

УДК 616.717/718-001.5-089.227.84-089.163:004.94
DOI: 10.35693/2500-1388-2020-5-4-267-271

Способ предоперационного планирования наместного остеосинтеза длинных трубчатых костей

А.С. Панкратов¹, Ю.В. Ларцев¹, Х.Г. Алайо², С.В. Ардатов¹, Д.А. Огурцов¹, А.А. Рубцов¹

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России (Самара, Россия)

²Региональный госпиталь «Лас Мерседес» (Чиклайо, Перу)

Аннотация

Цель – разработать способ предоперационного планирования наместного остеосинтеза длинных трубчатых костей на основе контралатеральной здоровой кости.

Материал и методы. Для обоснования использования модели противоположного неповрежденного сегмента конечности в целях реконструкции поврежденного были проанализированы их соответствия по форме и размерам. Использовалось создание трехмерных моделей правых и левых сегментов верхних конечностей у 20 исследуемых с последующим сравнением по алгоритму дистанции Хаусдорфа. Далее пациенту 24 лет с закрытым переломом плечевой кости на основе данных компьютерной томографии плечевых костей в программе AUTOPLAN EXPERT был создан индивидуальный стереолитографический шаблон с нанесенными на него линиями перелома. По шаблону предоперационно отмоделирована пластина. С учетом расположения пластины на шаблоне и расположенных в проекции линии перелома и пластины анатомических образований был запланирован оперативный доступ. Использована техника обратной репозиции кости на подготовленной пластине.

Результаты. Выявлено несовпадение границ трехмерных моделей симметричных сегментов верхних конечностей: наибольшее (до 6,8 мм) – в зоне эпифизов (головок плечевых костей), наименьшее (не более 1,5 мм) – на протяжении всего диафизарного отдела. После проведенного предоперационного планирования интраоперационно и послеоперационно осложнения отсутствуют, сложностей с установкой пластины и остеосинтезом не было. Консолидация перелома через 3 месяца.

Выводы. Предложенный способ дает возможность изготавливать стереолитографический шаблон даже серьезно поврежденной кости с нанесенной на него линией перелома. Это позволяет определиться с возможными особенностями остеосинтеза, непо-

средственно отмоделировать пластину по шаблону, планировать длину и форму оптимального оперативного доступа, что снижает риски и травматичность операции.

Ключевые слова: предоперационное планирование, наместный остеосинтез, 3D-модель, Автоплан, шаблон.

Конфликт интересов: не заявлен.

Для цитирования:

Панкратов А.С., Ларцев Ю.В., Алайо Х.Г., Ардатов С.В., Огурцов Д.А., Рубцов А.А. **Способ предоперационного планирования наместного остеосинтеза длинных трубчатых костей.** Наука и инновации в медицине. 2020;5(4):267-271. doi: 10.35693/2500-1388-2020-5-4-267-271

Сведения об авторах

Панкратов А.С. – к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии им. академика РАН А.Ф. Краснова. ORCID: 0000-0002-6031-4824

Ларцев Ю.В. – д.м.н., профессор кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии им. академика РАН А.Ф. Краснова. ORCID: 0000-0003-4450-2486

Алайо Хавьер Гарсиа – заведующий отделением травматологии и ортопедии регионального госпиталя «Лас Мерседес».

Ардатов С.В. – к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии им. академика РАН А.Ф. Краснова. ORCID: 0000-0002-2644-5353

Огурцов Д.А. – к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии им. академика РАН А.Ф. Краснова. ORCID: 0000-0003-3830-2998

Рубцов А.А. – ординатор кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии им. академика РАН А.Ф. Краснова. ORCID: 0000-0002-9004-7018

Автор для переписки

Панкратов Александр Сергеевич

Адрес: Самарский государственный медицинский университет, ул. Чапаевская, 89, г. Самара, Россия, 443099.

E-mail: pas76@mail.ru

Тел.: +7 (927) 903 59 95.

Рукопись получена: 02.09.2020

Рецензия получена: 10.10.2020

Решение о публикации принято: 11.10.2020

A preoperative planning method for long tubular bone osteosynthesis

Aleksandr S. Pankratov¹, Yurii V. Lartsev¹, Javier Garcia Alayo², Sergei V. Ardatov¹, Denis A. Ogurtsov¹, Artemii A. Rubtsov¹

¹Samara State Medical University (Samara, Russia)

²Regional Hospital "Las Mercedes" (Chiclayo, Peru)

Abstract

Objectives – the development of a preoperative planning method for long tubular bone osteosynthesis using the contralateral healthy bone.

