

Терещук С.В., Иванов С.Ю., Корабельников Д.И., Сухарев В.А.

© Коллектив авторов, 2019

УДК: [617-089.844:617.52]:616-74

DOI: 10.35571/RMSJ.2019.2.003



Опыт применения аддитивных технологий для реконструктивных операций в челюстно-лицевой хирургии

Терещук С.В.¹, Иванов С.Ю.², Корабельников Д.И.³, Сухарев В.А.¹

¹ ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» МО РФ; Госпитальная пл., 3, Москва, 105094, Россия;

² ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России («Сеченовский Университет»), ул. Трубецкая д. 8, стр. 2, Москва, 119992, Россия;

³ АНО ДПО «Московский медико-социальный институт имени Ф.П. Гааза»; 2-ая Брестская ул., д. 5, Москва, 123056, Россия.

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Современная техника позволяет не только виртуально планировать реконструктивную операцию, но, также, по результатам планирования, изготавливать шаблоны для выполнения резекции и остеотомии, а также индивидуальные реконструктивные пластины из титана.

Целью данной статьи являлся анализ результатов применения аддитивных технологий для планирования и выполнения реконструктивных операций в Центре челюстно-лицевой хирургии и стоматологии ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н.Бурденко».

Материалы и методы. В период с 2007 года по 2017 год в центре челюстно-лицевой хирургии и стоматологии было выполнено 144 операции по устранению дефектов костей различной локализации. В большинстве случаев - 93% (136 пациентов) отмечались дефекты костей лицевого скелета и свода черепа. В двух случаях требовалось устранить дефект ключицы, в одном случае - дефект ладьевидной кости, в одном случае дефект лучевой кости, в двух случаях - дефект плечевой кости, в двух случаях - дефект бедренной кости.

Результаты. Для устранения дефектов в 87% случаев (125 пациентов) использовали ревааскуляризированные ауто-трансплантаты, в 13% случаев (19 пациентов) - аллопластические материалы. Аддитивные технологии использовали в 85% (n=123) случаев для планирования операции по устранению дефектов, а также для изготовления хирургических моделей и шаблонов. Приведены клинические случаи в качестве примеров использования аддитивных технологий для планирования реконструктивных операций по устранению костных дефектов различной локализации.

Частота послеоперационных осложнений в группе пациентов с дефектами костей лицевого скелета и свода черепа, которым проводили оперативные вмешательства с использованием шаблонов, составила 26%, в том числе малых осложнений - 17,5%, больших - 8,5%. Среди малых осложнений преобладали гематомы (5%) и нагноения (5%) реципиентной раны, реже аналогичные осложнения - гематомы (4%) и нагноения (3%) донорской раны. Большие осложнения были представлены случаями полного (4%) или частичного (5%) некроза трансплантата.

При оперативных вмешательствах без шаблона потребовалось достоверно больше среднего времени забора и формирования трансплантата ($212 \pm 18,7$ мин), чем при операциях с шаблоном, в том числе с направителем для сверления ($136 \pm 12,6$ мин, $p < 0,001$) и без направителя для сверления ($160 \pm 16,3$ мин, $p < 0,001$).

Заключение. Применение в ходе реконструктивных операций хирургических моделей и шаблонов сокращает время самой операции и уменьшает число послеоперационных осложнений.

Ключевые слова: аддитивные технологии, виртуальное хирургическое планирование, прототипирование, реконструктивная хирургия, челюстно-лицевая хирургия, нижняя челюсть, малоберцовый трансплантат, послеоперационные осложнения.

Для корреспонденции: Терещук Сергей Васильевич, e-mail: tereschuksv@gmail.com

Для цитирования: Терещук С.В., Иванов С.Ю., Корабельников Д.И., Сухарев В.А. Применение аддитивных технологий для реконструктивных операций в челюстно-лицевой хирургии // Российский медико-социальный журнал. 2019. N2. С. 29-39. doi: 10.35571/RMSJ.2019.2.003

© Authors, 2019

DOI: 10.35571/RMSJ.2019.2.003



The use of additive technologies in reconstructive maxillofacial surgery

Sergey V. Tereshchuk¹, Sergey Yu. Ivanov², Daniil I. Korabelnikov³, Vladimir A. Sukharev¹

¹ Burdenko Main Military Clinical Hospital; 3, Gospitalnaya square, Moscow, 105229, Russian Federation;

² Sechenov First Moscow State Medical University; 8/2, Trubetchkaya st., Moscow, 119991, Russian Federation;

³ Moscow Haass Medical and Social Institute; 2nd Brestskaya Str., 5, Moscow, 123056, Russian Federation;

ABSTRACT

Introduction. Modern technologies make it possible not only to plan reconstructive surgery virtually, but also to manufacture templates for resection and osteotomy, customized titanium plates based on the results of planning.

Objective. To analyze the results of application of additive technologies for planning and performing reconstructive operations in the Maxillofacial Surgery and Stomatology Center at Burdenko Main Military Clinical Hospital

Patients and Methods. 144 operations to eliminate different locations bone defects were performed in the Maxillofacial Surgery and Stomatology Center in 2007 - 2017. 136 patients (93%) had defects of the bones of the facial skeleton and the skull calvarium. In other cases, there were defects of the clavicle (2 patients), defects of the femur (2 patients), defects of the humerus (2 patients), a defect of the radius (1 patient), a defect of the navicular bone (1 patient).

Results. Flaps were used to close the defects in 87% of cases (125 patients), and alloplastic implants were utilized in 13% of cases (19 patients). Additive technologies were used in 85% (n = 123) cases for planning the operation to eliminate defects, as well as for manufacturing surgical models and templates. Clinical cases are considered as examples of the use of the additive technologies for planning and performing reconstructive operations to close bone defects of different locations.

The incidence of postoperative complications in the group of patients with facial skeleton and cranial vault bones defects who underwent surgical interventions using templates was 26%, including minor complications - 17.5%, large - 8.5%. Among minor complications, hematomas (5%) and suppuration (5%) of the recipient wound prevailed, less often similar complications were hematomas (4%) and suppuration (3%) of the donor wound. Large complications were represented by cases of complete (4%) or partial (5%) transplant necrosis.

During surgical interventions without a template, it took significantly longer than the average time of grafting and graft formation (212 ± 18.7 min) than during operations with a template, including with a guide for drilling (136 ± 12.6 min, $p < 0.001$) and without a guide for drilling (160 ± 16.3 min, $p < 0.001$).

Conclusion. The use of surgical models and templates during reconstructive operations shortens the time of the operation and reduces the number of postoperative complications.

