

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-ПЕЧАТИ ПРИ РЕКОНСТРУКТИВНЫХ ОПЕРАЦИЯХ НА НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ

Ю.Ю. Диков, В.А. Соболевский, М.А. Кропотов, В.Ю. Ивашков

ФГБНУ «Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина», г. Москва

Ключевые слова: реконструкция нижней челюсти, 3D-принтер, трехмерное моделирование, малоберцовый трансплантат, рак слизистой оболочки полости рта

Цель исследования. Улучшение функциональных и эстетических результатов микрохирургических реконструкций нижней челюсти за счет использования методики трехмерного моделирования и 3D-печати. Применение данной методики продемонстрировано на примере лечения четырех пациентов с местно-распространенными опухолями полости рта, которым выполнялось удаление опухоли с одномоментной реконструкцией нижней челюсти ревааскуляризованным малоберцовым трансплантатом. Одному пациенту уже выполнялась сегментарная резекция нижней челюсти с замещением дефекта аваскулярным подвздошным трансплантатом и реконструктивной пластиной. В последующем у него развился рецидив заболевания и лизис трансплантата. Моделирование трансплантата по форме нижней челюсти производилось путем выполнения остеотомий костной части трансплантата с помощью создания виртуальных трехмерных моделей, выполненных по данным компьютерной томографии. Данные трехмерные модели затем печатались на 3D-принтере из пластика в масштабе 1:1 с помощью технологии FDM и использовались во время операции при моделировании трансплантата. Стерилизация пластиковой модели производилась в формалиновой камере. Данная методика позволила точнее воссоздавать резецированный фрагмент нижней челюсти, получить лучшие функциональные и эстетические результаты и подготовить пациентов к дальнейшей дентальной реабилитации. Также достоинством данной методики является возможность одновременного выполнения реконструктивного и резекционного этапа и сокращение времени операции.

Введение. Необходимость сегментарной резекции нижней челюсти в онкологии возникает при распространенных злокачественных опухолях слизистой оболочки полости рта и первичных опухолях нижней челюсти. При сегментарной резекции возникает нарушение непрерывности нижнечелюстной дуги, что приводит к нарушению функций жевания, глотания, речи, а также выраженным эстетическим нарушениям и деформации нижней зоны лица [1, 2]. В связи с бактериальной загрязненностью ран, ухудшением кровоснабжения после лучевой терапии, дефицитом мягких тканей оптимальным методом реконструкции является использование кровоснабжаемых ауто трансплантатов, пересаженных с использованием микрохирургической техники [4]. Современные микрохирургические реконструктивные методики, в частности мало-

берцовый кожно-костный трансплантат, позволяют замещать даже тотальные дефекты нижней челюсти [3]. Поэтому крайне актуальным становится точное моделирование формы трансплантата, формирование правильного прикуса для последующей дентальной имплантации. Упростить данную задачу позволяет технология создания трехмерной модели по компьютерным томограммам и последующее изготовление пластиковых моделей нижней челюсти на 3D-принтере в масштабе 1:1. Пластиковая модель может быть получена с помощью печати на 3D-принтере по технологии FDM и использоваться для планирования операции и во время операции для моделирования трансплантата. Она позволяет производить измерения длины костных фрагментов, углов остеотомий, формы суставной головки. Часто значительный фрагмент нижней челюсти поражен опухолью и деформирован. В таком случае компьютерная программа моделирует деформированную часть нижней челюсти путем создания зеркального отражения здоровой части нижней

Адрес для корреспонденции

Диков Юрий Юрьевич
E-mail: dikovyura@list.ru

челюсти, и моделирование трансплантата производится на модели с сохраненными пропорциями. Использование этих моделей позволяет тщательно спланировать реконструктивный этап, уменьшить время операции и улучшить функциональные и эстетические результаты. Также производятся уже готовые металлические шаблоны для моделирования малоберцового трансплантата. Он представляет собой металлический уголок с отмеченными местами для выполнения остеотомий под соответствующими углами. Универсальный шаблон может быть использован при невозможности выполнения индивидуального моделирования.

