

ПЕРВЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ ЦИФРОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ (AR) В РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ХИРУРГИИ ЖЕЛЧНЫХ ПРОТОКОВ

Святненко А.В.^{1,2}, Демко А.Е.^{1,2},
Суров Д.А.^{1,2}, Батиг Е.В.^{1,2},
Сизоненко Н.А.*², Мартынова Г.В.¹,
Есяян И.Л.²

DOI: 10.25881/20728255_2024_19_2_159

¹ ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе», Санкт-Петербург

² ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова», Санкт-Петербург

Резюме. Обоснование. Технология дополненной реальности (AR) внедрена в хирургию около 30 лет назад, но уже получила довольно широкое практическое распространение в различных областях хирургии. Представлен первый опыт применения технологии AR в реконструктивной хирургии желчных протоков.

Цель публикации — освещение собственного опыта использования AR-технологии в реконструктивной гепатобилиарной хирургии.

Методы. Представлено клиническое наблюдение хирургического лечения пациентки П., 39 лет, в анамнезе оперированной в октябре 2021 г. по поводу синдрома Мирizzi 4-го типа. Была выполнена холецистэктомия с анастомозом общего желчного протока «конец в конец» на Т-образном дренаже. Послеоперационный период протекал без ранних осложнений, однако пациентка отмечала сохранение желтушности кожи, периодическое потемнение мочи. Спустя месяц после операции по данным магнитно-резонансной холангиопанкреатографии (МРХПГ) выявлена протяженная стриктура от верхней трети общего печеночного протока. При поступлении в ГБУ СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе в феврале 2022 г. пациентка была полностью обследована, из особенностей — уровень общего билирубина составлял 206,2 мкмоль/л. Первым этапом выполнена антеградная билиарная декомпрессия путем чрескожно-чреспеченочного наружного дренирования билиарного тракта. В последующем, с учетом данных мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ)-фистулографии и МСКТ живота, построена топографо-анатомическая модель в режиме реального времени с применением технологии AR. Спланировано и выполнено реконструктивное оперативное вмешательство. Из особенностей следует отметить значительное уменьшение времени для определения и дифференцировки анатомических сосудистых и билиарных структур в воротах печени на фоне выраженного спаечного процесса при использовании AR. Реконструктивный этап завершился формированием гепатико-еюноанастомоза на петле тощей кишки по Ру с межкишечным анастомозом.

Результаты. Послеоперационный период протекал без осложнений. На 17 сутки выполнено МРХПГ, установлена полная состоятельность анастомоза и проходимость билиарного тракта. Через 3 месяца после операции на контрольной МРХПГ билиодigestивный анастомоз функционирует удовлетворительно.

Заключение. Наш опыт показал, что применение AR при операциях (особенно повторных) на органах гепатопанкреатодуоденальной зоны имеет хорошие перспективы и позволит сократить время вмешательства и количество интраоперационных осложнений.

Ключевые слова: механическая желтуха, дополненная реальность, чрескожное чреспеченочное дренирование желчных протоков, реконструктивная хирургия желчных протоков, AR (Augmented Reality).

Введение

Дополненная реальность, или AR (сокр. от англ. Augmented Reality) — это технология, которая в реальном времени объединяет физические и виртуальные объекты. В хирургии навигация при по-

мощи AR является средством интраоперационной визуализации, позволяющим в оперативном режиме получать информацию об анатомических особенностях пациента, расположении инструментов, состоянии патологического очага при

планировании и в ходе операции. Это клинически зарекомендовавшая себя методика позволяет снизить количество ошибок, уменьшить время вмешательства и интраоперационную лучевую нагрузку [1–3].

THE FIRST EXPERIENCE OF USING AUGMENTED REALITY (AR) TECHNOLOGY IN RECONSTRUCTIVE SURGERY OF THE BILE DUCTS

Svyatnenko A.V.^{1,2}, Demko A.E.^{1,2}, Surov D.A.^{1,2}, Batig E.V.^{1,2}, Sizonenko N.A.*², Martynova G.V.¹, Esayan I.L.²

¹ Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze research institute of emergency medicine, Saint Petersburg,

² S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg

Abstract. Justification. Augmented reality (AR) technology was introduced into surgery about 30 years ago, but has already become quite widespread in various fields of surgery. The article presents the first experience of using augmented reality technology in reconstructive surgery of the bile ducts.