Key words: Computer Simulation, Computer-Aided Design, Prototyping, Fibula Transplantation, Free Tissue Flaps, Maxillofacial Surgery, Mandibular Reconstruction methods, Postoperative Complications.

For correspondence: *Sergey V. Tereshchuk*, e-mail: tereschuksv@gmail.com

For citation: Tereshchuk SV, Ivanov SYu, Korabelnikov DI, Sukharev VA. The use of additive technologies for reconstructive maxillofacial surgery. *Russian Medical and Social Journal*. 2019;1(2):29-39. (In Russ.). doi: 10.35571/RMSJ.2019.2.003

Список сокращений

ВХП – виртуальное хирургическое планирование
КЛИКТ – конусно-лучевая компьютерная томография
МСКТ – мульти-спиральная компьютерная томография
УЗДС – ультразвуковое дуплексное сканирование

ИПЛИТ РАН- Институт проблем информационных и лазерных технологий Российской академии наук
ЛСОИ - лаборатории средств отображения информации
СОПР – слизистая оболочка полости рта

Введение

Основная цель реконструктивной хирургии челюстно-лицевой области заключается в максимальном восстановлении функции и внешности пациента. Высокотехнологичные методы реконструктивной хирургии могут быть предпочтительнее, чем традиционные, если в большей степени отвечают этим требованиям [1]. Виртуальное моделирование операции на челюстно-лицевой области в значительной степени сокращает время операции и увеличивает точность ее исполнения [2,3]. Современная техника позволяет не только планировать реконструктивную операцию виртуально, но также, по результатам планирования, получать шаблоны для выполнения резекции и остеотомии, а также индивидуальные реконструктивные пластины из титана [4]. Применение новых методов приводит к снижению частоты осложнений и улучшению результатов хирургического лечения [3], является частью обучения и повышения квалификации

врачей [5].

Аддитивные технологии - процесс создания физического объекта на основе цифровых данных трехмерной компьютерной модели путем послойного добавления материала [6]. Применяющийся ранее для описания этого процесса термин «быстрое прототипирование» (Rapid Prototyping) было рекомендовано изъять из обращения как утративший смысл для современных аддитивных технологий. Это связано с тем, что изготовление моделей и макетов на 3D-принтерах превратилось в создание конечных и серийных продуктов, применительно к которым использовать термин «прототип» нельзя. Особенно быстро эти технологии развиваются в точном машиностроении, аэрокосмической отрасли, военно-промышленном комплексе США и Западной Европы. Данные технологии нашли свое применение и в медицине практически сразу после создания первого 3D-принтера. Основные области применения аддитивных технологий в меди-

Терещук С.В., Иванов С.Ю., Корабельников Д.И., Сухарев В.А.

цине - реконструктивная хирургия и протезирование [7,8].

Аддитивные технологии предполагают наличие двух ключевых звеньев: программного обеспечения, позволяющего создавать трехмерные компьютерные модели, и 3D принтера, способного создавать физический объект на основе его цифровой модели. Программное обеспечение для создания трехмерных компьютерных моделей может быть универсальным, либо рассчитано для решения специальных задач. Например, программа *Simplant* (производитель *Materialise*, Бельгия) предназначена для планирования операции дентальной имплантации и создания компьютерных моделей хирургических шаблонов для ее выполнения. Другая программа - *ProPlan* той же фирмы, предназначена для планирования реконструктивной операции на нижней челюсти с применением малоберцового реваскуляризованного трансплантата, создания компьютерных моделей хирургических шаблонов и реконструктивной пластины для получения запланированного результата в операционной. Для работы в этих программах информация о пациенте загружается в виде данных компьютерной томографии (конусно-лучевой (КЛКТ) либо мультиспиральной (МСКТ)). Эти программы дороги, рассчитаны на использование в работе инструментов и расходных ма-

териалов определенного производителя. Так, в случае последней программы, это инструменты и расходные материалы фирмы *Synthes* (Швейцария). Все это делает данные продукты практически недоступными пациентам большинства стран, включая такие страны Старого Света, как Италия, Испания и др., где расходы на медицину меньше, чем в таких странах, как Германия, Австрия, Швейцария. Существуют и другие программные решения, позволяющие создавать трехмерные компьютерные модели с нуля. Примером могут служить программы *Mimics* и *Magics* (производитель *Materialise*, Бельгия). Их мощный функционал также включает возможность построения трехмерных компьютерных моделей биологических объектов по данным компьютерной томографии. Однако, работа с ними требует специальной подготовки и значительной затраты времени.

Созданные в упомянутых выше программах трехмерные модели печатают на трехмерных принтерах. Для печати физической модели могут быть использованы различные материалы. Выбор материала зависит от предназначения печатаемого объекта. Так, хирургические модели и шаблоны могут быть созданы из пластика или гипса (рис. 1). При печати изделий, предназначенных для имплантации в организм человека, используется, как правило, титан (рис. 2).



Рис. 1. Печать пластиковых моделей и шаблонов на отечественном 3D принтере ЛС-250

Fig. 1. Printing plastic models and templates on the domestic 3D printer LS-250

Целями данной работы являлись: анализ результатов применения аддитивных технологий для планирования и выполнения реконструктивных операций в Центре челюстно-лицевой хирургии и стоматологии ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко»; оценка эффективности использования шаблонов при реконструктивных оперативных вмешательствах при дефектах костей лицевого скелета и свода черепа, и влияния использования шаблонов на послеоперационные осложнения.



Рис. 2. Печать имплантатов из титана на 3D принтере

Fig. Printing of titanium implants on a 3D printer

Материалы и методы

В период с 2007 г. по 2017 г. в нашем Центре было выполнено 144 операции по устранению дефектов костей различной локализации с компьютерным планированием. Для осуществления компьютерного планирования реконструктивных операций мы используем материальную базу Института проблем информационных и лазерных технологий Российской академии наук (ИПЛИТ РАН) (г. Шатура, Московская область) с 2004 года. Научные сотрудники лаборатории средств

отображения информации (ЛСОИ) ИПЛИТ РАН имеют богатый опыт работы с программами Mimics и Magics (производитель Materialise, Бельгия). Для осуществления планирования мы выполняли МСКТ области, в которой должна была проводиться операция. Пакет полученных данных отправляли электронной почтой в ИПЛИТ РАН. После подготовки трехмерных компьютерных моделей объекта операции виртуальное хирургическое планирование выполняли дистанционно с использованием видеоконференцсвязи. При этом хирург фактически осуществлял виртуальную операцию руками инженера ЛСОИ.

