

УДК: 616.727.3-001.5-06-089:004

3.1.8 Травматология и ортопедия

DOI: 10.37903/vsgma.2023.3.15 EDN: GHGLKR

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ В ОПЕРАТИВНОМ ЛЕЧЕНИИ СЛОЖНЫХ ПЕРЕЛОМОВ ОБЛАСТИ ЛОКТЕВОГО СУСТАВА© Лашковский В.В.¹, Иванцов В.А.¹, Василевич А.Е.²¹Гродненский государственный медицинский университет, Республика Беларусь, 230009, Гродно, ул. Горького, 80²Республиканское унитарное предприятие «Учебно-научно-производственный центр «Технолаб», Республика Беларусь, 230005, Гродно, ул. Гаспадарчая, 21/А*Резюме*

Цель. Продемонстрировать на клиническом примере значение 3D-моделирования и прототипирования для предоперационного планирования и последующего оперативного лечения сложных переломов области локтевого сустава.

Методика. Авторы приводят описание клинического случая лечения пациента со сложным переломом области локтевого сустава с применением в предоперационном периоде 3D-моделирования и прототипирования и последующего стабильно-функционального накостного остеосинтеза.

Результаты. Пациенту Г., 32-х лет, с многофрагментным ложным суставом наружной части мыщелка и головки мыщелка плечевой кости, неправильно сросшимся переломом блока, разгибательной контрактурой локтевого сустава, проведена комплексная диагностика, изготовлена 3D модель локтевого сустава, на основании которой спланировано и выполнено успешное оперативное вмешательство с последующим восстановлением функции локтевого сустава.

Заключение. Использование 3D-моделирования и прототипирования в предоперационном планировании оперативного лечения сложных переломов области локтевого сустава позволяет всесторонне визуализировать зону хирургического интереса, детально спланировать и провести хирургическое пособие с положительным клиническим результатом.

Ключевые слова: 3D-моделирование и прототипирование, сложные переломы области локтевого сустава, оперативное лечение

3D-MODELING AND PROTOTYPING IN THE SURGICAL TREATMENT OF COMPLEX FRACTURES OF THE ELBOW JOINT REGIONLashkovskij V.V.¹, Ivancov V.A.¹, Vasilevich A.E.²¹Grodno State Medical University, Gorkogo St., 80, 230009, Grodno, Republic of Belarus²Republican Unitary Enterprise "Educational Scientific-Production Center "Technolab", Gaspadarchaya St., 21/A, 230005, Grodno, Republic of Belarus*Abstract*

Objective. To demonstrate the value of 3D-modeling and prototyping for preoperative planning and subsequent surgical treatment of complex fractures of the elbow joint region using a clinical example.

Methodology. The authors describe a clinical case of treatment of a patient with fracture 13-C3 of the elbow joint area with the use of 3D-modeling and prototyping in the preoperative period and the subsequent stable-functional osteosynthesis.

Results. Patient G., 32 years old with pseudarthrosis of external condyle and capitulum humeri of the left humerus, malunion of the block fracture, extensor contracture of the elbow joint; comprehensive diagnostics was carried out, a 3D-model of the elbow joint was made. On the basis of the modeling we

planned and performed a successful surgical intervention with subsequent restoration of the elbow joint function.

Conclusion. Use of 3D-modeling and prototyping in the preoperative planning of the operative treatment of the complex fractures of the elbow joint region enables comprehensive visualization of the area of surgical interest, detailed planning and carrying out of the surgical treatment with the positive clinical result.