Material and methods. To justify the usage of the opposite limb's intact segment model in order to reconstruct the damaged one, their matching in shape and size was analyzed. We built three-dimensional models of the right and left segments of the upper limbs of 20 people and compared them using the Hausdorff distance calculation algorithm. For treatment of a 24-year-old patient with a closed humerus fracture, an individual stereolithographic surgical template with fracture lines

was created with the help of computed tomography data of the healthy humerus bone processed by AUTOPLAN EXPERT software. This template was used for pre-bending the plate for osteosynthesis. The plate positioning on the template defined the surgical approach, taking into account the anatomical structures located in the projection of the fracture line and the plate. The technique of "reverse bone reposition" on the prepared plate was applied.

Results. With the help of the created 3D models we revealed the size differences of the symmetrical segments of upper limbs. The greatest

difference in the limits was registered in the area of the epiphyses (heads of the humeri) – up to 6.8 mm, and the smallest – throughout the entire diaphysis, less than 1.5 mm. Due to preoperative planning there were no intraoperative and postoperative complications, the installation of the plate and osteosynthesis was convenient. The fracture consolidation took place in 3 months.

Conclusion. The proposed method has a number of advantages. It is possible to make a stereolithographic template even for a seriously damaged bone with a copied fracture line. This allows the surgeon to plan the details of osteosynthesis, to model the plate according to the template, to determine the required length and shape of the surgical approach, thus reducing the surgical risks and injury for the patient.

Keywords: preoperative planning, plate osteosynthesis, 3D-model, AutoPlan, template.

Conflict of interest: nothing to disclose.

Citation

Pankratov AS, Lartsev YuV, Alayo JG, Ardatov SV, Ogurtsov DA, Rubtsov AA.

A preoperative planning method for long tubular bone osteosynthesis.

Science & Innovations in Medicine. 2020;5(4):267-271.

doi: 10.35693/2500-1388-2020-5-4-267-271

Information about authors

Aleksandr S. Pankratov – PhD, Associate Professor of the Department of Traumatology, orthopaedics and emergency surgery n.a. academician of RAS Krasnov AF. ORCID: 0000-0002-6031-4824

Yurii V. Lartsev – PhD, Professor of the Department of Traumatology, orthopaedics and emergency surgery n.a. academician of RAS Krasnov AF. ORCID: 0000-0003-4450-2486

Javier Garcia Alayo – the Head of the Department of Traumatology and orthopedics, Regional Hospital "Las Mercedes".

Sergei V. Ardatov – PhD, Associate Professor of the Department of Traumatology, orthopaedics and emergency surgery n.a. academician of RAS Krasnov AF. ORCID: 0000-0002-2644-5353

Denis A. Ogurtsov – PhD, Associate Professor of the Department of Traumatology, orthopaedics and emergency surgery n.a. academician of RAS Krasnov AF. ORCID: 0000-0003-3830-2998

Artemii A. Rubtsov – resident of the Department of Traumatology, orthopaedics and emergency surgery n.a. academician of RAS Krasnov AF. ORCID: 0000-0002-9004-7018

Corresponding Author

Aleksandr S. Pankratov

Address: Samara State Medical University,
89 Chapaevskaya st., Samara, Russia, 443099.

E-mail: pas76@mail.ru

Phone: +7 (927) 903 59 95.

Received: 02.09.2020

Revision Received: 10.10.2020

Accepted: 11.10.2020

■ ВВЕДЕНИЕ

Накостный остеосинтез является разновидностью погружного остеосинтеза. Он обеспечивает стабильную фиксацию без внешней иммобилизации и позволяет осуществлять ранние реабилитационные мероприятия. В этой технологии основными этапами являются репозиция отломков с последующей их фиксацией металлофиксатором. Накостные пластины к настоящему времени прошли длинный эволюционный путь, поэтому диапазон выбора импланта у хирурга достаточно широк [1].

При репозиции важнейшей целью является обеспечение восстановления длины, ротации и оси кости. Для того чтобы обеспечить хорошую репозицию, правильно подобрать и смоделировать пластину, необходимо предоперационное планирование операции. Это не всегда удается сделать с использованием обычных рентгенограмм, особенно при сложных переломах. Попытка подобрать и смоделировать пластину интраоперационно после репозиции отломков увеличивает время операции [2].