The purpose of this publication is to highlight our own experience of using AR technology in reconstructive hepatobiliary surgery.

Methods. A clinical case of surgical treatment of patient P., 39 years old, with a history of surgery in October 2021 for Mirizzi syndrome type 4 is presented. A cholecystectomy was performed with an «end-to-end» anastomosis of the common bile duct on a T-shaped drainage. The postoperative period proceeded without early complications, however, the patient noted the preservation of jaundice of the skin, periodic darkening of urine. A month after the operation, according to magnetic resonance cholangiopancreatography data, an extended stricture from the upper third of the common hepatic duct was revealed. Upon admission to the Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze research institute of emergency medicine in February 2022, the patient was fully examined, among the features — the level of total bilirubin was 206.2 mmol/l. The first stage was antegrade biliary decompression by percutaneous transhepatic external drainage of the biliary tract. Subsequently, taking into account the data of multispiral computed tomography-fistulography and multispiral computed tomography of the abdomen, a topographic and anatomical model was built in real time using augmented reality technology. Reconstructive surgery was planned and performed. Among the features, it should be noted a significant reduction in the time for determining and differentiating anatomical vascular and biliary structures in the liver gates against the background of a pronounced adhesive process when using AR. The reconstructive stage ended with the formation of a hepatic-eunoanastomosis on the loop of the small intestine in comparison with an inter-intestinal anastomosis.

Results. The postoperative period was uneventful. On day 17, magnetic resonance cholangiopancreatography was performed, where the complete consistency of the anastomosis and patency of the biliary tract were established. 3 months after the operation on the control magnetic resonance cholangiopancreatography, the biliary anastomosis functions satisfactorily.

Conclusion. Our experience has shown that the use of AR in operations (especially repeated ones) on organs of the hepatopancreatoduodenal zone has good prospects and will reduce the time of intervention and the number of intraoperative complications.

Keywords: mechanical jaundice, augmented reality, percutaneous transhepatic drainage of the bile ducts, reconstructive surgery of the bile ducts, AR.

* e-mail: n_sizonenko@mail.ru

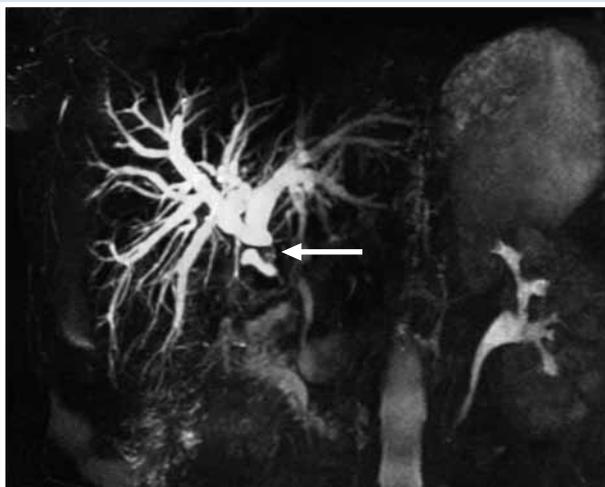


Рис. 1. МРХПГ. Стриктура проксимальной части общего печеночного протока.



Рис. 2. Интраоперационная холангиография. Катетер типа Pig Tail 8 Fr позиционирован в правом долевым протоке. Определяется стриктура желчных протоков дистальнее конfluence (тип E3 по классификации Bismuth-Strasberg).

Технология AR внедрена в хирургию сравнительно недавно — около 30 лет назад, несмотря на то, что ее аналогом является стереотаксический аппарат 1889–1891 гг., созданный Д.Н. Зерновым и Н.В. Алтуховым [1]. Согласно данным интернет-ресурса PubMed в настоящее время (февраль 2024 года) имеется примерно 818 публикаций на запрос «хирургия и AR». Тем не менее, только в одной обзорной статье (76 источников литературы) упоминается 3 случая применения AR-технологии при хирургических вмешательствах на желчных протоках и поджелудочной железе [4].

Технология AR в хирургии применяется в основном в тех случаях, когда вмешательства осуществляются на неподвижных органах и тканях: головной мозг, кости черепа, трубчатые кости, органы малого таза. В таких специальностях как нейрохирургия, травматология, ортопедия, ЛОР и ЧЛХ условия неподвижности позволяет более точно сопоставлять данные инструментальных исследований и реальность в пространстве и времени [2; 5].