Keywords: 3D-modeling and prototyping, complex fractures of the elbow joint, surgical treatment

Введение

Повреждения костей области локтевого сустава являются в большинстве случаев внутрисуставными. Эти переломы по своей сложности и неблагоприятному прогнозу значительно отличаются от других видов травм. По данным Г.А. Баирова и В.В. Горелого, процент плохих результатов лечения переломов данной анатомической области в 3-9 раз превышает таковой при лечении переломов других локализаций [1]. Сравнивая результаты консервативного и оперативного лечения внутрисуставных переломов дистального отдела плечевой кости типа В и С, авторы отмечают отличные и хорошие результаты у 90,41% пациентов при оперативном лечении и 33% удовлетворительных и 20% неудовлетворительных результатов при консервативном [3]. При обширных посттравматических костных дефектах области локтевого сустава, неправильно консолидирующихся многофрагментных переломах с недопустимым стоянием отломков, используются технологии реконструктивно-пластической микрохирургии, направленные на замещение костных дефектов, создания артродеза и последующего тотального эндопротезирования локтевого сустава в более выгодных условиях [5, 6]. Благодаря аддитивным технологиям появляется возможность персонализации медицинских изделий и всесторонней визуализации зоны хирургического интереса. Обработка хирургических доступов и приемов позволяет сократить время операции и длительность наркоза, уменьшить травматизацию тканей и кровопотерю. Созданные с помощью 3D-печати имплантаты позволяют значительно улучшить результаты оперативного лечения пациентов травматолого-ортопедического и нейрохирургического профилей [7, 8]. Процесс 3D-печати начинается с проведения компьютерной томографии повреждённого сустава пациента. Далее полученные результаты конвертируют в трёхмерную компьютерную модель, которая отправляется на печать. 3D-принтер выращивает точную копию сустава, по данным которой создаётся имплант, максимально естественно подходящий пациенту [2].

Цель исследования – продемонстрировать на клиническом примере значение 3D-моделирования и прототипирования для предоперационного планирования и последующего оперативного лечения сложных переломов области локтевого сустава.

Методика

На клиническом примере показано значение 3D-моделирования и прототипирования для предоперационного планирования и последующего оперативного лечения сложного перелома области локтевого сустава.

Результаты наблюдения клинического случая

Пациент Г., 1988 г.р., поступил в УЗ «Городская клиническая больница Скорой медицинской помощи г. Гродно» 05.11.2020 г. Доставлен санитарным транспортом из Больницы скорой медицинской помощи г. Смоленска (Россия), где находился на стационарном лечении с 31.10.2020 г. по 05.11.2020 г. Из сопроводительных документов (выписной эпикриз из Больницы скорой медицинской помощи г. Смоленска, Россия) известно, что 31.10.2020 г. попал в дорожно-транспортное происшествие на территории Смоленской области, находился на лечении в нейрохирургическом отделении до 05.11.2020 г. Диагноз при поступлении в УЗ «Городская клиническая больница Скорой медицинской помощи г. Гродно»: закрытая тяжелая черепно-мозговая травма, ушиб головного мозга тяжелой степени, диффузное аксональное повреждение головного мозга? Травматическое субарахноидальное кровоизлияние. Открытый оскольчатый

перелом дистального метаэпифиза левой плечевой кости. Инфицированные раны и ссадины левого плеча и предплечья. Закрытый перелом средней трети левой локтевой кости. Внегоспитальная правосторонняя полисегментарная пневмония, ассоциированная с Covid-19 (Ig М от 05.11.2020 г.). Дыхательная недостаточность 0 ст. Трахеостома.

Пациент госпитализирован в отделение интенсивной терапии и реанимации. При поступлении – состояние тяжелое, сознание – сопор (по шкале комы Глазго 9-10 баллов), дыхание спонтанное через трахеостому. Во время нахождения в отделении выполнен ряд инструментальных методов исследования: 05.11.2020 г. магнитно-резонансная томография головного мозга, заключение: участки геморрагических ушибов в левой височной доле; 06.11.2020 г. рентгенография грудной клетки, заключение: полисегментарная пневмония справа; 06.11.2020 г. рентгенография локтевого сустава в двух проекциях, заключение: внутрисуставной многооскольчатый перелом дистального метаэпифиза плечевой кости со смещением основного отломка краниально до 3,0 см под углом и в лучевую сторону, фрагмент меньшего размера смещен кпереди под углом. Суставная щель локтевого сустава деформирована за счёт смещения отломков. Перелом средней трети локтевой кости со смещением до половины поперечника кпереди с угловой деформацией до 20° в локтевую сторону.