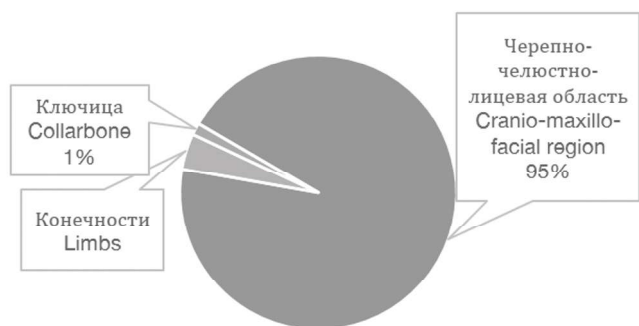


Рис. 3. Область костного дефекта у больных
Fig. 3. Bone defect locations

Этиологией дефектов в основном являлись опухоли 81% (n=117), а также огнестрельные ранения - 10% (n=14), лучевые остеонекрозы - 8% (n=11); дефекты костей в результате травмы возникли в 1% (n=2) слу-

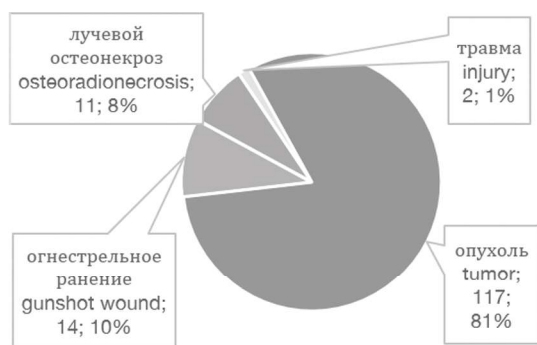


Рис. 5. Этиология костных дефектов, n = 144
Fig. 5. Bone defect etiology, n = 144

Аdditивные технологии использовали в 85% (n=123) случаев для планирования операции по устранению дефектов, а также для изготовления хирургических моделей и шаблонов (рис. 7).

Частота послеоперационных осложнений в группе пациентов с дефектами костей лицевого скелета и свода черепа, которым проводили оперативные вмешательства с использованием шаблонов, составила 26%, в том числе малых осложнений – 17,5%, больших – 8,5%. Среди малых осложнений преобладали гематомы (5%) и нагноения (5%) реципиентной раны, реже аналогичные осложнения – гематомы (4%) и

Результаты

В большинстве случаев - в 93% (n=136) проведены операции по устранению дефектов костей лицевого скелета и свода черепа (рис. 3). В двух случаях требовалось устранить дефект ключицы, в одном случае - дефект ладьевидной кости, в одном случае дефект лучевой кости, в двух случаях - дефект плечевой кости, в двух случаях - дефект бедренной кости. Возраст пациентов был от 4 лет и 8 месяцев до 79 лет (рис. 4), средний возраст составил 47,5 лет.

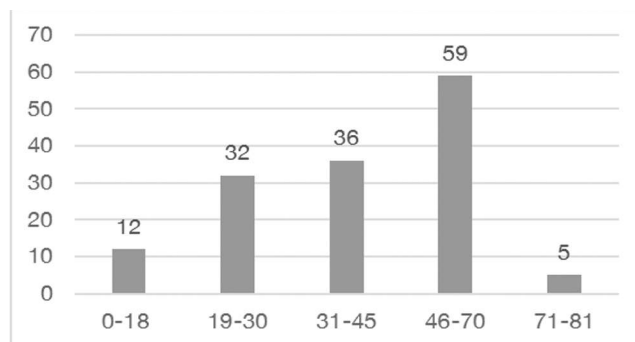


Рис. 4. Возраст пациентов, n = 144
Fig. 4. Patients' age, n = 144

чаев (рис. 5). Для устранения дефектов в 87% (n=125) случаев использовали реваскуляризованные ауто-трансплантаты, в 13% (n=19) случаев - аллопластические материалы (рис. 6).

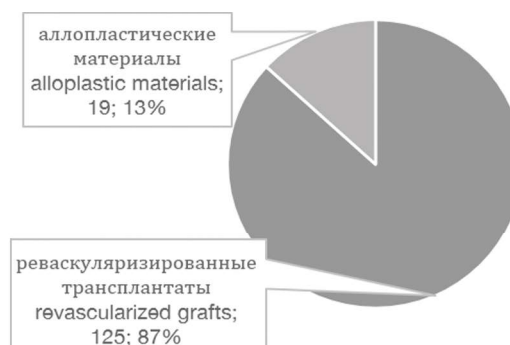


Рис. 6. Примененные пластические материалы, n = 144
Fig. 6. Applied plastic materials, n = 144

нагноения (3%) донорской раны. Большие осложнения были представлены случаями полного (4%) или частичного (5%) некроза трансплантата (рис. 8).

При оперативных вмешательствах без шаблона потребовалось достоверно больше среднего времени забора и формирования трансплантата (212 ± 18,7 мин), чем при операциях с шаблоном, в том числе с направителем для сверления (136 ± 12,6 мин, p < 0,001) и без направителя для сверления (160 ± 16,3 мин, p < 0,001) (рис. 9).

Далее приведены клинические случаи в качестве примеров использования аддитивных технологий для

Терещук С.В., Иванов С.Ю., Корабельников Д.И., Сухарев В.А.

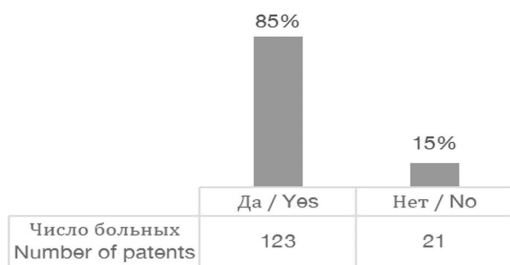
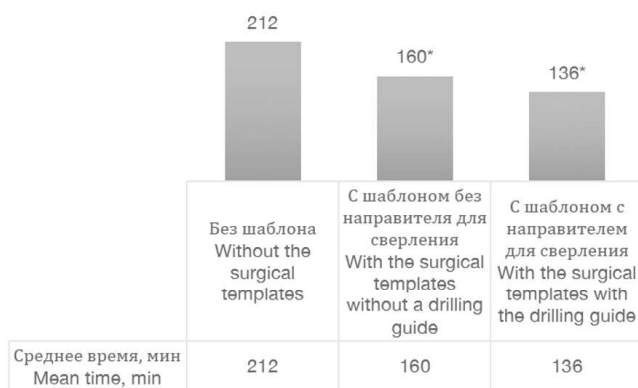


Рис. 7. Применение аддитивных технологий, n = 144

Fig. 7. Applied additive technologies, n = 144



* p < 0,001

Рис. 9. Сравнение времени на забор и формирование малоберцового трансплантата при различных методиках выполнения операции

Fig. 9. Comparison of operative time for peroneal graft fence and formation by the surgical technology

планирования реконструктивных операций по устранения костных дефектов различной локализации.

