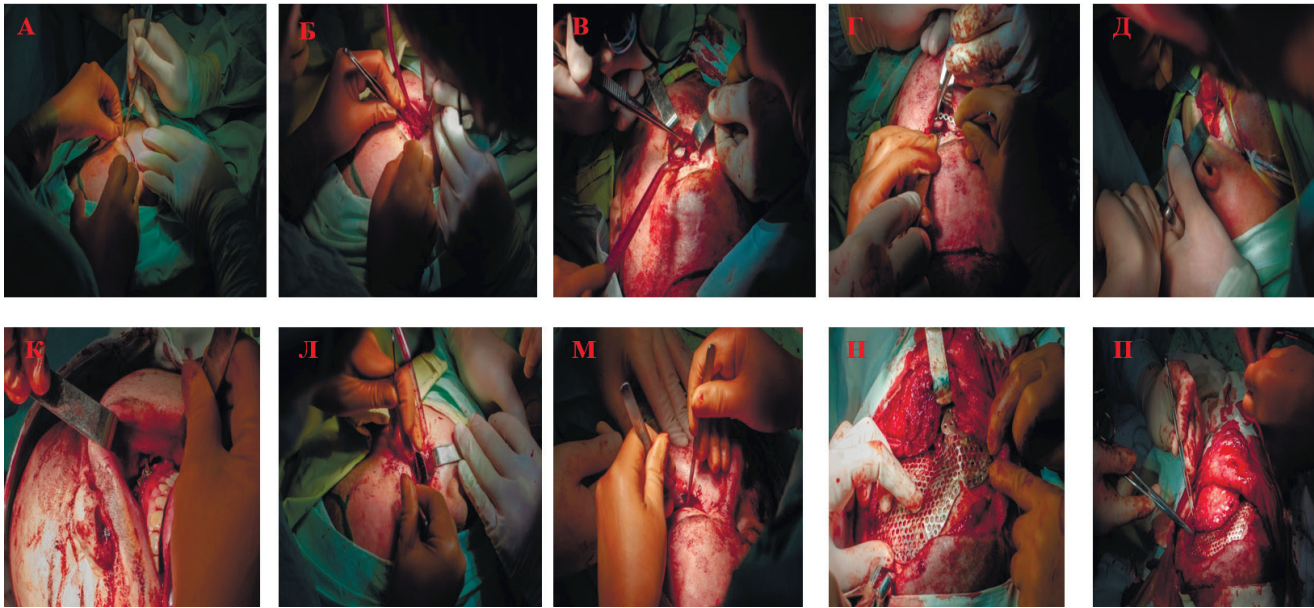


Рисунок 3 – Этапы реконструктивно-восстановительного лечения. А,Б – формирование субциллиарного доступа; В,Г,Д,К – остеосинтез скуловой кости; Л,М – установка и фиксация индивидуального титанового имплантата на нижнюю стенку глазницы; Н,П – закрытие посттравматического дефекта лицевого и мозгового отделов черепа