После стабилизации состояния 11.11.2020 г. пациент переведен в травматологическое отделение. В связи с нестабильным многооскольчатым переломом нижней трети левой плечевой кости, переломом левого предплечья, гнойными ранами левого плеча и предплечья 13.11.2020 г. выполнен внеочаговый остеосинтез аппаратом внешней фиксации «Медбиотех» чрезмышечного перелома левого плеча, вторичная хирургическая обработка и дренирование ран левой верхней конечности. В удовлетворительном состоянии 18.11.2020 г. пациент выписан на амбулаторное лечение.

11.12.2020 г. выполнен демонтаж аппарата внешней фиксации. Наложена косыночная повязка на 2 недели с последующим курсом ЛФК для локтевого сустава. Назначены препараты кальция (кальций-Д3-никомед), хондропротекторы.

18.02.2021 г. выполнена рентгенография локтевого сустава, заключение: внутрисуставной оскольчатый перелом дистального метаэпифиза плечевой кости со смещением основного отломка краниально до 3,0 см казади под углом и в лучевую сторону, фрагмент меньшего размера смещен кпереди под углом, признаков консолидации нет. Суставная щель деформирована за счёт выраженного смещения отломков. Консолидированный перелом диафиза средней трети локтевой кости со смещением до 1/2 поперечника кпереди и с угловой деформацией до 21° в локтевую сторону (рис. 1).



Рис. 1. Рентгенограмма левого локтевого сустава в 2-х проекциях

19.02.2021 г. выполнена компьютерная томография левого локтевого сустава, заключение: несросшийся внутрисуставной многооскольчатый перелом мыщелка левой плечевой кости со смещением, диастазом и ротацией костных отломков. Нарушение конгруэнтности суставных поверхностей, формирующих локтевой сустав и в проксимальном лучелоктевом сочленении. Линии перелома на большем протяжении прослеживаются. Края отломков склерозированы. Визуализируются локальные участки костной мозоли. Сросшийся перелом средней трети левой локтевой кости с угловым смещением (угол открыт кпереди).

Пациент поступил в отделение повторно 09.03.2021 г. На основании жалоб, анамнеза заболевания, клинической симптоматики (объем движений в локтевом суставе по 0-преходящему методу 0-60⁰-80⁰, амплитуда движений 20⁰), данных лабораторных и инструментальных исследований выставлен диагноз: ложный многофрагментный сустав наружной части мыщелка и головки мыщелка левой плечевой кости, неправильно сросшийся перелом блока, разгибательная контрактура левого локтевого сустава, посттравматическая деформация левого предплечья.

Принимая во внимание возраст пациента, наличие ложного сустава в области локтевого сустава, неудовлетворительный функциональный результат - показано плановое оперативное лечение. Учитывая возможности аддитивных технологий нами был создан прототип костно-хрящевых структур области посттравматической деформации локтевого сустава для трехмерной визуализации области повреждения и планирования оперативного вмешательства (рис. 2).