Описание метода. Технология FDM подразумевает создание трехмерных объектов за счет нанесения последовательных слоев материала, повторяющих контуры цифровой модели. Как правило, в качестве материалов для печати выступают термопластики, поставляемые в виде прутка диаметром 1,75 мм, намотанного на катушку. Производственный цикл начинается с обработки трехмерной цифровой модели. В нашем случае цифровой моделью служат DICOM-изображения, полученные при компьютерной томографии (шаг 1–2,5 мм). Трехмерная реконструкция производилась в свободно доступной программе InVesalius 3.0 [5] с сохранением в формате STL. В случае необходимости замещения пораженной части нижней челюсти зеркальной копией здоровой использовалась свободно доступная программа Blender [6].

Следующим шагом производственного цикла являлось создание управляющей программы для 3D-принтера. Как правило, каждый 3D-принтер снабжается собственным программным обеспечением для создания управляющих программ. В данной работе использовалась свободно доступная программа для создания управляющих программ Slic3r [7].

Окончательная и самая важная часть цикла — печать модели на 3D-принтере. Печать осуществляется следующим образом: нить подается на экструзионную головку 3D-принтера, представляющую собой подвижное сопло небольшого диаметра, обычно 0,4 мм, разогретое до температуры плавления используемого термопластика. Для используемого в данной работе полилактида (PLA, алифатический полиэфир, мономером которого является молочная кислота) требуемая температура составляет 200 °С. Через сопло происходит экструзия (выдавливание) нити расплавленного термопластика на поверхность рабочего стола 3D-принтера, после чего нить немедленно остывает и переходит в твердое состояние [8]. Движение экструзионной головки и подача прутка происходят в точном соответствии с управляющей программой,

подготовленной для конкретной трехмерной модели, повторяя очертания модели и наращивая ее слой за слоем. После изготовления пластиковой модели она может быть стерилизована в формалиновой камере.

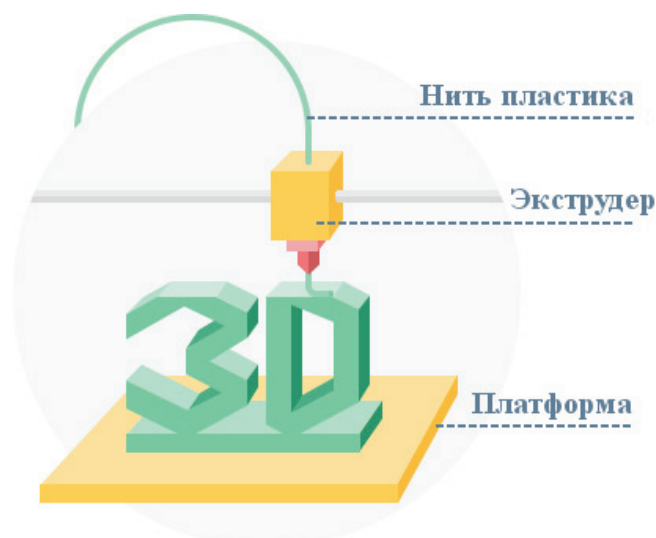


Рис. 1. Наглядная демонстрация технологии FDM

Материалы и методы. В нашем наблюдении 4 пациента, у которых была проведена сегментарная резекция нижней челюсти с реконструкцией реваскуляризированным малоберцовым трансплантатом с применением 3D-моделирования и изготовления пластиковых моделей.

