

# Варианты использования 3D-моделирования в детской хирургии

Соколов Ю. Ю.<sup>1</sup>, Топилин О. Г.<sup>1</sup>, Айрапетян М. И.<sup>2</sup>, Суходольская О. В.<sup>2</sup>, Выдыш С. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения г. Москвы, (119049, Москва, 4-й Добрынинский пер., 1/9, Российская Федерация)

<sup>2</sup> Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский Университет), (119991, Москва, Трубецкая, 8, Российская Федерация)

## Резюме

### Для переписки:

Айрапетян

Максим Игоревич

e-mail:

Drairmaxim@gmail.com

3D-технологии являются перспективным направлением в развитии медицины. Многочисленные публикации последних лет демонстрируют возможности использования 3D-моделирования в диагностике заболеваний, планировании оперативных вмешательств, интраоперационной навигации, разработке индивидуальных имплантов, а также обучении специалистов. В данной статье представлен опыт внедрения 3D-технологий в практику детского хирурга на примере трех клинических случаев, когда выполненная по данным компьютерной томографии 3D-модель позволила уточнить диагноз и спланировать оперативное вмешательство. Первый пациент – мальчик 3 лет с сосудистой компрессией левого главного бронха, нарушением вентиляции левого легкого. 3D-визуализация зоны интереса позволила установить, что основной причиной компрессии являлась артериальная связка. Второй пациент – мальчик 6 месяцев с подтвержденной двусторонней

хондромезенхимальной гамартомой грудной стенки. Объем и этапность оперативного лечения, а также наиболее подходящий вариант замещения дефекта был разработан после создания полимерной 3D-модели грудной клетки ребенка. Третий пациент – девочка 17 лет с сохраняющейся гиперкальциемией после удаления аденомы паращитовидной железы. Ребёнку была выполнена повторная компьютерная томография и выявлено образование, расцененное как эктопированная ткань паращитовидной железы. Использование 3D-модели и AR-технологии для интраоперационной навигации позволило точно определить расположение патологической ткани. Данные клинические случаи демонстрируют возможности и эффективность использования 3D-моделирования в детской хирургии, а также подтверждают, что это перспективное направление в развитии медицины, открывающее новые возможности для врачей-клиницистов.

EDN: VWCXUQ



**Ключевые слова:** 3D-моделирование, дополненная реальность, хирургия, дети, клинический случай

# The clinical use of 3D-modeling in pediatric surgery

Yu. Yu. Sokolov<sup>1</sup>, O. G. Topilin<sup>1</sup>, M. I. Airapetyan<sup>2</sup>, O. V. Sukhodolskaya<sup>2</sup>, S. V. Vidysh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Morozov Children's City Clinical Hospital of the Moscow Healthcare Department,  
(119049, Moscow, 1/9 4th Dobryninsky lane, Russian Federation)

<sup>2</sup> I.M.Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University),  
(119991, Moscow, 8–2 Trubetskaya str., Moscow, Russian Federation)

## Summary

3D-technologies are a promising direction in the development of medicine. Numerous publications in recent years demonstrate the potential use of 3D-modeling in disease diagnosis, surgical planning, intraoperative navigation, development of individual implants, and specialist training. In this article, we present the experience of implementing 3D-technologies in the practice of a pediatric surgeon using three clinical cases where the use of 3D models based on computed tomography data allowed for more accurate diagnosis and surgical planning. The first patient was a 3-year-old boy with vascular compression of the left main bronchus and impaired ventilation of the left lung. After 3D-visualization of the area of interest, an arterial ligament causing the compression was visualized as the main cause. The second patient was a 6-month-old

boy with confirmed bilateral chondromesenchymal hamartoma of the chest wall. The volume and staging of the surgical treatment, as well as the most suitable option for defect replacement, were developed after creating a polymer 3D-model of the child's chest. The third patient was a 17-year-old girl with persistent hypercalcemia after removal of a parathyroid adenoma. A repeat computed tomography revealed an ectopic parathyroid tissue. The use of 3D-models and AR-technology for intraoperative navigation allowed for precise determination of the location of the pathological tissue.

These clinical cases demonstrate the potential and effectiveness of using 3D-modeling in pediatric surgery and confirm that this is a promising direction in the development of medicine, opening up new possibilities for clinicians.