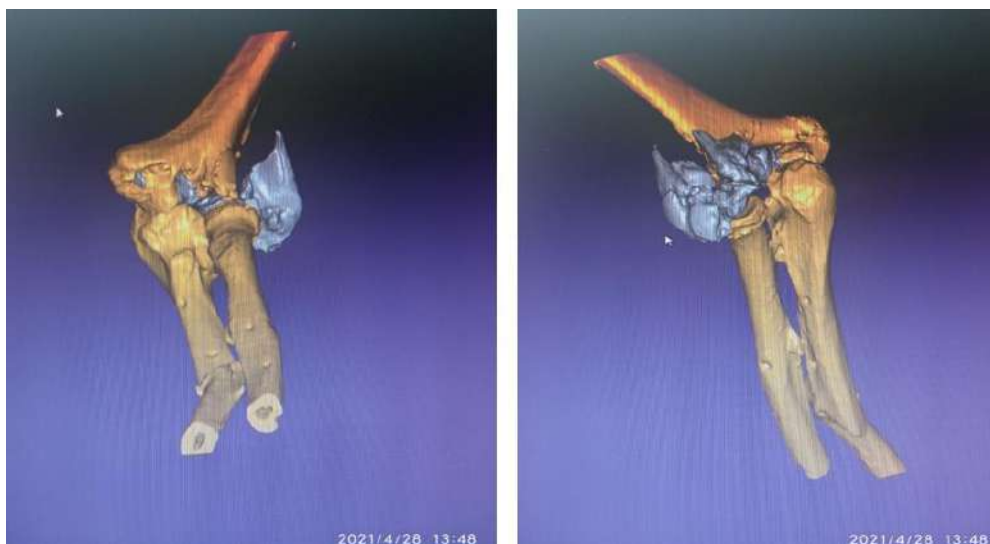


Рис. 2. Прототип 3D-модели области локтевого сустава

При создании физической модели посттравматической деформации локтевого сустава использованы цифровые данные компьютерной томографии [4]. Формат DICOM (Digital Image and Communication in Medicine) – единый унифицированный формат для передачи и хранения медицинских изображений. На первом этапе обработки данных проводилось конвертирование цифровой информации из формата DICOM в формат STL (Stereolithography), который применяется при создании и обработке трёхмерных моделей объектов (3D) для использования в аддитивных технологиях. На втором этапе выбирались области для переноса в 3D-модель. На третьем этапе создана новая поверхность каркаса будущей модели, которая экспортируется в 3D-поверхность.

Для печати полученной трехмерной модели использован 3D принтер. Печать моделей выполнялась на принтере Ultimaker S5 (технология FDM). Материал печати PLA – полилактид – экологичный, биоразлагаемый пластик, получаемый из натурального сырья. При печати по технологии FDM объекты создаются послойным выдавливанием термопластического материала из разогретого экструдера, при этом каждый слой должен поддерживаться слоем под ним. Когда под частью 3D-модели нет слоя, используются опорные конструкции.

Опорные конструкции (поддержки) печатаются вместе с основной моделью и удаляются во время последующей обработки. В связи с тем, что удаление поддержек на внутренних поверхностях модели локтевого сустава механическим способом невозможна, в качестве поддержки использовался материал REC PVA, растворимый в воде и не требующий механической обработки. Для уменьшения стоимости и времени печати внутренние поверхности моделей выполнены с коэффициентом заполнения 15-20%.

Время создания физической модели 2-3 часа, печати 20-24 часа, постобработки 1-2 часа. Стоимость моделирования модели 2440 RUB, печати 2930 RUB. Окончательный вариант 3D-модели локтевого сустава, на основании которого выполнено планирование оперативного вмешательства представлен на рис. 3.



Рис. 3. 3D-модель левого локтевого сустава

12.03.2021 г., через 4,5 месяца после травмы, выполнена операция: корригирующая остеотомия блока левой плечевой кости, костно-пластическое формирование наружной части мыщелка и головки мыщелка, артролиз локтевого сустава, металлоостеосинтез двумя реконструктивными пластинами LCP 3,5 мм с угловой стабильностью.

Под жгутом выполнен расширенный задний хирургический доступ с выделением локтевого нерва. Область локтевого сустава представлена конгломератом костно-фиброзно-хрящевых тканей. Произведен артролиз элементов локтевого сустава. Конгломерат мыщелка, состоящий из отдельных частей, включая фрагменты головчатого возвышения выделен, извлечен из раны, размещен на операционном столе.