В исследовании мы использовали данную методику у 4 пациентов, которым выполнялась сегментарная резекция нижней челюсти. У 3 пациентов производилось по 1 остеотомии трансплантата, у 1 пациента — 2 остеотомии. Фиксация костных фрагментов производилась мини-пластинами. В каждом случае накладывалось 3 микроанастомоза (1 артериальный и 2 венозных) на микроскопе Karl Zeiss Penterra нитью 8-0. По данным компьютерной томографии всем пациентам до операции создавалась виртуальная трехмерная модель, а затем пластиковая модель нижней челюсти в масштабе 1:1. На модели намечались границы резекции, рассчитывалась длина костных фрагментов и углы остеотомии. Затем эта модель также использовалась в операционной при окончательном моделировании. Операция выполнялась двумя бригадами хирургов с одновременным удалением опухоли и выделением трансплантата, что позволило укоротить время операции до 7 ч. Выделение трансплантата осуществлялось после наложения жгута на нижнюю конечность, что позволило уменьшить кровопотерю при выделении трансплантата до 100–200 мл.

Таблица 1. Распределение пациентов по диагнозу и локализации дефекта

Диагноз	Предшествующее лечение	Возраст	Дефект нижней челюсти	
Хондробластическая остеосаркома нижней челюсти слева T1N0M0, IA стадия	Не было	29	От 33 зуба до суставного отростка слева с экзартикуляцией	
Рак альвеолярного отростка нижней челюсти справа T4aN0M0	Не было	50	От 42 зуба до суставного отростка справа с экзартикуляцией	
Липосаркома мягких тканей щеки слева с распространением на нижнюю челюсть, состояние после химиолучевого лечения	Лучевая терапия СОД 30 Гр, 6 курсов химиотерапии (аллопуринол 200 мг; ифосфамид 3960 мг; дакарбазин 1782 мг, доксорубицин 118,8 мг)	27	От 33 зуба до суставного отростка слева с экзартикуляцией	
Остеосаркома н/челюсти слева. Состояние после комбинированного лечения. Рецидив	Удаление опухоли с пластикой некротизированным гребнем подвздошной кости, ФФИ, 4 курса ПХТ препаратами доксорубицин, цисплатин	58	Тело нижней челюсти (от угла слева до 38 зуба)	

Клинический пример

Пациент Т., 58 лет, с диагнозом «остеосаркома н/челюсти слева. Состояние после комбинированного лечения. Рецидив». Ранее дважды проводилось хирургическое лечение в объеме сегментарной резекции с пластикой реконструктивной пластиной и некротизированным

аутотрансплантатом из гребня подвздошной кости. Отмечена резорбция трансплантата, рецидив в области оставшейся части тела нижней челюсти. Выполнена сегментарная резекция тела нижней челюсти (от ветви справа до ветви слева) с реконструкцией малоберцовым кожно-костным трансплантатом.