Клиническое наблюдение

Пациентка П., 39 лет, поступила в ГБУ СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе 24.02.2022 г. с диагнозом: постхолецистэктомический синдром. Стриктура гепатикохоледоха, холедохоэктазия, механическая желтуха.

Предъявляла жалобы на пожелтение кожного покрова, потемнение мочи, осветление кала, тяжесть в правом подреберье, общую слабость и снижение ра-

ботоспособности. Из анамнеза известно, что в октябре 2021 г. пациентке по поводу механической желтухи в экстренном порядке выполнена диагностическая лапароскопия, при которой выявлен синдром Мириizzi 4-го типа, произведена конверсия доступа, произведена холецистэктомия с анастомозом общего желчного протока «конец в конец» на T-образном дренаже. После оперативного вмешательства контрольный дренаж удален на 2-е сутки после оперативного вмешательства, T-образный дренаж из анастомоза внепеченочных желчных протоков извлечен на 17-е сутки послеоперационного периода. Общий билирубин крови при выписке пациентки составил 100 мкмоль/л и не снижался в динамике. 25.11.2021 г. больной выполнена МРХПГ, на которой выявлена протяженная стриктура от верхней трети общего печеночного протока (Рис. 1). При поступлении в ГБУ СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе пациентка была полностью обследована. Обращают на себя внимание следующие лабораторные и инструментальные данные: уровень общего билирубина 206,2 мкмоль/л, уровень гемоглобина 112 г/л, количество лейкоцитов $7,46 \times 10^9/\text{л}$, по данным УЗИ органов брюшной полости — внутрипеченочные желчные протоки расширены до 7 мм, общий желчный проток не визуализируется. Выставлен диагноз: ЖКБ. Синдром Мириizzi 4. Состояние после холецистэктомии с анастомозом общего желчного протока по типу «конец в конец». Стриктура общего печеночного протока, тип E3 по классификации Bismuth-Strasberg. Ме-

ханическая желтуха (класс А по классификации Э.И. Гальперина).

Принято решение о выполнении антеградной билиарной декомпрессии путем чрескожно-чреспеченочного наружного дренирования билиарного тракта (Рис. 2).

Послеоперационный период протекал без осложнений синдром механической желтухи купирован, суточный дебет желчи составлял до 300 мл/сут.

Для дальнейшего дообследования и оперативного лечения, с целью предоперационного планирования уточнения ангиоархитектоники и строения желчного дерева и их анатомических взаимоотношений было выполнено МСКТ-фистулография одновременно с МСКТ живота с внутривенным болюсным контрастированием. Также пациентке было установлено 2 датчика для совмещения топографо-анатомической модели и тела человека в режиме реального времени с применением технологии AR. Датчики были установлены между 9–12 ребром по средне-подмышечной линии и в зоне правой передне-верхней подвздошной ости. Артериальная и венозная фаза исследования сделана по стандартной методике, при этом в отсроченную (паренхиматозную) фазу в дренаж, ранее установленный в желчных протоках было введено 20 мл контрастирующего препарата «Тразограф» в разведении 0,9% изотонического раствора хлорида натрия в соотношении 1:10. На основании полученных данных был выполнен 3D-рендеринг при использовании программы 3DSlicer с последующим