Клинический случай 1

Пациентка Б., 28 лет. Деформация свода черепа, скуло-лобно-глазничного комплекса слева после тяжелой черепно-мозговой травмы, резекционной трепанации черепа. Травму получила полгода назад в результате дорожно-транспортного происшествия. Пациентка предъявляла жалобы на двоение в глазах, косметическую неудовлетворенность внешним видом. После обследования было принято решение устранить дефекты и деформации черепно-челюстно-лицевой области имплантатами из титана и хирулена¹, изготовленные по результатам ВХП.

Пациентке была выполнена МСКТ черепа, по результатам которой изготовлена трехмерная компьютерная модель черепа пациентки (рис. 10). Используя такие инструменты программы как Mirroring воссозданы утраченные и деформированные участки черепа (рис. 11). Полученные результаты планирования использованы для печати титановых сетчатых пластин для закрытия дефектов костей свода черепа и создания контурных имплантатов для восстановления дна



Рис. 8. Послеоперационные осложнения у больных после оперативных вмешательств по устранению дефектов костей лицевого скелета и свода черепа с использованием шаблонов

Fig. 8. Postoperative complications in patients with facial skeleton and cranial vault bones defects undergone the use of surgical templates during reconstructive operations

орбиты и устранения деформации скуло-лобно-глазничного комплекса (рис. 12).

В результате операции положение левого глазного яблока было восстановлено, двоение в глазах исчезло. Контуры лицевого скелета были восстановлены без необходимости выполнять остеотомию, репозицию и остеосинтез смещенных костных фрагментов. При контрольном осмотре через 6 месяцев после операции пациентка была удовлетворена внешним видом. Требовалась незначительная косметическая коррекция рубцов после травмы.

Клинический случай 2

Пациент К., 46 лет. Диагноз: дефект тела и ветви нижней челюсти справа после резекции по поводу рака дна полости рта T2N0M0. Пациент предъявлял жалобы на затруднения при приеме и пережевывании пищи; нарушение речи. Из данных анамнеза и медицинской документации известно, что около года назад пациент был оперирован по поводу рака дна полости рта: выполнена резекция дна полости рта справа, резекция тела и частично ветви нижней челюсти справа. Устранение дефекта не выполнялось. Было принято решение об устранении дефекта ниж-

¹ Хирулен - так называемый сверхвысокомолекулярный полиэтилен UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene), обладающий высокой износостойкостью; синонимы: полиэтилен с высоким модулем упругости (англ. High modulus polyethylene, HM PE) и полиэтилен с высокими эксплуатационными характеристиками (англ. High performance polyethylene, HP PE) (прим. авт.).

ней челюсти ревазуляризованным трансплантатом из гребня подвздошной кости справа. В плане подготовки к операции была выполнена МСКТ лицевого скелета и тазовых костей. По результатам исследований построены компьютерные модели этих образований. При УЗДС определены реципиентные сосуды на шее (доступны все ветви наружной сонной артерии). УЗДС глубокой артерии, огибающей подвздошную кость, не выполнялось из-за анатомического постоянства сосуда и отсутствия в анамнезе пациента операций в правой подвздошной области. В ходе ВХП обнаружено и исправлено смещение фрагмента правой ветви нижней челюсти (рис. 13). Положение большего фрагмента нижней челюсти также потребовало коррекции и восстановления прикуса из-за его смещения рубцами (рис. 14). После восстановления правильных анатомических взаимоотношений фрагментов нижней челюсти приступили к выбору оптимального донорского места для забора трансплантата. В результате планирования изготовлены хирургические шаблоны-накладки, при помощи которых в операционной были повторены все этапы ВХП (рис. 15). Спустя 10 месяцев после операции пациенту выполнена КЛКТ, которая показала полное приживание трансплантата и практически идеальное восстановление формы нижней челюсти (рис. 16). Зубы верхней и нижней челюсти в ортогнатическом прикусе. Следующий этап лечения планируется установка дентальных имплантатов в трансплантат с последующим протезированием зубов.

Клинический случай 3

Пациентка М., 32 года. Диагноз: несросшийся перелом левой ключицы. Пациентка получила травму за два года до обращения в госпиталь в результате падения с лошади. Было предпринято несколько попыток выполнить репозицию отломков ключицы с остеосинтезом накостной пластиной - без положительного результата. Пациентка предъявляла жалобы на боль в области левой ключицы, ограничение движений левой руки, неудовлетворенность внешним видом из-за наличия деформации в области левой ключицы. При рентгенографии был выявлен перелом пластины, фиксировавшей фрагменты левой ключицы, смещение фрагментов ключицы и ее укорочение (рис. 17). Было принято решение выполнить реконструкцию левой ключицы малоберцовым ревазуляризованным трансплантатом. При ультразвуковом дуплексном сканировании (УЗДС) патологии сосудов голени и шеи выявлено не было. Для планирования реконструктивной операции выполнена МСКТ ключиц и голени. Полученные при этом данные использованы для построения трехмерных компьютерных моделей ключиц и малоберцовых костей. В ходе виртуального

хирургического планирования (ВХП) использовано зеркальное отражение правой интактной ключицы для позиционирования фрагментов левой ключицы в анатомическом положении (рис. 18). Выполнена резекция измененных краев фрагментов левой ключицы. Подобран участок малоберцовой кости, наилучшим образом восстанавливающий утраченный фрагмент (рис. 19). В завершение ВХП созданы хирургические шаблоны-накладки для точного воспроизведения результата в операционной (рис. 20). После печати пластиковой модели ключицы, восстановленной малоберцовым трансплантатом, и хирургических шаблонов-накладок, по модели ключицы была изогнута и подготовлена к операции реконструктивная титановая пластина для фиксации малоберцового трансплантата в дефекте (рис. 21). Операция выполнялась двумя бригадами хирургов, каждая из которых имела в своем распоряжении необходимые хирургические шаблоны-накладки. Это позволило сократить время операции. Послеоперационный период протекал без особенностей. Швы были сняты амбулаторно. Через год выполнен рентген-контроль результата операции (рис. 22). Форма, контур и длина ключицы полностью восстановлены.