Из крупных отломков мыщелка сформирован дистальный отдел наружной колонны плечевой кости. Произведена корригирующая остеотомия неправильно консолидированного блока и наружной колонны плечевой кости. Все внутрисуставные элементы адаптированы друг к другу и фиксированы в максимально правильном положении винтами и двумя пластинами с угловой стабильностью (рис. 4).

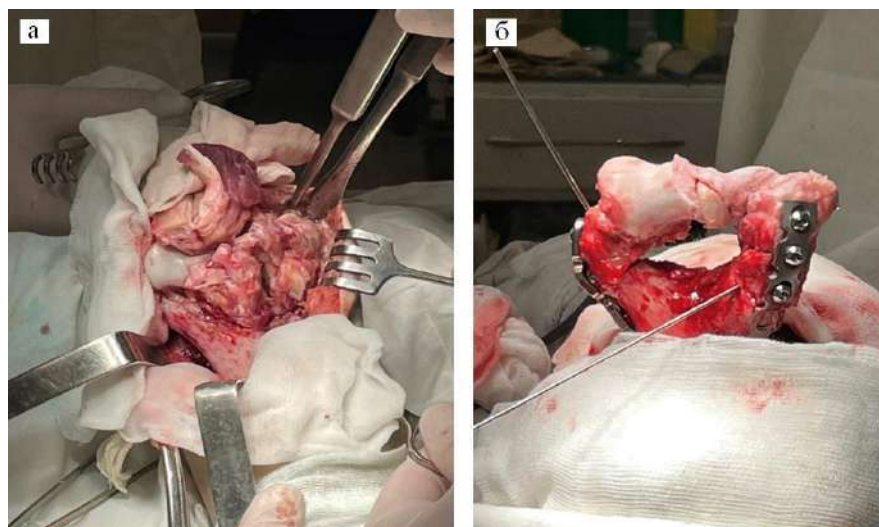


Рис. 4. а – левый локтевой сустав до металлоостеосинтеза, б – левый локтевой сустав после металлоостеосинтеза

Рентгенконтроль в 2-х проекциях, положение костных отломков расценено как удовлетворительное (рис.5). Выполнена транспозиция локтевого нерва кпереди. После вправления предплечья осуществлена его диафиксация спицами Киршнера.

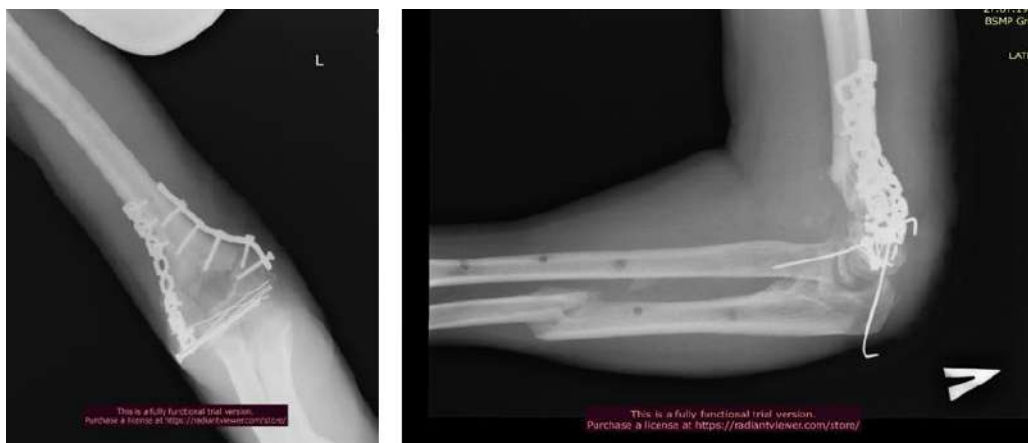


Рис. 5. Рентгенограммы локтевого сустава после операции

Послеоперационная рана ушита и дренирована. Конечность иммобилизована гипсовой лонгетой. Послеоперационный период без осложнений. Выписан на амбулаторное лечение через 14 дней после операции.