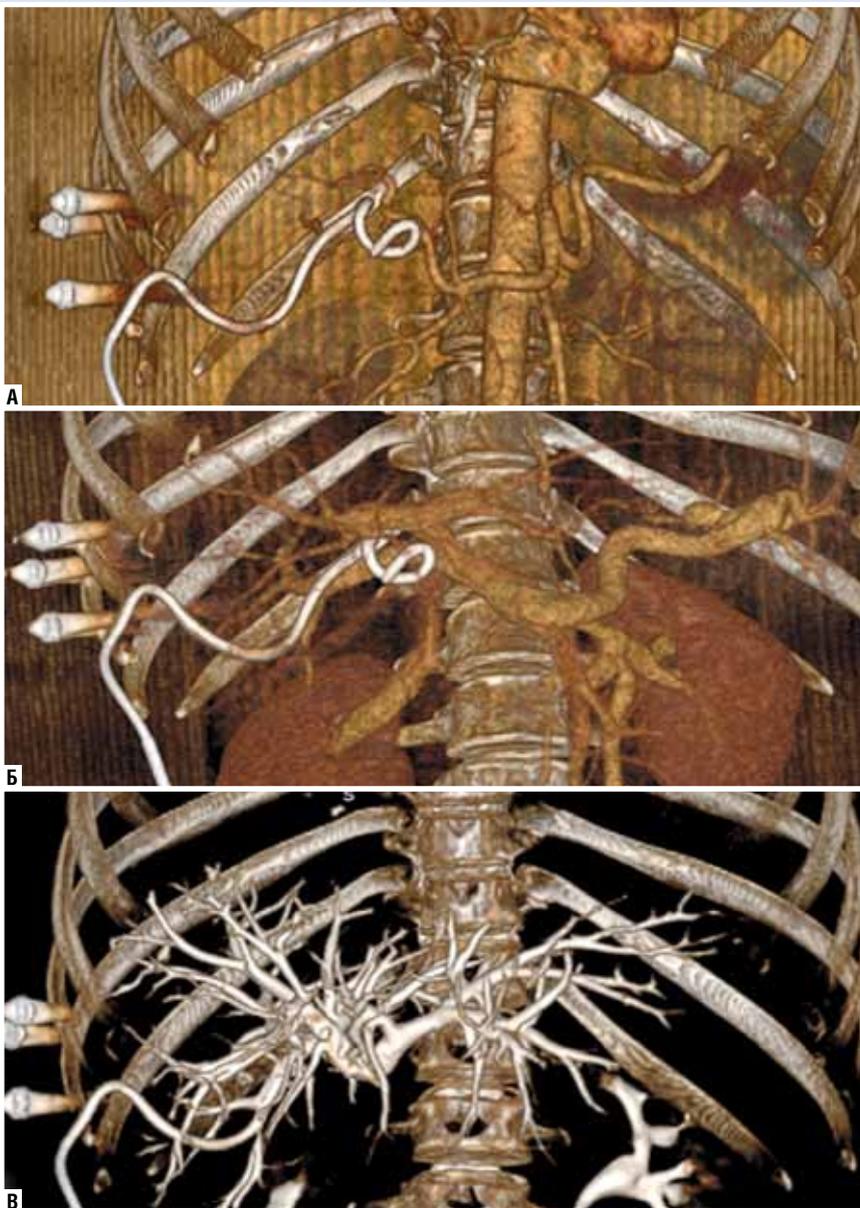


Рис. 3. Чрездренажная МСКТ-холангиография: А — артериальная фаза, Б — венозная фаза, В — отсеченная фаза.

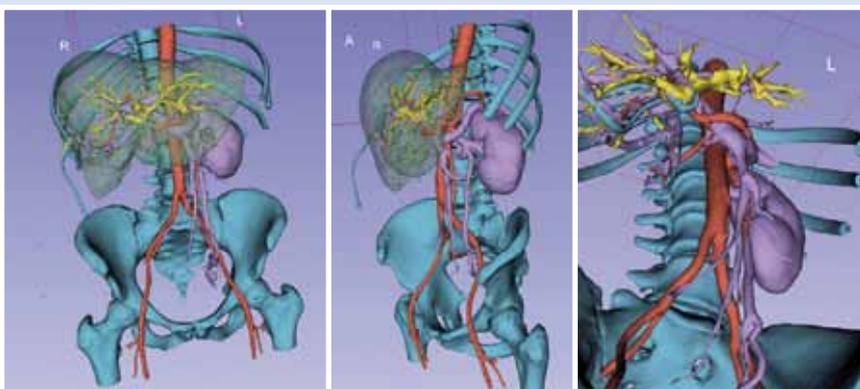


Рис. 4. Топографо-анатомическая модель (совмещенный 3D рендеринг артериальной, венозной фазы МСКТ с МСКТ-холангиографией).

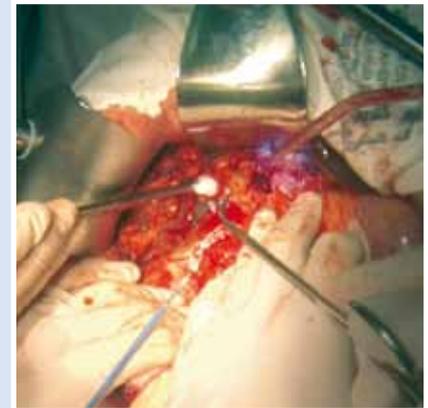


Рис. 5. Интраоперационная картина. Выделение элементов печеночно-двенадцатиперстной связки.