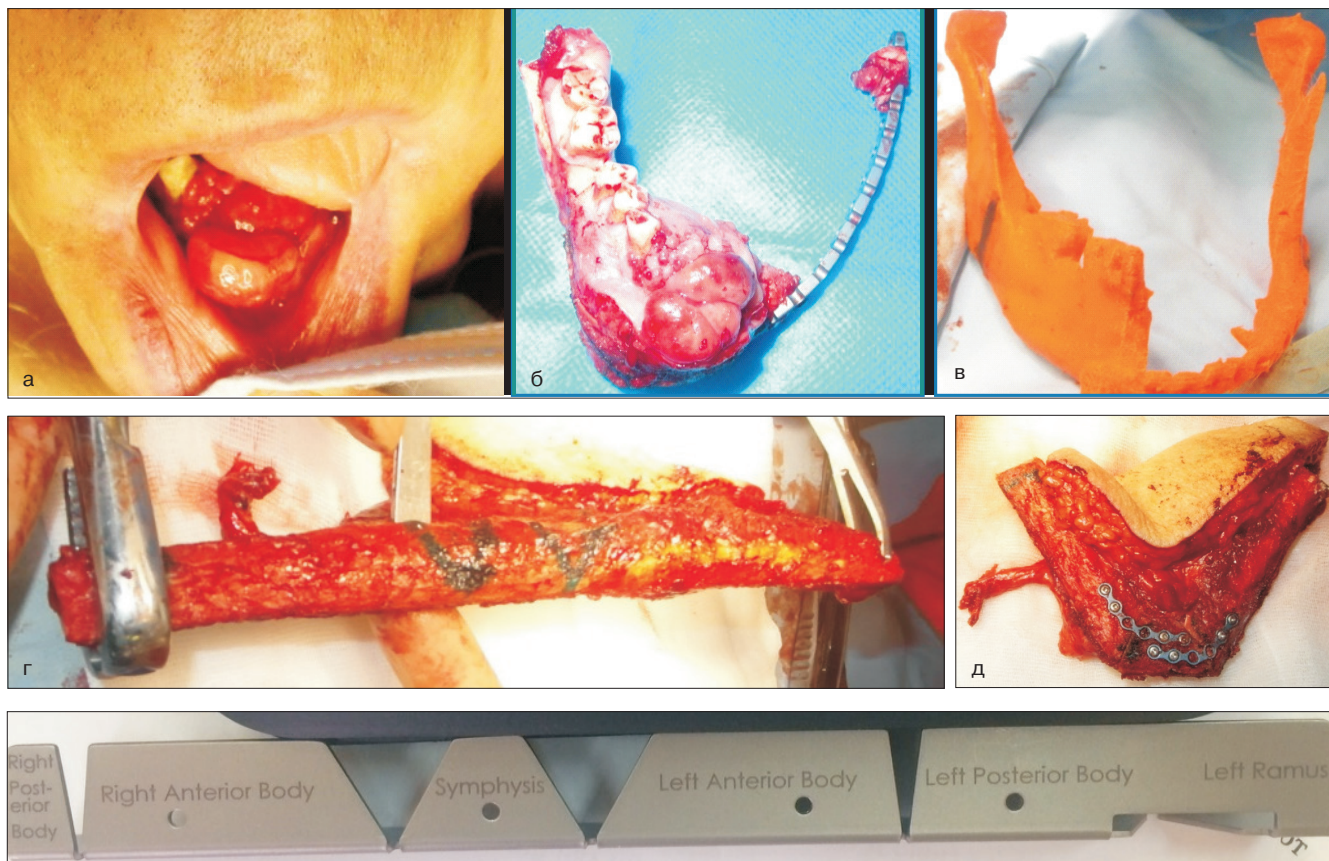


Рис. 2. а) Вид опухоли в полости рта; б) удаленный препарат; в) пластиковая модель с намеченными линиями резекции; г) малоберцовый трансплантат с намеченными линиями остеотомий; д) смоделированный трансплантат. Открытие рта, контуры нижней челюсти сохранены

Пациент П., 27 лет, с диагнозом «липосаркома мягких тканей щеки слева с распространением на нижнюю челюсть, состояние после химиолучевого лечения». Считает себя больным с сентября 2013 года, когда отметил отечность щеки слева. Обратился к стоматологу по месту жительства, заподозрен сиалоаденит, антибактериальная терапия без эффекта. В декабре 2013 года направлен в МОНИКИ, где выполнена биопсия опухолевого образования щеки, заподозрена липосаркома (гистологическое исследование от 20.01.2014 – круглоклеточная липосаркома, G1). Консультирован в Израиле, рекомендовано химиолучевое лечение. С 5 мая по 8 мая 2014 года проведен курс гипофракционной лучевой терапии на опухоль (РОД = 10 Гр, СОД = 30 Гр), а также с мая 2014 года – 6 курсов химиотерапии (аллопуринол 200 мг; ифосфамид 3960 мг; дакарбазин 1782 мг, доксорубин 118,8 мг) без значимого эффекта. Консультирован в РОНЦ РАМН, рекомендовано хирургическое лечение.