## Corresponding author:

Maxim I. Airapetyan

e-mail:

[Drairmaxim@gmail.com](mailto:Drairmaxim@gmail.com)

**Keywords:** 3D-modeling, augmented reality, surgery, children, clinical case

## Введение

В современной медицине 3D-технологии все больше входят в практику врачей-клиницистов. Спектр их использования разнообразен, начиная от обучения студентов и заканчивая интраоперационным мониторингом, и становится все больше по мере развития научно-технического прогресса. 3D-моделирование лежит в основе использования виртуальной (VR), дополненной (AR) и смешанной (MR) реальности [1]. Чем сложнее хирургическая пато-

логия, тем важнее адекватная оценка анатомии интересующего локуса и синтопии органов на этапе предоперационного планирования для выбора техники оперативного приема.

В нашем исследовании представлены три клинических примера, где 3D-моделирование в различных своих вариациях было успешно использовано на этапах диагностики, предоперационного планирования и хирургического лечения пациентов.

## Клинические примеры

Пациенты были госпитализированы в торакальное отделение ГБУЗ Морозовской ДГКБ. Создание 3D-моделей выполнялось с использованием программы Radiant DICOM viewer на основании результатов компьютерной томографии.

Первый клинический случай, мальчик 3 лет, поступил с жалобами на частые рецидивирующие бронхиты, снижение толерантности к физическим нагрузкам. По результатам компьютерной томографии органов грудной полости с внутривенным контрастированием были выявлены врожденный порок, представленный правой дугой аорты и сужение левого главного бронха неясной этиологии. Проведение диагностической бронхоскопии подтвердило сдавление левого главного бронха извне с передаточной пульсацией. После 3D-реконструкции зоны интереса основной причиной сдавления была признана артериальная связка (облитерированный Боталлов проток). На примере напечатанной на 3D-принтере модели мы убедились, что мини-инвазивное вмешательство, состоящее в торакоскопическом пересечении артериальной связки с мобилизацией аорты и левого главного бронха, будет эффективно для достижения хорошего функционального результата. Таким образом, уточнение анатомических взаимоотношений сосудистых структур и бронха до операции с помощью 3D-модели улучшило диагностические возможности. Полученная информация позволила спланировать хирургический доступ и этапы операции, а также, субъективно, уменьшить время оперативного вмешательства.

Второй клинический случай – у мальчика 6 месяцев, по данным КТ органов грудной полости с внутривенным контрастированием, были выявлены образования грудной клетки больших размеров, исходящие из ребер и компримирующие легочную ткань с двух сторон. По данным биопсии патологических тканей диагностирована редкая (частота встречаемости 0,03% от всех первичных образований кости) доброкачественная опухоль детского возраста – хондромезенхимальная гамартома. Перед оперативным лечением для планирования этапов хирургического вмешательства, оценки предполагаемого объема операции и способа реконструкции грудной стенки была создана полимерная 3D-модель в масштабе 1:1. Печать проводилась при помощи принтера Formlabs form 2. На этапе предоперационного планирования 3D-модель позволила выполнить симуляцию предстоящих оперативных вмешательств, моделирование реконструкции дефектов грудной клетки. Было выявлено, что справа возможно восполнить недостаток костных тканей перемещением нижележащего интактного ребра, однако слева для сохранения каркасности грудной клетки необходим имплант. Поэтому первым этапом ребёнку было выполнено удаление образования справа с резекцией четвертого и пятого ребер и реконструктивной торакопластикой местными тканями. Вторым этапом ребёнку было выполнено удаление патологических тканей слева, резекция третьего и четвертого ребра. Образовавшийся дефект был укрыт выкраенным аллотрансплантатом из пластины Codubix, размер и положение

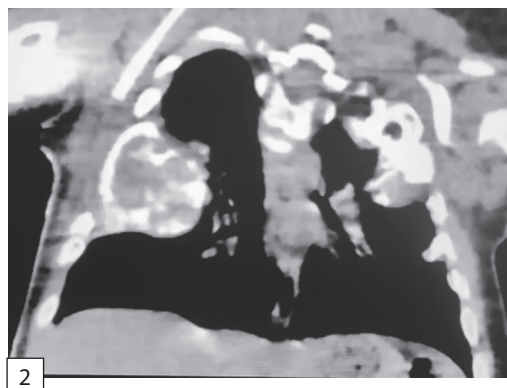
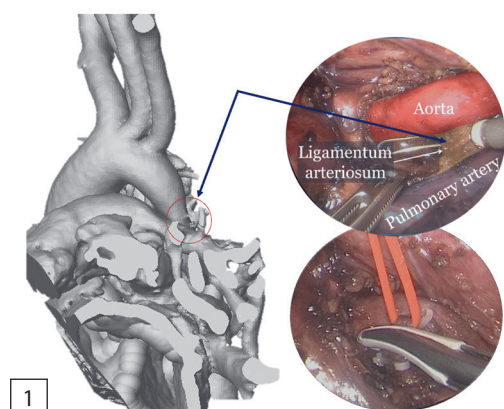


Рисунок 1.