За последние годы в иностранной литературе появились работы, посвященные трехмерному предоперационному планированию и интраоперационным навигационным системам при лечении переломов [3].

Самой распространенной технологией является попытка выполнить компьютеризированную репозицию трехмерных моделей отломков по ключевым точкам линии излома с последующей 3D-печатью отрепонируемой кости, которая затем используется для планирования доступа, выбора пластины [4]. Однако многие исследователи указывают на ряд недостатков такого способа [5]. Во-первых, недостаточно ясна методика выбора ключевых точек репозиции, чаще используются точки «на глаз», пока полученная на экране репозиция не устроит хирурга. Это, в свою очередь, увеличивает количество ошибок и неточностей результата репозиции. Во-вторых, неавтоматизированная репозиция может занять продолжительное время и требует непосредственного участия хирурга.

Лукун Сан с соавторами [6] провел ретроспективное исследование аддитивной технологии малоинвазивного мостовидного остеосинтеза при переломах бедренной кости. Использовалась автоматическая симуляция репозиции отломков 3D-модели бедренных костей при помощи софта Mimics Research 18.0. После выбора модели пластины из базы данных и ее позиционирования на модели кости в соответствии с выбранной позицией винтов на 3D-принтере создаются «поддерживающие колонны» на общей платформе, играющие роль втулок для проведения винтов на пластине во время операции. Основным недостатком этого способа, по словам самих авторов, является неспособность программы выполнять трехмерную реконструкцию сложных многооскольчатых переломов.

Другим направлением в предоперационном планировании является печать самих накостных пластин на основе компьютерных томограмм. Так, Матев Томаджевич [7] провел исследование, в котором создавались полиамидные пластины по форме костей искусственного полимерного таза. Анатомичность этих пластин сравнивалась с изогнутыми по форме таза несколькими реконструктивными пластинами. Недостатком технологии является дороговизна и длительность печати (до 5 дней) пластин из титановых сплавов для применения в хирургической практике.

■ ЦЕЛЬ

Разработка способа предоперационного планирования накостного остеосинтеза длинных трубчатых костей на основе контралатеральной здоровой кости.

■ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для обоснования использования модели противоположного неповрежденного сегмента конечности в целях реконструкции поврежденного мы проанализировали их анатомические несоответствия по форме и размерам (поскольку в современной зарубежной и отечественной литературе подобных данных найдено не было). Анализ проводился на базе программного

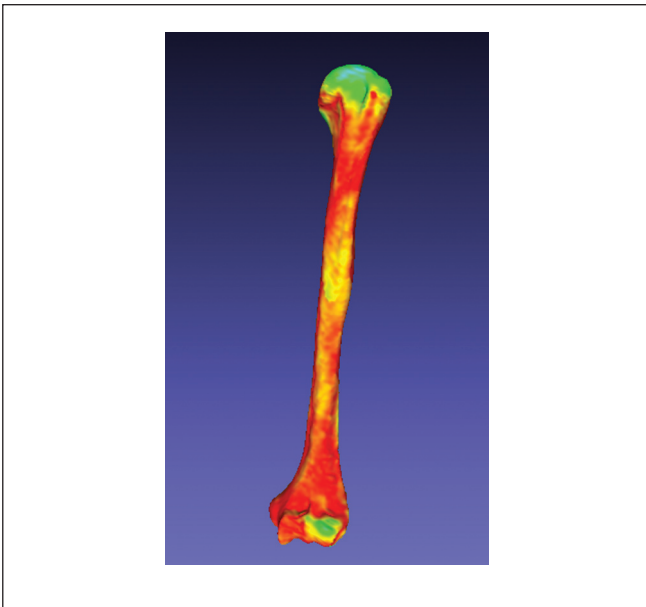


Рисунок 1. Совмещенные взаимно левая и зеркальная копия правой плечевые кости.

Цветное картирование обозначает расстояние между одинаковыми локациями на костях. Красный цвет маркирует разницу не более 0,1 мм, желтый цвет – не более 1,5 мм, зеленый – от 1,5 до 5 мм, синий – более 5 мм.

Figure 1. Mated humeri left and right (in mirror copy). Color mapping indicates the distance between the identical locations on the bones. Red color marks a difference of no more than 0.1 mm, yellow – no more than 1.5 mm, green – from 1.5 to 5 mm, blue – more than 5 mm.