Обсуждение

В большей части случаев (87%) нами применялись ревазуляризованные костные аутооттрансплантаты. В течение последних двадцати лет применение ревазуляризованных костных аутооттрансплантатов стало золотым стандартом в реконструктивной хирургии нижней челюсти. При этом эффективность этого метода достигает более 90% [9–11]. В работе нами успешно использовались трансплантаты из свободных костно-кожных лоскутов малоберцовой кости.

Использование шаблонов, особенно с направителем для сверления позволило нам достоверно уменьшить среднее время забора и формирования малоберцового трансплантата на 76 минут, что соответствует данным литературы: в исследовании Nanasono M.M. с соавторами (2013) средняя продолжительность операции при использовании шаблонов была на 102 минуты меньше, чем без их использования [2].

Изготовленные стереолитографические модели черепов больных мы использовали также для изгибания реконструктивных титановых пластин с целью фиксации трансплантата, фрагментов челюсти при переломе, что было особенно актуально в случаях с деформацией контура челюсти патологическим процессом и снижало время операции, как и по данным других авторов. В исследовании Prisman E. с соавт. (2014) время, необходимое для изгибания пластины до операции по модели и во время операции, составило в среднем 867 ± 243 секунд и 833 ± 289 секунд

Терещук С.В., Иванов С.Ю., Корабельников Д.И., Сухарев В.А.

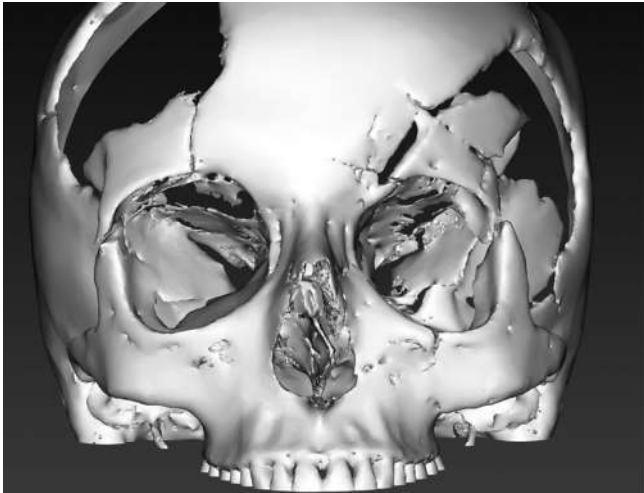


Рис. 10. Трехмерная компьютерная модель черепа пациентки Б.

Fig. 10. 3D computer model of patient B.'s skull



Рис. 11. Трехмерная модель черепа пациентки Б. после устранения дефектов и деформаций в ходе ВХП. Сиреневым цветом отмечены восстановленные участки черепа

Fig. 11. 3D model of patient B.'s skull after elimination of defects and deformities during virtual surgical planning. The restored areas of the skull are marked in lilac



Рис. 12. Физическая модель черепа пациентки Б. с фиксированными имплантатами

Fig. 12. The physical model of the skull of the patient B. with fixed implants

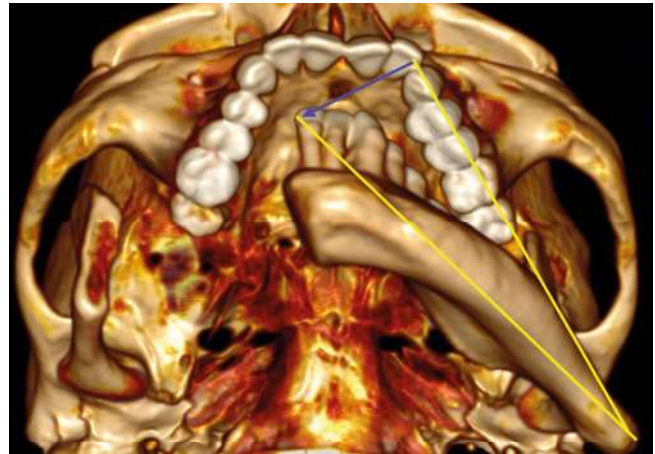


Рис. 13. На трехмерной модели лицевого скелета определяется смещение большего фрагмента нижней челюсти в сторону дефекта (направление указано стрелкой)

Fig. 13. On the 3D model of the facial skeleton, the displacement of a larger fragment of the lower jaw towards the defect is determined (the direction is indicated by an arrow)

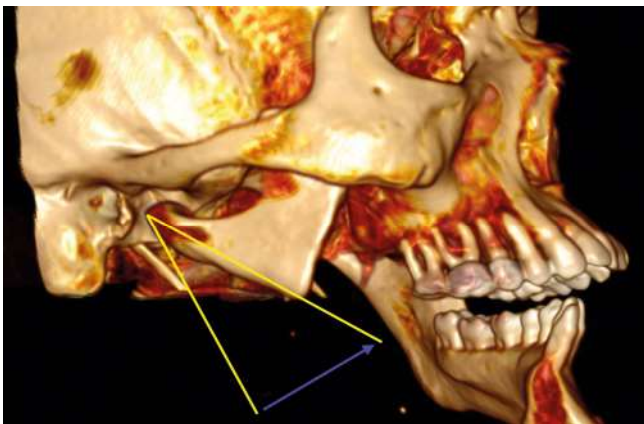


Рис. 14. На трехмерной модели лицевого скелета определяется смещение фрагмента правой ветви нижней челюсти в сторону дефекта (направление указано стрелкой)

Fig. 14. On the 3D model of the facial skeleton, the displacement of the fragment of the right branch of the lower jaw towards the defect is determined (the direction is indicated by an arrow)

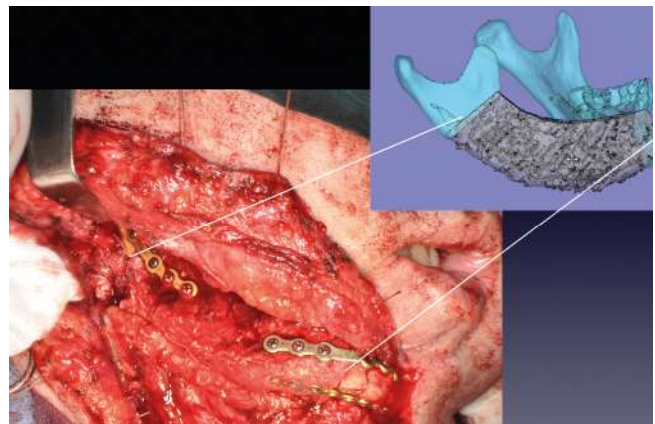


Рис. 15. Трансплантат фиксирован в дефекте нижней челюсти. Его размеры, форма и положение соответствуют компьютерной модели в ходе ВХП