3D-реконструкция зоны стеноза левого главного бронха и интраоперационная картина. Причина стеноза – артериальная связка (стрелка).

Figure 1.

3D-reconstruction of the left main bronchus stenosis area and intra-operative image. The cause of the stenosis is arterial ligament (arrow).

Рисунок 2.

Компьютерная томография органов грудной полости ребенка с двусторонней хондромезенхимальной гамармой грудной стенки.

Figure 2.

Computed tomography scan of the chest organs of a child with bilateral chondromesenchymal hamartoma of the chest wall.

которого были уточнены заранее, согласно распечатанной 3D-модели. Таким образом, мы считаем, что создание 3D-модели является необходимым этапом планирования сложных реконструктивных операций на грудной стенке у детей [2].

Третий клинический случай – девочка 17 лет с первичным гиперпаратиреозом, обусловленным эктопией аденомы паращитовидной железы. Пациентка обратилась с жалобами на повышенную утомляемость, изменение настроения, депрессивное состояние, эпизоды повышения артериального давления до 140–150/80–90. Обследование подтвердило наличие гиперкальциемии, гипофосфатемии, и значительное повышение уровня паратгормона в крови (188,4–267,3 пг/мл). Для уточнения топографии паращитовидных желез была выполнена компьютерная томография шеи, сцинтиграфия с Технецием-99 (99mTc) (Рис. 1), комбинированная однофотонная эмиссионная КТ/КТ (ОФЭКТ/КТ) (Рис. 2), в результате чего выявлены признаки аденомы нижней правой паращитовидной железы. Пациентке была выполнена селективная паратиреоидэктомия с частичной резекцией

нижнего полюса правой доли щитовидной железы, интраоперационно дополнительных образований выявлено не было. Однако незначительное снижение уровня паратгормона (189–207,2 пг/мл), общего кальция (2,6–3,26 ммоль/л) и ионизированного кальция (1,32–1,41 ммоль/л) в крови свидетельствовали о наличии гиперфункционирующей паратиреоидной ткани. Ребёнку была выполнена повторная компьютерная томография и выявлено образование овальной формы, размером 11х4,5х27мм., накапливающее контрастный препарат идентично ткани щитовидной железы. Образование расценено как ранее не обнаруженная эктопированная ткань паращитовидной железы. При помощи 3D-моделирования и технологии дополненной реальности (AR), доступной в программе MeDicom, данные КТ были использованы для интраоперационной навигации при повторном хирургическом вмешательстве, что значительно облегчило обнаружение опухолевидного образования, после удаления которого уровень паратгормона достиг референсных значений, что подтвердило адекватность выполненного вмешательства [3]

## Обсуждение

В сфере хирургии 3D-технологии актуальны в следующих направлениях: обучение и отработка практических навыков, предоперационное планирование, в частности, разработка индивидуально имплантируемых материалов, и интраоперационная навигация [1, 4].

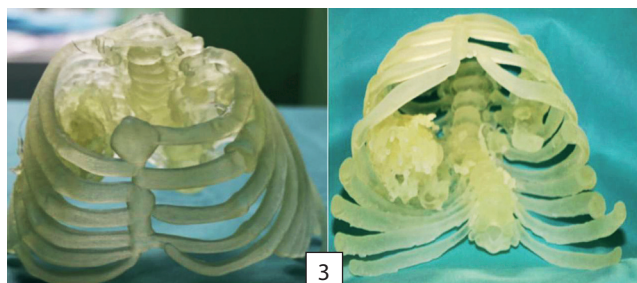
Традиционное обучение анатомии человека включает в себя работу с 2D-изображениями систем органов, а также кадаверным материалом. Недостатками этих методов являются несоответствие рисунков и фотографий в атласе с реальной картиной, сложность в восприятии трехмерного пространства

**Рисунок 3.**

Распечатанная 3D-модель грудной клетки ребенка с двухсторонней хондромезенхимальной гамармой грудной стенки.