обеспечения AUTOPLAN EXPERT (система обработки изображений стандарта DICOM с расширенными возможностями реконструкции, построения персонализированных 3D-моделей с целью планирования хирургических вмешательств и дополнительной диагностической визуализации, с автоматизированной сегментацией костных структур, легких, печени и сосудов).

Были отобраны 20 здоровых исследуемых. Им была выполнена компьютерная томография верхних конечностей, и на ее основе сформированы объемные модели плечевых костей. Зеркально отраженная копия правой кости спроецирована на левую, после чего использован алгоритм дистанции Хаусдорфа [8]. Алгоритм вычисляет дистанцию между одинаковыми точками спроецированных друг на друга костей. Для лучшего понимания результат визуализирован в виде модели с цветным картированием (**рисунок 1**).

В итоге выяснено, что расхождение между костями в диафизарном сегменте у всех исследуемых не превышает толщины кортикального слоя. Такое расхождение позволяет считать обоснованным применение моделей неповрежденных одноименных сегментов конечностей для реконструкции поврежденных.

Далее исследование проводилось с использованием способа предоперационного планирования накостного остеосинтеза длинных трубчатых костей [9].

Выполняется компьютерная томография аналогичной неповрежденной кости противоположной конечности. С помощью программного обеспечения AUTOPLAN EXPERT обрабатываются данные,

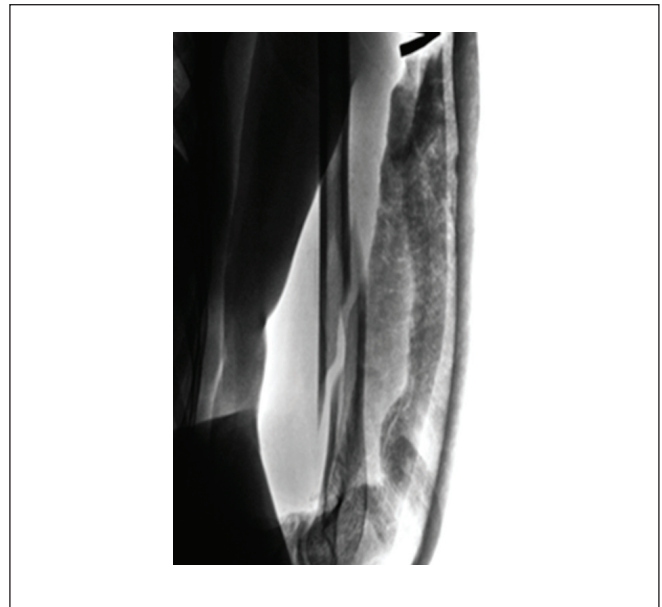


Рисунок 2. Рентгенограмма левой плечевой кости. Закрытый перелом левой плечевой кости на границе средней и нижней третей со смещением отломков.

Figure 2. X-ray of the left humerus. Closed fracture of the left humerus at the border of the middle and lower thirds with displacement of fragments.

создаются трехмерные модели интактной кости и отломков поврежденной кости. С помощью программного обеспечения Meshlab создается зеркальная модель интактной кости. Ее последовательно совмещают с моделями отломков поврежденной кости, сопоставляя их между собой и нанося на зеркальную модель интактной кости контур линии перелома. На основе полученной модели на 3D-принтере изготавливается полноразмерный стереолитографический шаблон, соответствующий поврежденной кости, с нанесенными на него линиями перелома в виде борозд.

До операции моделируют пластину по стереолитографическому шаблону и планируют оперативный доступ, учитывая расположение линии перелома.

Благодаря предварительному персонализированному моделированию на шаблоне, при открытом остеосинтезе предлагается использовать пластину своеобразной матрицей для выполнения обратной репозиции костных фрагментов, которые фактически «собираются» на ней, тем самым обеспечивая полное анатомическое восстановление целостности кости.

Предложенный способ предоперационного планирования остеосинтеза длинных трубчатых костей иллюстрируется клиническим примером.

■ КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР

Пациент О., 24 лет, обратился в травматологическое отделение с жалобами на боли в средней трети левой плечевой кости после падения на улице. При осмотре больному был поставлен следующий диагноз: «закрытый перелом левой плечевой кости на границе средней и нижней третей со смещением отломков». Рентгенограмма плечевой кости пациента представлена на **рисунке 2**. Выполнено предоперационное планирование по указанной выше методике.