Выполнено удаление опухоли с сегментарной резекцией нижней челюсти слева с экзартикуляцией. Пластика дефекта малоберцовым реваскуляризированным кожно-мышечно-костным трансплантатом.

После операции отмечено полное приживление трансплантата, швы сняты на 12-е сут. Функция височно-нижнечелюстного сустава, пропорции лица сохранены. Планируется выполнение дентальной имплантации.

Результаты. Полное приживление трансплантата отмечено у всех 4 пациентов (100%). Краевых некрозов кожной площадки не отмечено. Швы сняты на 12-е сут. Кровоснабжение костных фрагментов лоскута визуализировано при выполнении радиоизотопного сканирования на 14-е сут после операции. Не отмечено нарушения функции донорской нижней конечности. У одного пациента развилась пневмония в послеоперационном периоде, проводилась антибактериальная терапия – пациент выписан на 17-е сут после операции.

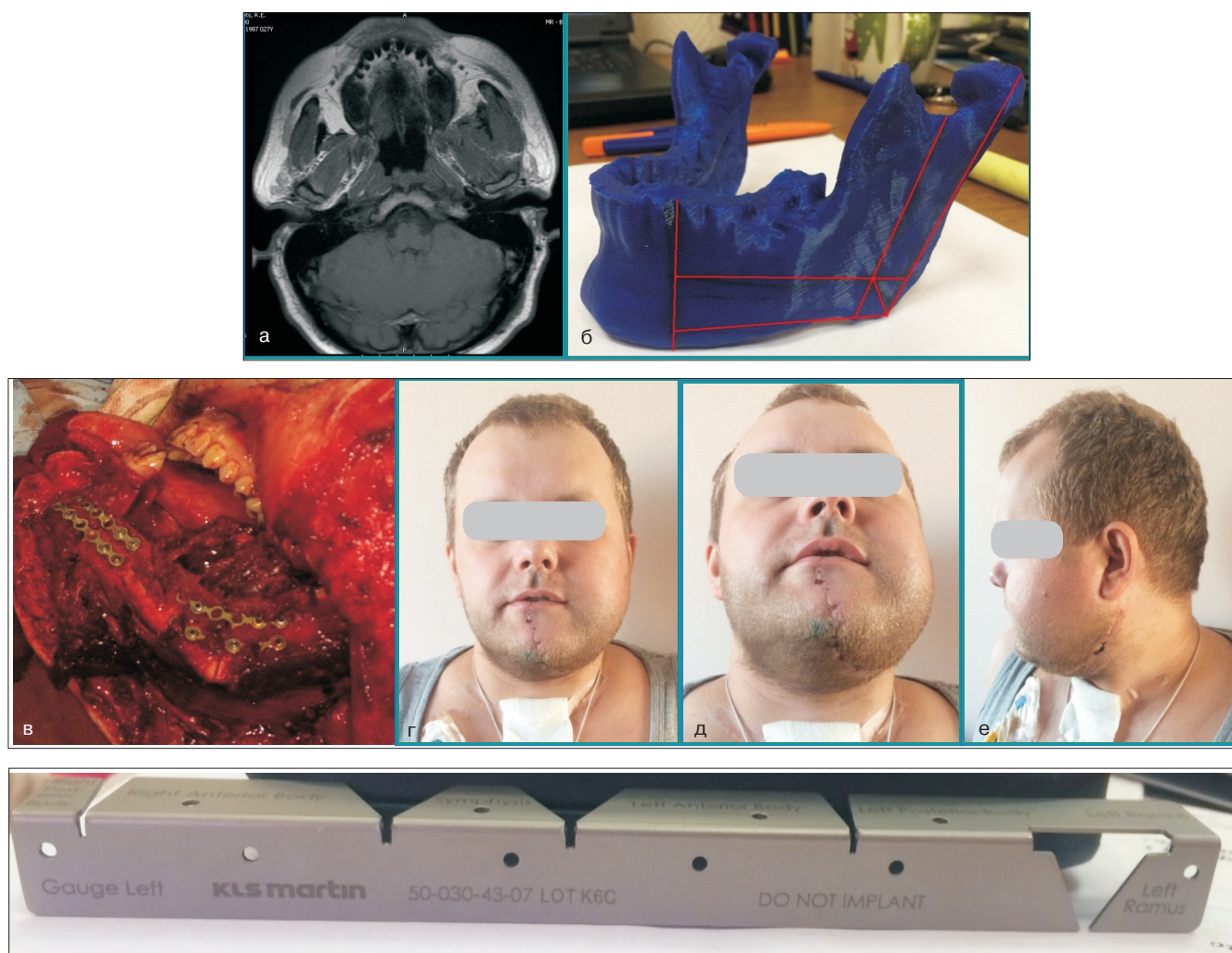


Рис. 3. а) МРТ нижней зоны лица; б) пластиковая модель, размеченная под малоберцовый трансплантат; в) смоделированный малоберцовый трансплантат фиксирован в полости рта; г, д, е) внешний вид пациента через 2 нед после операции

Заключение. Проанализировав результаты хирургического лечения данных пациентов, мы пришли к выводу, что использование 3D-моделирования помогло сократить время операции, улучшить эстетические и функциональные результаты лечения и подготовить пациента к дальнейшей дентальной реабилитации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вербо Е.В. Пластическое устранение комбинированных дефектов нижней зоны лица ревазуляризованными аутоотрансплантатами. Автореферат дисс. канд. мед. наук. М., 1998, 28 с.
2. Кротов М.А. Органосохраняющие и реконструктивные операции на нижней челюсти в комбинированном лечении рака слизистой оболочки полости рта. Автореферат дисс. д-ра мед. наук. М., 2004, 46 с.

3. Матякин Е.Г. Реконструктивные операции при опухолях головы и шеи. М.: Вердана. 2009, 224 с.