Fig. 15. The graft is fixed in the defect of the lower jaw. Its size, shape and position correspond to the computer model during the virtual surgical planning

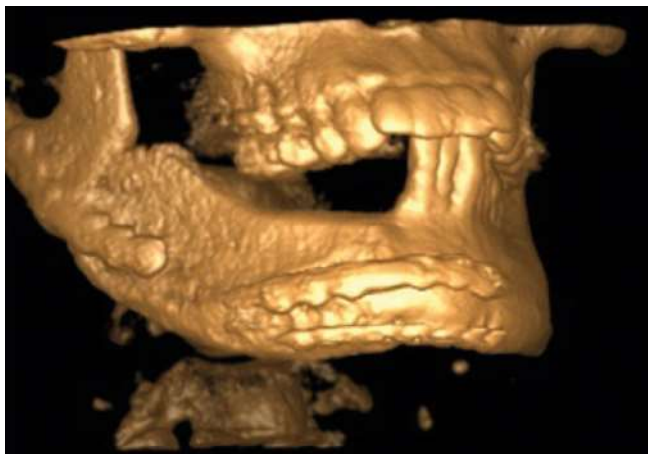


Рис. 16. Трехмерная компьютерная модель нижней челюсти пациента по результатам контрольной КЛКТ
Fig. 16. 3D computer model of the lower jaw of the patient based on the results of cone beam computed tomography (10 months after surgery)



Рис. 17. Рентгенограмма пациентки при поступлении на лечение
Fig. 17. X-ray of the patient at admission to hospital

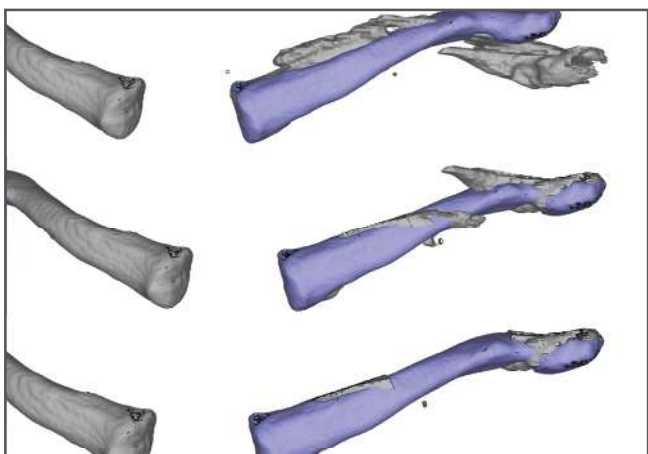


Рис. 18. Первоначальное положение фрагментов ключицы (сверху) и после перемещения их в правильное положение по зеркальному отражению здоровой ключицы
Fig. 18. The initial position of the clavicle fragments (top) and after moving them to the correct position on the mirror image of the healthy clavicle



Рис. 19. Выбор участка малоберцовой кости для устранения дефекта ключицы
Fig. 19. Selection of the fibula area to eliminate the defect of the clavicle

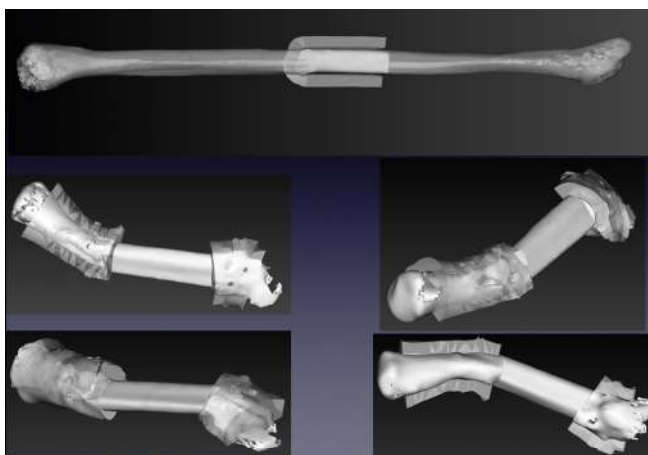


Рис. 20. Компьютерные модели хирургических шаблонов-накладок для выполнения операции
Fig. 20. Computer models of surgical templates-overlays for the operation



Рис. 21. Подготовка титановой реконструктивной пластины перед операцией
Fig. 21. Preparation of titanium reconstructive plate before surgery

Терещук С.В., Иванов С.Ю., Корабельников Д.И., Сухарев В.А.



Рис. 22. Рентгенограмма ключицы через один год после операции

Fig. 22. X-ray of the clavicle one year after surgery

соответственно [12].

Использование хирургических шаблонов для формирования трансплантата из свободных костно-кожных лоскутов малоберцовой кости по результатам виртуального планирования устранения дефекта нижней челюсти улучшало результат операции за счет не только снижения времени операции, но и достижения максимального контакта трансплантата и кости.

Toto J. с соавторами в 2015 оценили результат 8 таких реконструктивных операций. Среднее значение погрешности расстояния между реальными остеотомическими распилами и виртуальными составили 2.06 ± 0.86 mm. Средняя погрешность объема реального трансплантата в сравнении с виртуальным планированием составила 1412.22 ± 439.24 mm³ ($9.12\% \pm 2.84\%$). А средняя погрешность объема реального трансплантата к его модели составила 2094.35 ± 929.12 mm³ ($12.40\% \pm 5.50\%$) [3].

Haddock NT с соавт. (2012) показали возможности виртуального хирургического планирования с использованием шаблонов для определения углов распилов трансплантата малоберцовой кости и нижней челюсти для увеличения площади контакта и облегчения хирургического доступа во время операции [13].

Риск больших осложнений (частичного и полного некроза трансплантата) в нашем исследовании был меньше среднего риска по данным литературы. Так, в 2015 году Wong A.K. с соавторами опубликовали результаты анализа факторов риска, оказывающих негативное влияние на выживаемость ревааскуляризованных трансплантатов. Ими были изучены материалы более 36 научных статей, а также данные исследования ACS NSQIP (American College of Surgeons

National Surgical Quality Improvement Program). Дизайн исследования ACS NSQIP включал в себя 240 переменных, включая предоперационные факторы риска, интраоперационные факторы, а также данные об осложнениях и смертности в течение 30-ти дневного послеоперационного периода. Риск гибели трансплантата у больных, включенных в данное исследование, зависел от локализации дефекта: 9.6% - при локализации в области головы и шеи, 5.6% - в области конечностей, 4.9% - в области молочной железы и 2.5% - в других областях туловища [14].