Рисунок 3. Индивидуальный стереолитографический шаблон левой плечевой кости пациента. Стрелкой указана нанесенная на шаблон линия перелома левой плечевой кости.
Figure 3. Individual stereolithographic template of the patient's left humerus. The arrow indicates the fracture line of the left humerus copied to the template.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выявлено несовпадение границ трехмерных моделей симметричных сегментов верхних конечностей: наибольшее (до 6,8 мм) – в зоне эпифизов (головок плечевых костей), наименьшее (не более 1,5 мм) – на протяжении всего диафизарного отдела.

На основе предлагаемого способа, обработки данных компьютерной томографии поврежденной и интактной плечевых костей был создан индивидуальный стереолитографический шаблон (рисунок 3) с нанесенной на него линией перелома в виде борозды.



Рисунок 4. Накостная пластина, отмоделированная по индивидуальному стереолитографическому шаблону.
Figure 4. A bone plate modeled on the individual stereolithographic template.

По этому шаблону с учетом хода линии перелома было выбрано оптимальное расположение пластины. Последняя была отмоделирована по шаблону (рисунок 4).

С учетом расположения пластины на шаблоне был запланирован оперативный доступ определенной формы и длины с учетом расположенных в проекции линии перелома и пластины анатомических образований. Интраоперационно никаких осложнений, травм анатомических структур, сложностей с установкой пластины и остеосинтезом костных отломков не возникло.

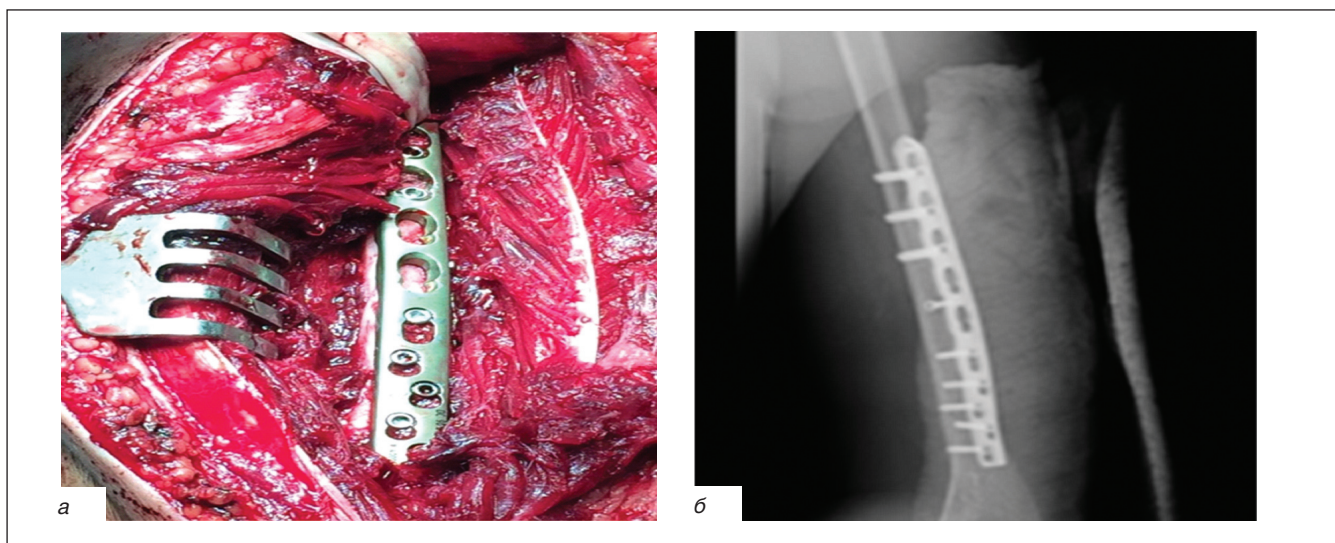


Рисунок 5. а) Интраоперационный вид после остеосинтеза левой плечевой кости предоперационно моделированной пластиной.
 б) Послеоперационная рентгенография левой плечевой кости.
Figure 5. a) Intraoperative view after osteosynthesis of the left humerus with a preoperatively modeled plate.
 b) Postoperative radiography of the left humerus.

Целостность кости была восстановлена, что подтвердила и контрольная рентгенограмма плечевой кости в послеоперационном периоде (**рисунок 5**). Пациента осматривали в динамике. Спустя 3 месяца после операции отмечали консолидацию перелома.