4. Соболевский В.А. Реконструктивная хирургия в лечении больных с местно-распространенными опухолями костей, кожи и мягких тканей. Автореферат дисс. д-ра мед. наук. М., 2008, 55 с.
5. InVesalius — An open-source imaging application. Thiago Franco de Moraes, Paulo Henrique Junqueira Amorim, Fábio de Souza Azevedo, Jorge Vicente Lopes da Silva. VIPIMAGE 2011, 2011, Algarve, Portugal. Computational Vision and Medical Image Processing. London: Taylor & Francis Group. 2011, v. 1, p. 405-408.
6. <http://www.blender.org/>.
7. <http://slic3r.org/>.
8. Слюсар В.И. Фаббер-технологии. Новое средство трехмерного моделирования. Электроника: наука, технология, бизнес. 2003, № 5, с. 54-60.

Статья поступила 02.02.2015 г., принята к печати 03.03.2015 г.
Рекомендована к публикации Э.Р. Мусаевым

MANDIBLE RECONSTRUCTION, USING 3D-PRINTING AND VIRTUAL STL-MODELS

Dikov Y.Y., Sobolevskiy V.A., Kropotov M.A., Ivashkov V.Y.

N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center, Moscow, Russian Federation

Key words: mandibular reconstruction, 3D-printer, 3D modeling, fibular transplant

Objective – to improve functional and aesthetic results after microsurgical mandible reconstructions, using 3d-printing. This method was used at 4 patients with massive oral cavity malignant tumors. Surgical tumor resection and simultaneous reconstruction, using fibula flap was performed. Virtual three-dimensional models of the mandible and operation planning was performed using CT-scans. These models were printed in 1:1 scale with 3d-printer(fused deposition modeling – FDM) and plastic models were used during fibula shaping. The sterilization of the models was done in the formaline chamber. This method allowed to get better functional results and decrease the operation time. Resection of the tumor, raising of the flap and shaping could be done simultaneously.