Заключение

Развитие и совершенствование новых методов реконструктивной хирургии, главным образом реконструктивной микрохирургии, позволяют хирургу устранять дефекты независимо от их этиологии и размеров. Удаление опухоли и устранение дефекта не является критерием выздоровления больного. Восстановление функции утраченного органа полностью или частично и социальная реабилитация пациента - только такой исход может считаться выздоровлением [15]. Использование в работе аддитивных технологий позволило вывести процесс планирования и выполнения реконструктивных операции на новый уровень. Все этапы операции отрабатывались в ходе ВХП до получения желаемого результата. Внутри этой же программной среды создаются хирургические инструменты, которые могут быть напечатаны и применены для выполнения определенной задачи у конкретной пациента. Таким образом, появляется возможность реализации идеи об индивидуальном подходе в лечении больных - персонализированной медицины.

Применение аддитивных технологий позволяет осуществить трехмерный анализ дефекта или деформации; выбрать оптимальный материал для их устранения; получить представление о результате еще только планируемой операции; создать инструменты для достижения запланированного результата операции. Применение в ходе реконструктивных операций хирургических моделей и шаблонов сокращает время самой операции и уменьшает число послеоперационных осложнений. Используемые во время операции хирургические шаблоны, по сути, являются хирургическим инструментом. Их изготовление не требует промышленных мощностей, эти инструменты могут быть напечатаны на 3D-принтере. Такое лечение носит индивидуальный характер, что облегчает реабилитацию пациентов в послеоперационном периоде и повышает качество их жизни.

65–72. DOI: <https://doi.org/10.1109/5992.947109>.

2. Hanasono M.M., Skoracki R.J. Computer-assisted design and rapid prototype modeling in microvascular mandible

Список литературы

1. Joskowicz L., Taylor R.H. Computers in imaging and guided surgery // *Comput. Sci. Eng.* 2001. Vol. 3, № 5. P.

reconstruction // *Laryngoscope*. 2013. Vol. 123, № 3. P. 597–604. DOI: <https://doi.org/10.1002/lary.23717>.

3. Toto J.M. et al. Improved operative efficiency of free fibula flap mandible reconstruction with patient-specific, computer-guided preoperative planning // *Head Neck*. 2015. Vol. 37, № 11. P. 1660–1664. DOI: <https://doi.org/10.1002/hed.23815>.

4. Wilde F. et al. Mandible reconstruction with patient-specific pre-bent reconstruction plates: comparison of a transfer key method to the standard method—results of an in vitro study // *Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg.* 2012. Vol. 7, № 1. P. 57–63. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11548-011-0599-8>.

5. Wang J.C., Nagy L., Demke J.C. Image-guided surgery and craniofacial applications: mastering the unseen // *Maxillofac. Plast. Reconstr. Surg.* 2015. Vol. 37, № 1. P. 43. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40902-015-0037-x>.

6. ISO / ASTM52900-15, Standard Terminology for Additive Manufacturing – General Principles – Terminology [Электронный ресурс] // ASTM International: [сайт]. URL: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?ISOASTM52900> (дата обращения 10.04.2019).

7. Жук Д.М., Перфильев С.А. CAS системы – системы автоматизированного проектирования в хирургии // *Наука и образование: сетевой журн.* 2011. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/168885.html> (дата обращения: 10.05.2019).

8. Rodby K.A. et al. Advances in oncologic head and neck reconstruction: Systematic review and future considerations of virtual surgical planning and computer aided design/

computer aided modeling // *J. Plast. Reconstr. Aesthetic Surg.* 2014. Vol. 67, № 9. P. 1171–1185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2014.04.038>.

9. Burkey B.B., Coleman J.R. Current concepts in oromandibular reconstruction. // *Otolaryngol. Clin. North Am.* 1997. Vol. 30, № 4. P. 607–630.

10. Hidalgo D.A., Pusic A.L. Free-Flap Mandibular Reconstruction: A 10-Year Follow-Up Study // *Plast. Reconstr. Surg.* 2002. Vol. 110, № 2. P. 438–449. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006534-200208000-00010>.

11. Robb G. Free-Flap Mandibular Reconstruction: A 10-Year Follow-up Study // *Arch. Facial Plast. Surg.* 2004. Vol. 6, № 1. P. 65. DOI: <https://doi.org/10.1001/archfaci.6.1.65>.

12. Prisman E. et al. Value of preoperative mandibular plating in reconstruction of the mandible // *Head Neck*. 2014. Vol. 36, № 6. P. 828–833. DOI: <https://doi.org/10.1002/hed.23382>.

13. Haddock N.T. et al. Increasing Bony Contact and Overlap With Computer-Designed Offset Cuts in Free Fibula Mandible Reconstruction // *J. Craniofac. Surg.* 2012. Vol. 23, № 6. P. 1592–1595. DOI: <https://doi.org/10.1097/SCS.0b013e318257576c>.

14. Wong A.K. et al. Analysis of risk factors associated with microvascular free flap failure using a multi-institutional database // *Microsurgery*. 2015. Vol. 35, № 1. P. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.1002/micr.22223>.

15. Sharaf B. et al. Importance of Computer-Aided Design and Manufacturing Technology in the Multidisciplinary Approach to Head and Neck Reconstruction // *J. Craniofac. Surg.* 2010. Vol. 21, № 4. P. 1277–1280. DOI: <https://doi.org/10.1097/SCS.0b013e3181e1b5d8>.

References

1. Joskowicz L, Taylor RH. Computers in imaging and guided surgery. *Comput Sci Eng.* 2001;3(5):65-72. doi:10.1109/5992.947109.

2. Hanasono MM, Skoracki RJ. Computer-assisted design and rapid prototype modeling in microvascular mandible reconstruction. *Laryngoscope.* 2013;123(3):597-604. doi:10.1002/lary.23717.

3. Toto JM, Chang EI, Agag R, Devarajan K, Patel SA, Topham NS. Improved operative efficiency of free fibula flap mandible reconstruction with patient-specific, computer-guided preoperative planning. *Head Neck.* 2015;37(11):1660-1664. doi:10.1002/hed.23815.

4. Wilde F, Plail M, Riese C, Schramm A, Winter K. Mandible reconstruction with patient-specific pre-bent reconstruction plates: comparison of a transfer key method to the standard method—results of an in vitro study. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2012;7(1):57-63. doi:10.1007/s11548-011-0599-8.

5. Wang JC, Nagy L, Demke JC. Image-guided surgery and craniofacial applications: mastering the unseen. *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* 2015;37(1):43. doi:10.1186/s40902-015-0037-x.