построением топографо-анатомической модели (Рис. 3, 4).

Предварительно построенная топографо-анатомическая модель пациентки была загружена в очки дополненной реальности.

После изучения всех клинических, лабораторных и инструментальных данных было выполнено оперативное вмешательство. С отдельными видеофрагментами операции можно ознакомиться по ссылке <https://youtu.be/axcF8OWeCt0> или QR-коду.



Под эндотрахеальным наркозом выполнена верхнесрединная лапаротомия. В брюшной полости в правой подреберной области определялся выраженный спаечный процесс, выполнено разделение спаек. Выделение элементов структур в воротах печени и элементов печеночно-двенадцатиперстной связки представляет в таких случаях значительные трудности в виду рубцовых и воспаленных изменений тканей (Рис. 5).

С целью навигации были применены AR-технологии (Рис. 6). Это позволило определить анатомические взаимоотношения сосудов и билиарных структур в воротах печени.

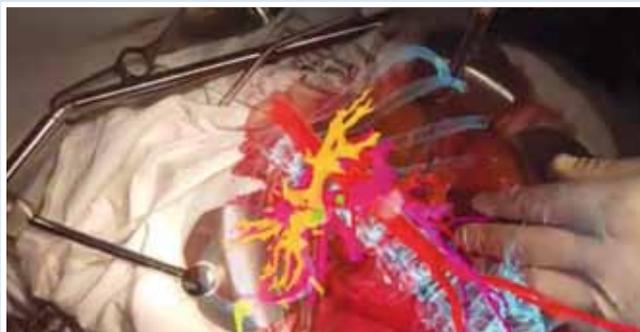


Рис. 6. Интраоперационная картина в очках дополненной реальности. Зелёными точками отмечена «зона интереса»: зона конfluence с проксимальной частью общего печеночного протока и расположенная слева воротная вена.



Рис. 7. Интраоперационное поле в очках дополненной реальности и инструмент «указка».

С учетом технических сложностей выполнения оперативного вмешательства в очках дополненной реальности в последующем для разметки «зоны интереса» был применен инструмент «указка» также с датчиком связи реальностей. На рисунке 7 «зона интереса» отмечена зеленым цветом, кончик «указки» также отмечен зеленым цветом. После совмещения этих точек, а это примерно 2 мм, инструмент «указка» был оставлен на месте, а очки отключены.

В точке локации кончика «указки» произведена диагностическая пункция предполагаемого гепатикохоледоха, получена желчь (Рис. 8).

После вскрытия просвета общего печеночного протока получена желчь с примесью гноя в объеме 10 мл (взята на бактериологическое исследование). Сформирован гепатико-еюноанастомоз на петле тощей кишки по Ру (Рис. 9) с межкишечным анастомозом непрерывными швами нитью «Моносорб» 4.0. С каркасной целью и для билиарной декомпрессии ранее установленный чрескожно чреспеченочный дренаж желчных протоков позиционирован за анастомоз. Время операции составило 120 мин.

Послеоперационный период протекал без осложнений. Пациентка получала комплексное лечение. Контрольный дренаж к зоне гепатикоеюностомии был удален на 4 сутки после операции. Чрескожно чреспеченочный дренаж был удален на 14 сутки после операции, сняты швы с лапаротомной раны. На 17 сутки выполнено МРХПГ, где установлена полная состоятельность анастомоза и проходимость билиарного тракта. На 21 сутки пациентка была выписана в удовлетворительном состоянии.

Через 3 месяца после операции пациентка поступила для контрольного



Рис. 8. Пункция желчного протока.



Рис. 9. Гепатикоеюностомия по Ру на петле тощей кишки.



Рис. 10. МРХПГ на 17 сутки после реконструктивной операции.



Рис. 11. МРХПГ через 3 месяца после операции.

обследования. Жалоб не предъявляла, по результатам лабораторных исследований показатели клинического и биохимического (уровень билирубина, трансами-

наз) анализа крови в пределах допустимых значений. На контрольной МРХПГ билиодигестивный анастомоз функционирует удовлетворительно (Рис. 11).

