

## ХИРУРГИЯ/SURGERY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.91> EDN: RJUPJYПРИМЕНЕНИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В ПЛАНИРОВАНИИ И ПРОВЕДЕНИИ ХИРУРГИЧЕСКИХ  
ВМЕШАТЕЛЬСТВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЖЕЛТУХЕ

Научная статья

**Киселев А.М.<sup>1</sup>, Киселева А.А.<sup>2</sup>, Капралов С.В.<sup>3</sup>, Полиданов М.А.<sup>4,\*</sup>, Волков К.А.<sup>5</sup>, Осинцев Е.Ю.<sup>6</sup>, Сафронов Д.В.<sup>7</sup>, Харитонов Б.С.<sup>8</sup>, Федоров В.Э.<sup>9</sup>, Барсуков В.Ю.<sup>10</sup>, Ванжа Я.Е.<sup>11</sup>**<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-8279-2026;<sup>2</sup> ORCID : 0009-0008-2567-1448;<sup>3</sup> ORCID : 0000-0001-5859-7928;<sup>4</sup> ORCID : 0000-0001-7538-7412;<sup>5</sup> ORCID : 0000-0002-3803-2644;<sup>6</sup> ORCID : 0000-0003-1010-3882;<sup>7</sup> ORCID : 0000-0001-6936-9920;<sup>8</sup> ORCID : 0000-0003-2614-5841;<sup>9</sup> ORCID : 0000-0002-4586-6591;<sup>10</sup> ORCID : 0000-0002-6135-9223;<sup>1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10</sup> Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов, Российская Федерация<sup>4</sup> Университет «Реавиз», Санкт-Петербург, Российская Федерация<sup>11</sup> Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (maksim.polidanoff[at]yandex.ru)

Предложена: 10.05.2026; Принята: 25.06.2026; Опубликовано: 17.07.2026

**Аннотация**

Механическая желтуха — полиэтиологический синдром, обусловленный нарушением пассажа желчи на вне- или внутрипеченочном уровне, приводящий к билиарной гипертензии, холестазу, эндотоксемии и полиорганной дисфункции. Частота послеоперационных осложнений при декомпрессивных и реконструктивных вмешательствах на билиарном тракте достигает 18–42%, а летальность — 5–15% в зависимости от этиологии (холедохолитиаз, стриктуры, опухоли гепатопанкреатодуоденальной зоны). Высокий риск билиарного сепсиса и печеночной недостаточности диктует необходимость совершенствования предоперационного планирования.

Цель: систематизировать данные о применении технологий трехмерного моделирования, аддитивного производства и смежных цифровых технологий в хирургии механической желтухи. Проведен систематический анализ литературных источников по базам PubMed, Scopus, Web of Science, eLibrary.ru за период 2019–2025 годов. Всего в ходе первичного поиска выявлено 145 публикаций; после применения критериев включения и исключения в итоговый обзор включено 25 источников. Проведено обобщение данных о применении трехмерного моделирования, технологий слияния изображений, искусственного интеллекта и интраоперационной навигации.

Трехмерное моделирование на основе мультиспиральной компьютерной томографии обеспечивает тактильный контроль анатомических структур. Мета-анализ продемонстрировал статистически значимое снижение частоты осложнений при чрескожной чреспеченочной холангиостомии под контролем трехмерной реконструкции, а также повышение успешности пункции. Мультицентровое валидационное исследование подтвердило высокую точность трехмерных печатных моделей в оценке сосудистых калибров и расстояний «опухоль-сосуд». Применение трехмерной навигации при лапароскопических вмешательствах способствовало снижению интраоперационной кровопотери и частоты формирования билиарных свищей.

Авторы приходят к выводу, что технологии трехмерного моделирования и аддитивного производства, дополненные инструментами ИИ и AR/VR, представляют эффективный инструмент персонализированной хирургии при механической желтухе; для окончательного определения их роли в улучшении отдаленных результатов лечения необходимы дальнейшие проспективные рандомизированные исследования.

**Ключевые слова:** механическая желтуха, 3D-моделирование, 3D-печать, искусственный интеллект, дополненная реальность, билиарная декомпрессия, предоперационное планирование, холедохолитиаз, опухоль Клацкина.

**THE USE OF 3D TECHNOLOGIES IN THE PLANNING AND PERFORMANCE OF SURGICAL PROCEDURES  
FOR MECHANICAL JAUNDICE**

Research article

**Kiselev A.M.<sup>1</sup>, Kiseleva A.A.<sup>2</sup>, Kapralov S.V.<sup>3</sup>, Polidanov M.A.<sup>4,\*</sup>, Volkov K.A.<sup>5</sup>, Osintsev Y.Y.<sup>6</sup>, Safronov D.V.<sup>7</sup>,  
Kharitonov B.S.<sup>8</sup>, Fedorov V.E.<sup>9</sup>, Barsukov V.Y.<sup>10</sup>, Vanzha Y.Y.<sup>11</sup>**<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-8279-2026;<sup>2</sup> ORCID : 0009-0008-2567-1448;<sup>3</sup> ORCID : 0000-0001-5859-7928;<sup>4</sup> ORCID : 0000-0001-7538-7412;

