

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В СУДЕБНОЙ МЕДИЦИНЕ

Я. Фришгонс<sup>1</sup>, М. А. Кислов<sup>2,3</sup>, С. В. Леонов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт судебной медицины медицинского факультета Университета Масарика и университетская больница Св. Анны, Брно, Чехия

<sup>2</sup>ГБУЗ МО «Бюро СМЭ», Москва

<sup>3</sup>Кафедра судебной медицины ФУВ ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского, Москва

<sup>4</sup>Кафедра судебной медицины и права ФГБОУ ВО МГМСУ им. А. И. Евдокимова, Москва

**Аннотация:** 3D-печать используется в таких отраслях, как архитектура, строительство, образование, медицина, но на данный момент возможность ее применения в судебной медицине ограничивается лишь учебными пособиями. Практическое использование 3D-печати заключается в ее применении при реконструкции недостающих фрагментов костей черепа при травмах головы, после забора частей скелета для дополнительных лабораторных методов исследования.

**Ключевые слова:** 3D-печать, реконструкция, травма

## THE USE OF 3D PRINTING IN FORENSIC MEDICINE

J. Frishons, M. A. Kislov, S. V. Leonov

**Abstract:** 3D printing is used in such industries as architecture, construction, education, medicine, but at the moment the possibility of its use in forensic medicine is limited only by textbooks. The practical use of 3D printing is to use it in the reconstruction of missing fragments of the skull bones in head injuries, after taking parts of the skeleton for additional laboratory research methods.

**Keywords:** 3D printing, reconstruction, trauma

<http://dx.doi.org/10.19048/2411-8729-2018-4-2-10-12>

Технологию 3D-печати начали применять еще в 1990-х годах, используя первый метод – стереолитографию, технологию аддитивного производства моделей, прототипов и готовых изделий из жидких фотополимерных смол. Отверждение смолы происходило за счет облучения ультрафиолетовым лазером или другим схожим источником энергии. Возможность практического применения стереолитографии в судебной медицине и других судебных дисциплинах была впервые предложена С. С. Абрамовым в 1998 году [1]. Позже стереолитографию предложили применять при оценке механизма повреждений костей [2–6]. В настоящее время появилась возможность применения трехмерной печати в практике судебно-медицинского эксперта при компрессии недостающих частей скелета для реконструкции травм лица, после забора частей скелета для дополнительных инструментальных и лабораторных исследований.

### ♦ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Цифровые данные для создания трехмерной модели получают с помощью постмортальной КТ или МРТ в формате DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine), чаще всего с разрешением 640 пикселей и размером воксела<sup>1</sup> 0,25 мм.

Модель из формата DICOM создавалась в несколько этапов. На предварительном этапе выделялся необходимый элемент, выполнялась сегментация, рендеринг, обрезка и выравнивание подкадров с помощью программного обеспечения Amira 5.0.1 или InVesalius автоматически с помощью инструмента «Threshold». Затем производилась «чистовая» обработка модели: переписывание, редактирование многоугольной сети, удаление избыточной информации, определение полигонов и их сокращение, удаление фрагментов, нормализация маршрута, триан-

<sup>1</sup> Воксел (англ. voxel, образовано из слов *объемный* (англ. volumetric) и *пиксель* (англ. pixel)) – элемент объемного изображения, содержащий значение элемента раstra в трехмерном пространстве.

Воксели являются аналогами двумерных пикселей для трехмерного пространства.

гуляция, закрытие многоугольной сети или удаление внутренней сети, а также другие корректировки, выполняемые комбинацией программ Amira 5.0.1, InVesalius, GOM Inspect V8, Blender 2.77a и MeshLab. Некоторые конкретные модификации, такие как выравнивание полигональной сети, сглаживание, заполнение отверстий, редактирование многоугольной сети, выполняли в программе GOM Inspect V8 с применением оператора «Smooth Mesh» и «Close Holes». Программу Blender 2.73 использовали для редактирования, обрезки производили с помощью инструмента «Knife», сглаживание краев, добавление объема и «обшивку» – инструментом «Edge Loop». Конвертирование и редактирование модели с созданием файлов с расширениями ply, stl, obj производили в программе MeshLab. Время этих корректировок варьировалось от 30 до 120 минут. Завершение данных для типовой печати выполняли в программе Slicer – MakerBot 3.4.1.48.

Используя вращающийся инструмент, устанавливали подходящее положение печати, временные опоры, ориентацию, размер модели, форму арматуры и армирование около 5%, высота слоя печати составляла 0,2 мм, температура плавления 210 °С. Другие настройки, такие как размещение внутренних опор, выполнялись автоматически. Редактирование и печать моделей выполняли с помощью 3D-принтера MakerBot Replicator 2 в Лаборатории морфологии и судебной антропологии Института антропологии факультета естественных наук Университета Масарика (Брно, Чешская Республика). В качестве материала для печати используются PLA-кашушки молочной кислоты, алифатический сложный полиэфир разных цветов с температурой стеклования 60–65 °С, температурой плавления 173–178 °С и модулем прочности при растяжении 2,1–16 ГПа.