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенный способ обладает рядом преимуществ. Есть возможность изготовления стереолитографического шаблона даже серьезно поврежденной кости с нанесенной на него линией перелома. Это позволяет наглядно определиться с характером перелома, возможными особенностями остеосинтеза, непосредственно отмоделировать пластину по шаблону, заметив особенности расположения и ее, и винтов. Зная локализацию расположения пластины на шаблоне, можно планировать длину и форму оптимального оперативного доступа, что снижает риски и травматичность операции.

Кроме того, «обратная» репозиция отломков на пластине субъективно значительно облегчает процесс для хирурга. Время оперативного вмешательства при этом

уменьшается в среднем на 20–25 минут по сравнению с обычным остеосинтезом плечевой кости, при этом не повреждаются ткани в зоне перелома, уменьшается травмирование надкостницы, что снижает интенсивность репаративного остеогенеза.

■ ВЫВОДЫ

Предложенный способ предоперационного планирования остеосинтеза длинных трубчатых костей обеспечивает точное персонализированное моделирование металлофиксатора по шаблону и планирование оперативного доступа с учетом линии перелома и расположения пластины. Это снижает трудоемкость, инвазивность, время оперативного вмешательства, а также повышает его эффективность. Способ может широко применяться в травматолого-ортопедических стационарах. ■

Конфликт интересов: все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Michael J Beltran, Cory A Collinge, Michael J Gardner. Stress Modulation of Fracture Fixation Implants. *J Am Acad Orthop Surg*. 2016 Oct;24(10):711–9. doi: 10.5435/JAAOS-D-15-00175
2. Juan J Jiménez-Delgado, Félix Paulano-Godino, Rubén Pulido Ram-Ramírez, J Roberto Jiménez-Pérez. Computer assisted preoperative planning of bone fracture reduction: Simulation techniques and new trends. *Med Image Anal*. 2016 May;30:30–45. doi: 10.1016/j.media.2015.12.005. Epub 2016 Jan 13.
3. Yuichi Yoshii, Yasukazu Totoki, Satoshi Sashida, Shinsuke Sakai, Tomoo Ishii. Utility of an image fusion system for 3D preoperative planning and fluoroscopy in the osteosynthesis of distal radius fractures. *J Orthop Surg Res*. 2019 Nov 6;14(1):342. doi: 10.1186/s13018-019-1370-z
4. Bin Liu, Song Zhang, Jianxin Zhang, et al. A personalized preoperative modeling system for internal fixation plates in long bone fracture surgery—A straightforward way from CT images to plate model. *Int J Med Robot*. 2019 Oct;15(5):e2029. doi: 10.1002/rcs.2029
5. Nicolas Martelli, Carole Serrano, Hélène van den Brink, et al. Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review. *Surgery*. 2016 Jun;159(6):1485–1500. doi: 10.1016/j.surg.2015.12.017 Epub 2016 Jan 30.
6. Lukun Sun, Hua Liu, Chuntao Xu, et al. 3D printed navigation template-guided minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis for distal femoral fracture: A retrospective cohort study. *Injury*. 2020 Feb;51(2):436–442. doi: 10.1016/j.injury.2019.10.086 Epub 2019 Oct 31.
7. Matevž Tomaževič, Anže Kristan, Atul F Kamath, Matej Cimerman. 3D printing of implants for patient-specific acetabular fracture fixation: an experimental study. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2019 Oct 22. doi: 10.1007/s00068-019-01241-y
8. Mahsa Ghaffari, Lea Sanchez, Guoren Xu, et al. Validation of parametric mesh generation for subject-specific cerebroarterial trees using modified Hausdorff distance metrics. *Comput Biol Med*. 2018 Sep 1;100:209–220. doi: 10.1016/j.compbiomed.2018.07.004 Epub 2018 Jul 7.
9. Kotelnikov GP, Kolsanov AV, Pankratov AS, et al. A preoperative planning method for long tubular bone osteosynthesis. RF patent 2709838/23.12.2019. (In Russ.). [Котельников Г.П., Колсанов А.В., Панкратов А.С. и др. Способ предоперационного планирования наkostного остеосинтеза длинных трубчатых костей. Патент РФ на изобретение №2709838/23.12.2019 Бюл. № 36]. https://new.fips.ru/registers-doc view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002709838&TypeFile=htm