**Figure 3.**

Printed 3D-model of the chest cavity of a child with bilateral chondromesenchymal hamartoma of the chest wall.

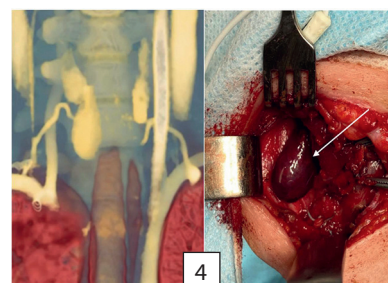


**Рисунок 4.**

Визуализация паразофагеально эктопированной аденомы правой паращитовидной железы (стрелка) методом AR – диагностики в условиях дополненной реальности и интраоперационно.

**Figure 4.**

Visualization of paraesophageal ectopic adenoma of the right parathyroid gland (arrow) using augmented reality diagnostic method and intraoperative.



расположения органов, а также ограниченный доступ к биоматериалам. Все эти вопросы решает 3D-визуализация анатомических структур. Из минусов в литературе отмечают головные боли, головокружение и помутнение зрения, которые чаще отмечались при работе с VR- и AR-симуляторами по сравнению с традиционными методами обучения [5]. В 2016 году была опубликована статья, где проводилось сравнение двух групп: в первой группе обучение выполнению рентгенэндоваскулярных вмешательств на сонных артериях проводилось с помощью 3D-технологий, во второй – подконтрольно на пациентах. Следует отметить, что все участники являлись интервенционными кардиологами, с опытом составляющим примерно 15 000 манипуляций, не включавших, однако, работу на сонных артериях. Это было первое проспективное, рандомизированное и слепое клиническое исследование, доказывающее, что обучение с помощью VR-симуляции приводит к улучшению качества выполнения навыков в реальной клинической практике и снижает вероятность ошибок при хирургических вмешательствах [6].

AR и VR предоставляет нам реалистичную систему 3D-визуализации, позволяющую врачам эффективно взаимодействовать с созданной 3D-моделью и облегчает предоперационное обследование [7]. 3D-печать все чаще используется при хирургическом планировании. Создание физической модели на основе персональной анатомии конкретного пациента дает хирургам возможность непосредственно взаимодействовать с интересующим локусом, манипулировать тканями, детально изучить синтопию органов [8]. Все эти факторы обеспечивают сокращение времени операции, снижение воздействия ионизирующего

излучения и улучшение результатов лечения пациентов [9]. Комплаентность пациента, понимание собственного заболевания, плана хирургического вмешательства и возможных осложнений также возрастает при демонстрации больному распечатанной 3D-модели [8].

3D-технологии уже показали многообещающие результаты при хирургическом планировании у пациентов с врожденными пороками сердца, такими как дефекты межпредсердной и межжелудочковой перегородки [10,11]. 3D-модели не только предоставляют врачам точную визуализацию различных поражений сердца, но также улучшают прогнозирование размеров и локализации импланта и катетера при транскатетерных рентгенэндоваскулярных вмешательствах [12, 13]. В нейрохирургии также, одним из направлений использования 3D-технологий является планирование функциональных нейронных вмешательств, таких как имплантация субдуральных электродов пациентам с эпилепсией. Высокоточные 3D-печатные модели позволяют врачам настраивать импланты с учетом особенностей извилин и борозд конкретного пациента [14]. В систематическом обзоре 2016 года 25% публикаций об использовании 3D-печати в хирургии приходится на ортопедию [15]. Моделирование используется с целью оптимизации размера пластин при лечении переломов [16], разработки плана операции при резекции костных опухолей и подбора аллотрансплантатов на место образовавшегося дефекта [17].

Навигационная система на основе дополненной реальности обеспечивает четкое трехмерное изображение интересующих областей над пациентом в реальном времени, что облегчает ориентирование в операционном поле и уменьшает время хирургического

вмешательства за счет расширения операционной виртуальным компонентом [18].