Заключение

Альтернативная реальность сегодня открывает огромные возможности для здравоохранения [6]. Технологии AR, виртуальной и смешанной реальности являются практичным, наглядным и действенным решением в медицинском образовании, визуализации, при хирургических операциях и имеет большой потенциал для развития и совершенствования [7–9].

Технология AR в абдоминальной хирургии представляется не только надежным инструментом навигации, но и средством предоперационного планирования [7]. Наш опыт показал, что применение AR при операциях (особенно повторных) на органах гепатопанкреатодуоденальной зоны имеет хорошие перспективы и позволит сократить время вмешательства и число интраоперационных осложнений [10]. Однако, эта технология требует дальнейшего совершенствования, изучения и технической адаптации к применению в различных областях хирургии [1; 5].

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Dai J, Qi W, Qiu Z, Li C. The application and prospect of augmented reality in hepato-pancreato-biliary surgery. *Biosci Trends*. 2023; 17(3): 193-202. doi: 10.5582/bst.2023.01086.
2. Okamoto T, Onda S, Yasuda J, Yanaga K, Suzuki N, Hattori A. Navigation surgery using an augmented reality for pancreatotomy. *Dig Surg*. 2015; 32(2): 117-123. doi: 10.1159/000371860.
3. Quero G, Lapergola A, Soler L, Shahbaz M, et al. Virtual and Augmented Reality in Oncologic Liver Surgery. *Surg Oncol Clin N Am*. 2019; 28(1): 31-44. doi: 10.1016/j.soc.2018.08.002.
4. Okamoto T, Onda S, Matsumoto M, et al. Utility of augmented reality system in hepatobiliary surgery. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*. 2013; 20(2): 249-253. doi: 10.1007/s00534-012-0504-z.
5. Okamoto T, Onda S, Yanaga K, Suzuki N, Hattori A. Clinical application of navigation surgery using augmented reality in the abdominal field. *Surg Today*. 2015; 45(4): 397-406. doi: 10.1007/s00595-014-0946-9.
6. Худоев И.В., Пирмагомедов Р.Я., Маколкина М.А. Медицинские приложения дополненной реальности. XXI Международная научная конференция «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2018)». Сентябрь 17-21, 2018; Москва. [Hudoev IV, Pirmagomedov RJa, Makolkina M.A. Medicinskie prilozhenija dopolnenoj real'nosti. (Conference proceedigs) XXI Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Raspredelennye komp'juternye i telekommunikacionnye seti: upravlenie, vychislenie, svjaz' (DCCN-2018)». 2018 Sep 17-21; Moscow. (In Russ.)]
7. Аксенова Е.И., Горбатов С.Ю. Технологии виртуальной и дополненной реальности в здравоохранении // *Московская медицина*. — 2022. — №1(47). — С.76-87. [Aksenova EI, Gorbатов SJu. Tehnologii virtual'noj i dopolnenoj real'nosti v zdravooxranenii. Moskovskaja medicina. 2022; 1(47): 76-87. (In Russ.)]
8. Баимбетова А.Ж. Технология дополненной реальности в медицине. Сборник материалов Международного конкурса курсовых, научно-исследовательских и выпускных квалификационных работ «Инновации в развитии научных и творческих направлений образовательного процесса». Кемерово, 26 апреля 2019 г. — Кемерово: Западно-Сибирский научный центр, 2019. — С.82-84. [Baimbetova AZh. Tehnologija dopolnenoj real'nosti v medicine / In: Proceedings of the Sbornik materialov Mezhdunarodnogo konkursa kursovyh, nauchno-issledovatel'skikh i vypusknih kvalifikacionnyh rabot «Innovacii v razvitii nauchnyh i tvorcheskikh napravlenij obrazovatel'nogo processa»; Kemerovo, April 26 2019. Kemerovo: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju «Zapadno-Sibirskij nauchnyj centr»; 2019: 82-84. (In Russ.)]
9. Намиот Е.Д. Дополненная реальность в медицине // *International Journal of Open Information Technologies*. — 2019. — Т.7. — №11. — С.94-99. [Namiot E. On augmented reality in medicine. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019; 7(11): 94-99. (In Russ.)]
10. Tang R, Ma LF, Rong ZX, Li MD, Zeng JP, Wang XD, Liao HE, Dong JH. Augmented reality technology for preoperative planning and intraoperative navigation during hepatobiliary surgery: A review of current methods. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int*. 2018; 17(2): 101-112. doi: 10.1016/j.hbpd.2018.02.002.