Размер печатной модели 3D-принтера MakerBot Replicator 2 ограничен максимальным размером области печати 28,5×15,3×15,5 см. По этой причине печать длинных костей выполняли из двух или более частей,



Рис. 1. 3D-модель левой части черепа для использования с целью реконструкции скелета



Рис. 2. 3D-модель имплантируется в качестве замены плечевой кости после изъятия для целей трансплантации

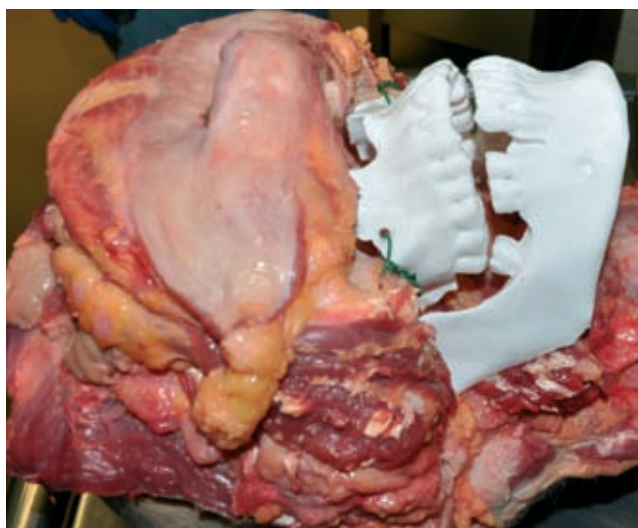


Рис. 3. 3D-модель верхней и нижней челюстей, имплантированных после изъятия костей для идентификации личности по стоматологическому статусу

которые затем соединяли двусторонним шпindelем и фиксировали клеем.

После завершения печати модель обрабатывали под конкретные задачи исследователя. Редактирование формы и размера модели выполняли осциллирующей пилой. Изменение формы также может быть достигнуто путем нагрева участка модели над горелкой. Отверстия в модели выполняли с помощью сверла, склеивание деталей сборки модели – с использованием клея на основе цианакрилата.

#### ◇ РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты 3D-печати использовали в нескольких практических случаях:

- 1) для реконструкции левой стороны лицевого скелета черепа после травмы в результате ДТП (рис. 1);
- 2) для замены удаленной правой плечевой кости после забора ее в целях трансплантации (рис. 2);
- 3) для замены верхней и нижней челюстей после удаления для целей идентификации (рис. 3).

#### ◇ ВЫВОДЫ

В ходе нашего научно-практического исследования выявлены возможности и установлены неоспоримые достоинства метода трехмерной печати, которые позволяют широко использовать данный метод в судебно-медицинской экспертной практике.

Для восстановления поврежденного или частично снятого лицевого скелета можно использовать уже напечатанные отдельные кости, которые важны для реконструкции формы скелета со средними антропологическими пропорциями. При необходимости может выполняться печать деталей скелета лица, черепа или весь череп. Печатные части доводятся до требуемой формы с помощью осциллирующей пилы и прикрепляются к уже восстановленной части скелета с помощью проволоки.

Не вызывает трудностей замена длинных и других костей после трансплантации или реконструкции после травмы.

Преимуществом трехмерных моделей является этическая составляющая (например, возможность забора костей черепа для медико-криминалистического исследования без потери «внешнего вида» трупа, что важно для последующего захоронения родственниками).

Неоспоримы и такие преимущества, как экологический аспект, простая настройка, легкий вес, долговечность и относительно высокая устойчивость к механическим повреждениям.

Большим преимуществом является и относительно низкая стоимость трехмерной печати.

#### ◇ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Абрамов С.С., Болдырева Н.Н., Евсеев А.В. О возможности применения метода лазерной стереолитографии в судебной медицине. Судебно-медицинская экспертиза. 1998;3:13–7 [The application of the method of laser stereolithography in forensic medicine. Forensic Medical Expertise. 1998;3:13–17].
2. Hull C. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. U. S. patent 4,575,330 (1986).
3. Dolz MS, Cina SJ, Smith R. Stereolithography: a potential new tool in forensic medicine. Am. J. Forensic Med. Pathol. 2000;21(2):119–23.
4. Raul JS, Deck C, Willinger R, Ludes B. Finite-element models of the human head and their applications in forensic practice. Int. J. Leg. Med. 2008;122(5):359–66.

5. Ebert LC, Thali MJ, Ross S. Getting in touch – 3D printing in Forensic Imaging. *Forensic Sci. Int.* 211(1–3):e1–6.
6. Kettner M, Schmidt P, Potente S. Reverse engineering – rapid prototyping of the skull in forensic trauma analysis. *J. Forensic Sci.* 56(4):1015–7.

Для корреспонденции

**ФРИШГОНС Ян (Jan Frišhons Ústav)** – помощник врача, Институт судебной медицины медицинского факультета Университета Масарика и университетская больница Св. Анны • **Тврдохе 2а, Брно, 66299, Чехия** • jan.frishons@fnusa.cz

**КИСЛОВ Максим Александрович** – д.м.н., заведующий танатологическим отделом ГБУЗ МО «Бюро СМЭ», профессор кафедры судебной медицины ФУВ ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского • **111401, г. Москва, ул. 1-я Владимирская, д. 33, корп. 1, ГБУЗ МО «Бюро СМЭ»** • kisllov@sudmedmo.ru {SPIN-код: 3620-8930, AuthorID: 724240, ORCID: 0000-0002-9303-7640}

**ЛЕОНОВ Сергей Валерьевич** – д.м.н., заведующий отделом медико-криминалистической идентификации 111 Главного государственного центра судебно-медицинских и криминалистических экспертиз Министерства обороны Российской Федерации, профессор кафедры судебной медицины и медицинского права ФГБОУ ВО МГМСУ им. А. И. Евдокимова Минздрава России • **127473, г. Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1**