В послеоперационном периоде через 4 недели удалены 2 спицы Киршнера, через 3 месяца удален мигрировавший винт. 18.01.2022 г. через 10 месяцев после операции удалены все металлоконструкции. Послеоперационный период протекал без осложнений, рана зажила первичным натяжением. При клиническом осмотре объем активных движений в левом локтевом суставе составил: $0-40^{\circ}-120^{\circ}$ (амплитуда 80°). Субъективно результатом лечения пациент доволен. Работает водителем большегрузного автомобиля.

Обсуждение клинического случая

Моделирование и прототипирование являются важным этапом в планирование оперативного вмешательства, позволяющие детализировать особенности клинического случая и минимизировать возможные трудности при проведении оперативного вмешательства. Особенно это касается неправильно консолидирующихся или сросшихся многофрагментных переломов области локтевого сустава с недопустимым стоянием отломков. Стандартная рентгенограмма не дает полную информацию о пространственном расположении крупных и мелких фрагментов костной ткани исследуемой зоны повреждения. Внедрение в клиническую практику компьютерной томографии, а особенно – трёхмерной реконструкции компьютерных томограмм, значительно улучшило диагностику сложной костно-травматической патологии [4]. При трёхмерной реконструкции срезов компьютерной томограммы, изображение представлено в виде статичного снимка. Для создания физической модели исследуемой области посттравматической деформации полученные результаты конвертируют в трёхмерную компьютерную модель, которая отправляется на печать [10]. 3D-принтер выращивает точную копию области исследования, по данным которой создаётся имплант, максимально естественно подходящий пациенту [9].

В представленном клиническом примере, пациенту после выполнения компьютерной томограммы области локтевого сустава на Республиканском унитарном предприятии «Учебно-научно-производственный центр «Технолаб» г. Гродно (Республика Беларусь) создана физическая модель посттравматической деформации локтевого сустава. Детальное предоперационное планирование на основании индивидуальной 3D-модели локтевого сустава с всесторонней визуализацией зоны хирургического интереса позволило рассмотреть различные варианты операционного пособия, разработать наиболее рациональный хирургический доступ, последовательность оперативных манипуляций, подобрать по размерам металлические импланты, сократить время операции и длительность наркоза, уменьшить интраоперационную травматизацию тканей и кровопотерю. В описанном нами клиническом случае длительность оперативного пособия составила 2 часа 50 мин. Несмотря на сложное оперативное вмешательство удалось восстановить движения в локтевом суставе в достаточном объеме (амплитуда движений 80°) и сохранить профессию пациента.

Заключение

Применение 3D-моделирования и прототипирования для предоперационного планирования оперативного лечения сложных переломов области локтевого сустава весьма эффективно и современно. Данная технология позволяет изготовить индивидуальную модель поврежденного сегмента конечности, визуализировать область повреждения, выбрать оптимальный хирургический доступ для анатомической адаптации костных фрагментов с последующей их стабильной фиксацией. Таким образом создаются благоприятные условия для консолидации перелома и достижения хорошего клинического результата.

Литература (references)