Технология AR-навигации широко применяется в различных областях хирургии. Так, она является вспомогательным инструментом нейронавигации, позволяющим улучшить пространственное и анатомическое понимание в лечении цереброваскулярной патологии, чаще всего внутричерепных аневризм, также используется в ортопедии, показывая правильную траекторию установки импланта, хирургии позвоночника, лапароскопической,

гепатобилиарной хирургии и др. [18]. При использовании технологий дополненной реальности информация предоставляется с использованием планшетов или очков [19]. Основная проблема, с которой в настоящее время сталкивается технология AR, – это валидация точности метода. Это связано с использованием нескольких сложных систем, каждая из которых вносит свой вклад в вероятность ошибки. В связи с этим использование технологий дополненной реальности интраоперационно еще требует изучения [20].

## Заключение

3D-моделирование – перспективное направление в развитии медицины, открывающее новые возможности для врачей-клиницистов в обучении, постановке

диагноза, предоперационном планировании, производстве индивидуальных имплантируемых материалов и интраоперационной навигации.

### ЗАЯВЛЕНИЕ О КОНФЛИКТЕ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that they have no conflicts of interest.

### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ / FUNDING SOURCE

Финансирование данной работы не проводилось. / No financial support has been provided for this work.

**Соколов Юрий Юрьевич**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой детской хирургии им. акад. С.Я. Долецкого

**Yurii Yu. Sokolov**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the S. Ya. Doletsky Department of Pediatric Surgery; ORCID: 0000-0003-3831-768X

**Топилин Олег Григорьевич**, врач – торакальный хирург, заведующий торакальным хирургическим отделением

**Oleg G. Topilin**, thoracic surgeon, Head of the Department of Thoracic Surgery; ORCID: 0000-0002-5302-0502

**Айрапетян Максим Игоревич**, к.м.н., доцент кафедры детской хирургии и урологии-андрологии им. профессора Л.П. Александрова

**Maxim I. Airapetyan**, MD, PhD, Associate Professor at the L.P. Alexandrov Department of Pediatric Surgery, Urology and Andrology; ORCID: 0000-0002-0348-929X

**Суходольская Ольга Владимировна**, ординатор 2 года кафедры детской хирургии и урологии-андрологии им. профессора Л.П. Александрова

**Olga V. Sukhodolskaya**, resident of the L.P. Alexandrov Department of Pediatric Surgery, Urology and Andrology; ORCID: 0000-0002-8868-4763

**Выдыш София Витальевна**, врач – детский хирург торакального хирургического отделения; аспирант кафедры детской хирургии им. акад. С.Я. Долецкого

**Sophia V. Vydysh**, pediatric surgeon of the Department of Thoracic Surgery; postgraduate student of the S. Ya. Doletsky Department of Pediatric Surgery; ORCID: 0000-0002-8857-7810

## Список использованной литературы/ References

1. Yeung A.W.K., Tosevska A., Klager E. et al. Virtual and Augmented Reality Applications in Medicine: Analysis of the Scientific Literature. *J Med Internet Res*. 2021 Feb 10;23(2): e25499. doi: 10.2196/25499.
2. Pikin O.V., Morozov D.A., Topilin O.G., Airapetyan M.I., Morozov Children's City Clinical Hospital of the Moscow Healthcare Department, Moscow, Russian Federation, Sukhodolskaya OV. Bilateral chondromesenchymal hamartoma of the chest wall in children. *Vopr prakt pediatr*. 2022;17:118–24. (in Russ.) doi: 10.20953/1817-7646-2022-4-118-124.
3. Morozov D.A., Petryaikina E.E., Kurkin A.P. et al. Ectopic paraesophageal parathyroid adenoma:

- a case report of primary hyperparathyroidism in a child. *Vopr Prakt Pediatr.* 2022;17:101–7. (in Russ.) doi: 10.20953/1817-7646-2022-5-101-107.
4. Sutherland J., Belec J., Sheikh A. et al. Applying Modern Virtual and Augmented Reality Technologies to Medical Images and Models. *J Digit Imaging.* 2019 Feb;32(1):38–53. doi: 10.1007/s10278-018-0122-7.
5. Yuan Q., Chen X., Zhai J., Chen Y., Liu Q., Tan Z., Chen G., Zhuang K., Zhang J., Xu X., Qiang D., Shao X. Application of 3D modeling and fusion technology of medical image data in image teaching. *BMC Med Educ.* 2021 Apr 6;21(1):194. doi: 10.1186/s12909-021-02620-z.
6. Cates C.U., Lönn L., Gallagher A. G. Prospective, randomised and blinded comparison of proficiency-based progression full-physics virtual reality simulator training versus invasive vascular experience for learning carotid artery angiography by very experienced operators. *BMJ Simul Technol Enhanc Learn.* 2016 Feb 8;2(1):1–5. doi: 10.1136/bmjstel-2015-000090.
7. González Izard S., Sánchez Torres R., Alonso Plaza Ó., Juanes Méndez J. A., García-Peñalvo F.J. Nextmed: Automatic Imaging Segmentation, 3D Reconstruction, and 3D Model Visualization Platform Using Augmented and Virtual Reality. *Sensors (Basel).* 2020 May 23;20(10):2962. doi: 10.3390/s20102962.
8. Zheng Y.X., Yu D. F., Zhao J. G., Wu Y. L., Zheng B. 3D Printout Models vs. 3D-Rendered Images: Which Is Better for Preoperative Planning? *J Surg Educ.* 2016 May-Jun;73(3):518–23. doi: 10.1016/j.jsurg.2016.01.003.
9. Segaran N., Saini G., Mayer J. L., Naidu S., Patel I., Alzubaidi S., Oklu R. Application of 3D Printing in Preoperative Planning. *J Clin Med.* 2021 Feb 26;10(5):917. doi: 10.3390/jcm10050917.
10. Velasco Forte M. N., Byrne N., Valverde I. et al. Interventional Correction of Sinus Venosus Atrial Septal Defect and Partial Anomalous Pulmonary Venous Drainage: Procedural Planning Using 3D Printed Models. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2018 Feb;11(2 Pt 1):275–278. doi: 10.1016/j.jcmg.2017.07.010.
11. He L., Cheng G. S., Du Y. J., Zhang Y. S. Feasibility of Device Closure for Multiple Atrial Septal Defects With an Inferior Sinus Venosus Defect: Procedural Planning Using Three-Dimensional Printed Models. *Heart Lung Circ.* 2020 Jun;29(6):914–920. doi: 10.1016/j.hlc.2019.07.004.
12. Kim M.S., Hansgen A. R., Wink O., Quaife R. A., Carroll J. D. Rapid prototyping: a new tool in understanding and treating structural heart disease. *Circulation.* 2008 May 6;117(18):2388–94. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.740977.
13. Levin D., Mackensen G. B., Reisman M., McCabe J. M., Dvir D., Ripley B. 3D Printing Applications for Transcatheter Aortic Valve Replacement. *Curr Cardiol Rep.* 2020 Feb 17;22(4):23. doi: 10.1007/s11886-020-1276-8.
14. Morris S., Hirata M., Sugata H. et al. Patient-specific cortical electrodes for sulcal and gyral implantation. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2015 Apr;62(4):1034–41. doi: 10.1109/TBME.2014.2329812.
15. Tack P., Victor J., Gemmel P., Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomed Eng Online.* 2016 Oct 21;15(1):115. doi: 10.1186/s12938-016-0236-4.
16. Kang H.J., Kim B. S., Kim S. M., Kim Y. M., Kim H. N., Park J. Y., Cho J. H., Choi Y. Can Preoperative 3D Printing Change Surgeon's Operative Plan for Distal Tibia Fracture? *Biomed Res Int.* 2019 Feb 11; 2019:7059413. doi: 10.1155/2019/7059413.
17. Mitsouras D., Liacouras P., Imanzadeh A. et al. Medical 3D Printing for the Radiologist. *Radiographics.* 2015 Nov-Dec;35(7):1965–88. doi: 10.1148/rg.2015140320.
18. Aguilar-Salinas P., Gutierrez-Aguirre S.F., Avila M. J., Nakaji P. Current status of augmented reality in cerebrovascular surgery: a systematic review. *Neurosurg Rev.* 2022 Jun;45(3):1951–1964. doi: 10.1007/s10143-022-01733-3.
19. Monsky W.L., James R., Seslar S. S. Virtual and Augmented Reality Applications in Medicine and Surgery-The Fantastic Voyage is here. *Anat Physiol.* 2019;(9):1–5.
20. Malhotra S., Halabi O., Dakua S. P., Padhan J., Paul S., Palliyali W. Augmented Reality in Surgical Navigation: A Review of Evaluation and Validation Metrics. *Applied Sciences.* 2023; 13(3):1629. doi: 10.3390/app13031629.