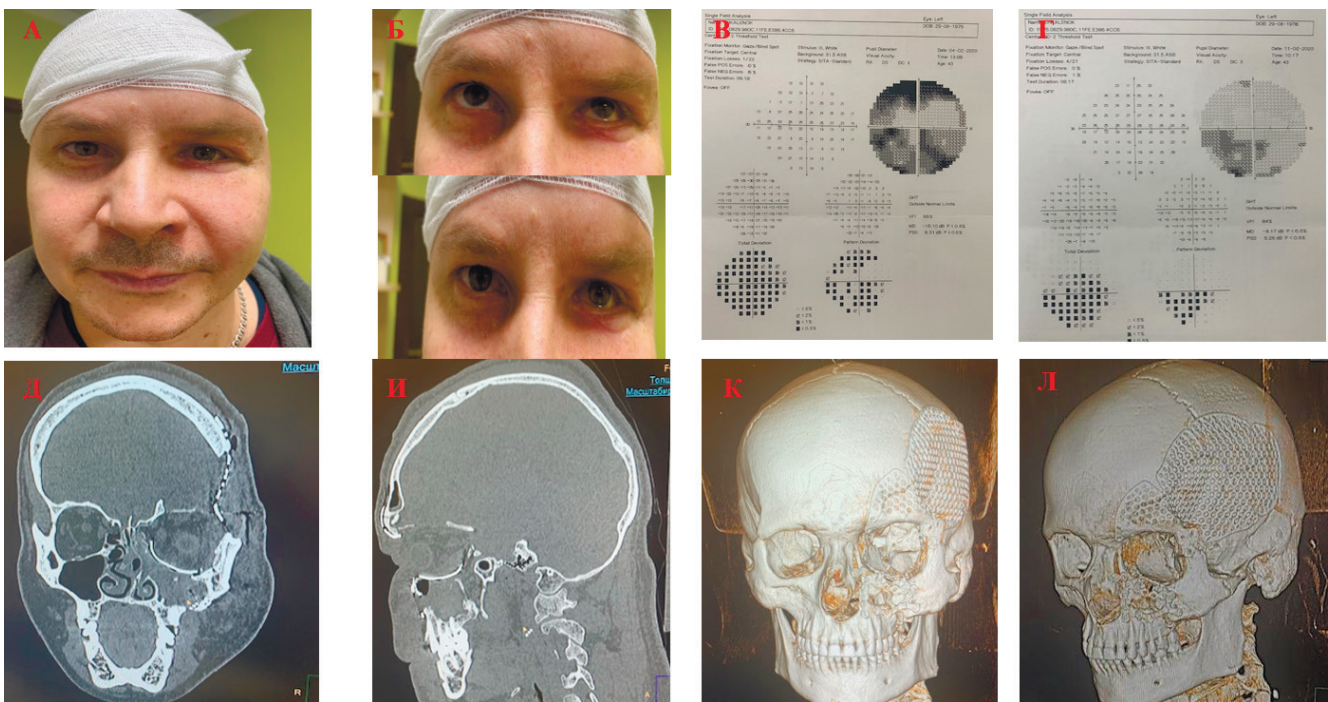


Рисунок 4 Внешний вид пациента, данные АСП и МСКТ после операции. А, Б – внешний вид пациента через 7 суток после операции. Результаты АСП пациента Ш. В – левый глаз до операции, Г – левый глаз после операции; МСКТ пациента Ш. до операции: Д – коронарная проекция, И – сагиттальная проекция, К, Л – 3D реконструкция черепа, положение имплантатов.

глазницы позволяет провести трёхмерный анализ травматического процесса, включающий определение волюметрических параметров глазницы, вид и степень дистопии глазного яблока, площадь костного дефекта, а также позволяет построить виртуальную трехмерную модель поврежденной глазницы с зоной дефекта и трехмерную модель самого дефекта, определить последовательность этапов одномоментного реконструктивно-вос-

становительного лечения при черепно-лицевых повреждениях, смоделировать персонализированные имплантаты. Использование аддитивных технологий (3D печать) на этапе предоперационного планирования позволяет хирургу получить тактильную трехмерную модель черепа в натуральную величину с имеющимися повреждениями, дает возможность изучить особенности зоны повреждения, изготовить

персонализированный имплантат, а также контролировать положение имплантатов в процессе операции.

Применение персонализированных имплантатов способствует эффективной функцио-

нальной и эстетической реабилитации пациентов со сложными посттравматическими дефектами и деформациями краниофациальной области.

ЛИТЕРАТУРА /REFERENCE

1. Елочиан С.А. Пластика сложных дефектов черепа имплантатами из титана и полиэтерэтеркетона (PEEK), изготовленными по CAD/CAM технологиям. Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. 2014;(4): 3-12. [Eolchiyan, S.A. Complex skull defects reconstruction with CAD/CAM titanium and polyetheretherketone (PEEK) implantsю. –Burdenko’s Journal of Neurosurgery. – 2014;(4): 3-12.
2. Крохмаль С.В., Карпов А.С., Раевская А.И., Калоев А.Д., Апагуни А.Э., Шевченко П.П. Факторы, приводящие к возникновению челюстно-лицевой травмы и к ее осложнениям. Современные проблемы науки и образования. – 2020.– №5. [Krokhmal S.V., Karpov A.S., Raevskaya A.I., Kaloev A.D., Apaguni A.E., Shevchenko P.P. Factors leading to the occurrence of maxillofacial injury and its complications. – Modern Problems of Science and Education. Surgery. – 2020.– №5] DOI 10.17513/spno.30194.
3. Николаенко А.Н/ Применение 3d-моделирования и трехмерной печати в хирургии (обзор литературы). Медлайн.ru. – 2018;19: 20-44. [Nikolaenko A.N. Application of 3d modeling and three-dimensional printing in surgery (review of literature). – Medline.ru. – 2018;19: 20-44./http://medline.ru/public/art/tom19/art2.html
4. Тураева Ё.М., Максудова Л.М. Травмы зрительного анализатора при различной локализации краниоорбитального повреждения. Современные технологии в офтальмологии 2022;(3): 261-263. [Turaeva Y.M., Maksudova L.M. Injuries of the visual analyzer with different localization of Cranioorbital injury. – Modern technologies in ophthalmology. – 2022;(3): 261-263] DOI: https://doi.org/10.25276/2312-4911-2022-3-261-263.
5. Rana M., Moellmann H. L., Schorn L., Lommen J. Primary Orbital Reconstruction with Selective Laser Melting (SLM) of Patient-Specific Implants (PSIs): An Overview of 96 Surgically Treated Patients. J. Clin. Med. 2022; 11(12): 3361. https://doi.org/10.3390/jcm11123361.
6. Sabelis J .F., Schreurs R., Essig H., Becking A.G., Dubois L. Personalized Medicine Workflow in Post-Traumatic Orbital Reconstruction /J .F. Sabelis, R. Schreurs, H. Essig, A.G. Becking, L. Dubois// J Pers Med.2022 Sep; 12(9): 1366.doi:10.3390/jpm12091366.
7. Sigron G. R. , Barba M. , Chammartin F, Msallem B., Berg B.-I., Thieringer F. M. Functional and Cosmetic Outcome after Reconstruction of Isolated, Unilateral Orbital Floor Fractures (Blow-Out Fractures) with and without the Support of 3D-Printed Orbital Anatomical Models .J Clin Med. 2021; 10(16): 3509. doi:10.3390/jcm10163509.

Конфликт интересов отсутствует.