6. ISO / ASTM52900-15, Standard Terminology for Additive Manufacturing – General Principles – Terminology. ASTM International. <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?ISOASTM52900>. Published 2015. Accessed

10.04.2019. doi: 10.1520/ISOASTM52900-15.

7. Rodby KA, Turin S, Jacobs RJ, Cruz JF, Hassid VJ, Kolokythas A, Antony AK. Advances in oncologic head and neck reconstruction: Systematic review and future considerations of virtual surgical planning and computer aided design/computer aided modeling. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg.* 2014;67(9):1171-1185. doi:10.1016/j.bjps.2014.04.038.

8. Zhuk DM, Perfiliev SA. CAS systems – computer-aided design systems in surgery. *Nauka i obrazovanie [Science and education]*. 2011. <http://technomag.edu.ru/doc/168885.html>. Published March 2011. Accessed May 10, 2019. (in Russ.).

9. Burkey BB, Coleman JR. Current concepts in oromandibular reconstruction. *Otolaryngol Clin North Am.* 1997;30(4):607-630. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9233861>.

10. Hidalgo DA, Pusic AL. Free-Flap Mandibular Reconstruction: A 10-Year Follow-Up Study. *Plast Reconstr Surg.* 2002;110(2):438-449. doi:10.1097/00006534-200208000-00010.

11. Robb G. Free-Flap Mandibular Reconstruction: A 10-Year Follow-up Study. *Arch Facial Plast Surg.* 2004;6(1):65. doi:10.1001/archfaci.6.1.65.

12. Prisman E, Haerle SK, Irish JC, Daly M, Miles B, Chan H. Value of preoperative mandibular plating in reconstruction of the mandible. *Head Neck.* 2014;36(6):828-833. doi:10.1002/hed.23382.

13. Haddock NT, Monaco C, Weimer KA, Hirsch DL, Levine

Терещук С.В., Иванов С.Ю., Корабельников Д.И., Сухарев В.А.

JP, Saadeh PB. Increasing Bony Contact and Overlap With Computer-Designed Offset Cuts in Free Fibula Mandible Reconstruction. *J Craniofac Surg.* 2012;23(6):1592-1595. doi:10.1097/SCS.0b013e318257576c.

14. Wong AK, Joanna Nguyen T, Peric M, Shahabi A, Vidar EN, Hwang BH, Niknam Leilabadi S, Chan LS, Urata MM. Analysis of risk factors associated with microvascular free flap failure using a multi-institutional database. *Microsur-*

gery. 2015;35(1):6-12. doi:10.1002/micr.22223.

15. Sharaf B, Levine JP, Hirsch DL, Bastidas JA, Schiff BA, Garfein ES. Importance of Computer-Aided Design and Manufacturing Technology in the Multidisciplinary Approach to Head and Neck Reconstruction. *J Craniofac Surg.* 2010;21(4):1277-1280. doi:10.1097/SCS.0b013e3181e1b5d8.

Раскрытие информации

Об авторах

Терещук Сергей Васильевич – к.м.н., начальник Центра челюстно-лицевой хирургии и стоматологии ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, Москва; e-mail: tereschuksv@gmail.com;

Иванов Сергей Юрьевич – д.м.н., проф., член-корр. РАН, заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва; e-mail: syivanov@yandex.ru; SPIN-код: 2607-2679;

Корабельников Даниил Иванович – к.м.н., заведующий кафедрой профилактической медицины, профессор кафедры внутренних болезней, ректор АНО ДПО «Московский медико-социальный институт имени Ф.П. Газа», Москва; e-mail: dkorabelnikov@mail.ru; SPIN-код: 7380-7790; ORCID ID: 0000-0002-0459-0488;

Сухарев Владимир Александрович – начальник отделения реконструктивной, пластической и микрососудистой хирургии Центра челюстно-лицевой хирургии и стоматологии ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, Москва; e-mail: skidoc@mail.ru

Article information

About the authors

Sergey V. Tereshchuk - M.D., Ph.D., Head of the Maxillofacial Surgery and Dentistry Center, Burdenko Main Military Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation; e-mail: tereschuksv@gmail.com;

Sergey Yu. Ivanov - M.D., Ph.D., Prof., Corresponding member of Russian Academy of Sciences, Head of the Maxillofacial Surgery Department, Sechenov First Moscow State Medical University; 8/2, Trubetchkaya st., Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: syivanov@yandex.ru;

Daniil I. Korabelnikov - M.D., Ph.D., Head of the Dept of Preventive Medicine, Professor of the Dept of Internal Diseases, General practice, Functional Diagnostics and Infectious Diseases, Rector, Haass Moscow Medical and Social Institute, Moscow, Russian Federation; e-mail: dkorabelnikov@mail.ru; ORCID ID: 0000-0002-0459-0488;

Vladimir A. Sukharev – M.D., Head of the Plastic and Reconstructive Surgery Unit, Maxillofacial Surgery and Dentistry Center, Burdenko Main Military Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation; e-mail: skidoc@mail.ru;

Вклад авторов

Терещук С.В.: дизайн исследования; обзор публикаций по теме статьи; получение данных для анализа; анализ данных историй болезней; обсуждение результатов, обсуждение формата статьи и основных ее выводов; написание текста рукописи; оформление иллюстративного материала; перевод на английский язык;

Иванов С.Ю.: дизайн исследования; руководство исследованием; обсуждение результатов; обсуждение формата статьи и основных ее выводов; научное редактирование рукописи;

Корабельников Д.И.: дизайн исследования; обсуждение формата статьи и основных ее выводов; написание текста рукописи; оформление иллюстративного материала; перевод на английский язык;

Сухарев В.А.: получение данных для анализа; анализ данных историй болезней; обсуждение формата статьи и основных ее выводов;

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Authors' contribution

Sergey V. Tereshchuk: research design; reviewing of publications of the article's topic; obtaining data; database storage and processing; case study data analysis; discussion of the results; discussion of the format of the article and its main conclusions; article writing; design of illustrative material; translation into English;

Sergey Yu. Ivanov: research design; research management; discussion of the results; discussion of the format of the article and its main conclusions; article editing;

Daniil I. Korabelnikov: research design; discussion of the format of the article and its main conclusions; article writing; design of illustrative material; translation into English;

Vladimir A. Sukharev: obtaining data; database storage and processing; case study data analysis; discussion of the results; discussion of the format of the article and its main conclusions;

Conflict of Interest Disclosures: The authors declare no conflict of interest

Funding and Support: The study was performed without external funding



Статья поступила: 19.08.2019. Принята к публикации: 16.09.2019.
Article received: August 19, 2019. Accepted for publication: September 16, 2019.