1. Баиров Г.А., Горелый В.В. Показания к оперативному лечению переломов костей области локтевого сустава с чрескожным металлоостеосинтезом // Остеосинтез: Сб. науч. тр. Ленинградского государственного Ордена Ленина института усовершенствования врачей им. С.М. Кирова. – Л., 1974. – С. 8-9. [Bairov, G.A., Gorelyj V.V. // *Osteosintez: Sb. nauch. tr. Leningradskogo gosudarstvennogo Ordena Lenina instituta usovershenstvovaniya vrachej im. S.M. Kirova*. Osteosynthesis: Proceedings of the Leningrad State Order of Lenin Institute for Advanced Training of Physicians. S.M. Kirov. – L., 1974. – P. 8-9. (in Russian)]
2. Калагова А. В. Применение современных технологий 3 D-печати в медицине // Молодой ученый. – 2019. – Т.240, №2. – С. 54-56. [Kalagova, A. V. *Molodoy uchenyj*. Young Scientist. – 2019. – V.240, N2. – P. 54-56. (in Russian)]
3. Ключевский В.В., Бен Эль Хафи Х. Лечение около- и внутрисуставных переломов дистального отдела плечевой кости // Травматология и ортопедия России. – 2010. – Т.16, №3. – С. 96-102. [Kljuchevskij V.V., Ben Jel' Hafi H. *Travmatologija i ortopedija Rossii*. Traumatology and Orthopedics in Russia – 2010. – V.16, N3. – P. 96-102. (in Russian)]
4. Нестеренко Т.С. Полимеры и 3D-печать в ортопедии/ Сб. статей Международной научно-практической конференции «Интеллектуальный и научный потенциал XXI века». – Волгоград, 2017. – С. 111-116. [Nesterenko T.S. *Sb. statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Intellektual'nyj i nauchnyj potencial XXI veka»* In the collection: Intellectual and scientific potential of the XXI century. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference: in 4 parts. – Volgograd, 2017. – P. 111-116. (in Russian)]
5. Родоманова Л.А., Кутянов Д.И., Рябов В.А. Использование технологий реконструктивно-пластической микрохирургии в системе лечения больных с патологией локтевого сустава // Травматология и ортопедия России. – 2011. – Т.17, №3. – С. 24-31. [Rodomanova, L.A., Kutjanov D.I., Rjabov V.A. *Travmatologija i ortopedija Rossii*. Traumatology and Orthopedics in Russia – 2011. – V.17, N3. – P. 24-31. (in Russian)]
6. Шишкин В.Б. Предоперационное планирование с применением трехмерной компьютерной реконструкции и моделирования при лечении переломов костей конечностей и их последствий: Дис. ... канд. мед. наук. – М., 2021. – 120 с. [Shishkin V. B. *Predoperacionnoe planirovanie s primeneniem trehmernoj komp'juternoj rekonstrukcii i modelirovanija pri lechenii perelomov kostej konechnostej i ih posledstvij (kand. dis.)*. Preoperative planning using three-dimensional computer reconstruction and modeling in the treatment of limb bone fractures and their sequelae (Candidate Thesis) – Moscow, 2021. – 120 p. (in Russian)]
7. Яриков А.В., Горбатов Р.О., Столяров И.И., и др. Применение аддитивных технологий 3D-печати в травматологии-ортопедии и нейрохирургии // Врач. – 2021. – №10. – С.8-16. [Jarikov A.V., Gorbatov R.O., Stoljarov I.I. i dr. *Vrach*. The doctor. – 2021. – N10. – P. 8-16. (in Russian)]
8. Hunter-Smith D.J., Chae M.P., Warren R. Image-guided 3D-printing and haptic modeling in plastic surgery // CRC Taylor and Francis Press. – 2014. – V.25. – P. 811-822.
9. Trauner K.B. The Emerging Role of 3D Printing in Arthroplasty and Orthopedics // The Journal of Arthroplasty. – 2018. – V.33, N8. – P. 2352-2354.
10. Wong T.M., Jimmy Jin, Tak Wing Lau et al. The use of three-dimensional printing technology in orthopaedic surgery: A review // Journal of Orthopaedic Surgery. – 2017. – V.25, N1. – P. 1-7.

Информация об авторах

Лашковский Владимир Владимирович – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии УО «Гродненский государственный медицинский институт». E-mail: V.Lashkovski@mail.ru

Иванцов Владимир Анатольевич – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии УО «Гродненский государственный медицинский институт». E-mail: iva5861@mail.ru

Василевич Александр Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, доцент, директор Республиканского унитарного предприятия «Учебно-научно-производственный центр «Технолаб» Республики Беларусь. E-mail: vasil@grsu.by

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 02.09.2023

Принята к печати 28.09.2023