<sup>5</sup> ORCID : 0000-0002-3803-2644;<sup>6</sup> ORCID : 0000-0003-1010-3882;<sup>7</sup> ORCID : 0000-0001-6936-9920;<sup>8</sup> ORCID : 0000-0003-2614-5841;<sup>9</sup> ORCID : 0000-0002-4586-6591;<sup>10</sup> ORCID : 0000-0002-6135-9223;<sup>1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10</sup> Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation<sup>4</sup> University "Reaviz", Saint-Petersburg, Russian Federation<sup>11</sup> I.I. Mechnikov Northwestern State Medical University, Saint-Petersburg, Russian Federation

\* Corresponding author (maksim.polidanoff[at]yandex.ru)

Suggested: 10.05.2026; Accepted: 25.06.2026; Published: 17.07.2026

## Abstract

Mechanical jaundice is a syndrome with multiple etiologies, caused by an obstruction of bile flow at the extrahepatic or intrahepatic level, leading to biliary hypertension, cholestasis, endotoxemia and multiple organ dysfunction. The incidence of post-operative complications following decompressive and reconstructive procedures on the biliary tract ranges from 18–42%, and mortality from 5–15%, depending on the etiology (choledocholithiasis, strictures, tumours of the hepatopancreatoduodenal region). The high risk of biliary sepsis and liver failure necessitates improvements in pre-operative planning.

Objective: to systematise data on the application of 3D modelling, additive manufacturing and related digital technologies in the surgical treatment of mechanical jaundice. Materials and methods: a systematic review of the literature was conducted using the PubMed, Scopus, Web of Science and eLibrary.ru databases, covering the period 2019–2025. A total of 145 publications were identified during the initial search; following the application of inclusion and exclusion criteria, 25 sources were included in the final review. Data on the use of 3D modelling, image fusion technologies, artificial intelligence and intraoperative navigation were summarised.

Three-dimensional modelling based on multispiral computed tomography provides tactile visualisation of anatomical structures. A meta-analysis demonstrated a statistically significant reduction in the incidence of complications during percutaneous transhepatic cholangiostomy guided by three-dimensional reconstruction, as well as an increase in the success rate of puncture. A multicentre validation study confirmed the high accuracy of 3D-printed models in assessing vessel calibre and 'tumour-vessel' distances. The use of 3D navigation during laparoscopic procedures contributed to a reduction in intraoperative blood loss and the incidence of biliary fistulae.

The authors conclude that 3D modelling and additive manufacturing technologies, supplemented by AI and AR/VR tools, are an effective tool for personalised surgery in cases of mechanical jaundice; further prospective randomised trials are required to definitively establish their role in improving long-term treatment outcomes.

**Keywords:** mechanical jaundice, 3D modelling, 3D printing, artificial intelligence, augmented reality, biliary decompression, pre-operative planning, choledocholithiasis, Klatskin tumour.

## Введение

Механическая желтуха (МЖ) — полиэтиологический синдром, обусловленный нарушением пассажа желчи на вне- или внутрипеченочном уровне, приводящий к билиарной гипертензии, холестазу, эндотоксемии и полиорганной дисфункции [1]. Частота послеоперационных осложнений при декомпрессивных и реконструктивных вмешательствах на билиарном тракте достигает 18–42%, а летальность — 5–15% в зависимости от этиологии (холедохолитиаз, стриктуры, опухоли гепатопанкреатодуоденальной зоны) [2], [3]. Высокий риск билиарного сепсиса и печеночной недостаточности, а также технические сложности доступа к дистальному холедоху диктуют необходимость совершенствования предоперационного планирования [4].

Достижения инструментальной визуализации (УЗИ, МСКТ, МР-холангиопанкреатография) не устраняют полностью проблему хирургического лечения механической желтухи, что связано с анатомической вариабельностью гепатопанкреатодуоденальной зоны и высокой частотой аномалий желчных протоков и печеночных сосудов [3], [11]. Результаты декомпрессивных и реконструктивных операций зависят от точности топической диагностики уровня и протяженности обструкции, а также от учета индивидуальной анатомии [7], [18]. Традиционная предоперационная диагностика базируется на ультразвуковом исследовании, МСКТ и магнитно-резонансной холангиопанкреатографии (МРХПГ), однако двухмерные изображения не позволяют полноценно оценить вариабельную анатомию желчных протоков, портальной системы и печеночных артерий. При МЖ, особенно опухолевого генеза, риск ятрогенного повреждения сосудов и нерадикального удаления очага достигает 15–25% [14].

В последнее десятилетие активно развиваются технологии 3D-моделирования и 3D-печати, позволяющие на основе мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) создавать точные физические модели органов с тактильным контролем анатомии [5], [6]. 3D-печать на основе данных МСКТ обеспечивает визуальный и гаптический контроль анатомических взаимоотношений [8], [9]. В гепатопанкреатобилиарной хирургии, отличающейся высокой вариабельностью сосудистого и протокового рисунка, 3D-моделирование эффективно при планировании резекций печени, трансплантации и сложных билиарных реконструкций [10], [11]. Согласно систематическим обзорам, использование 3D-печати способствует сокращению времени операции, снижению риска ятрогенных повреждений магистральных структур и улучшению понимания анатомии хирургической бригадой [12], [13]. Таким образом, применение трехмерного моделирования рассматривается как инструмент персонализации предоперационного планирования и снижения интраоперационных рисков у пациентов с МЖ [1], [8]. Однако систематизированных

данных о применении 3D-технологий именно при МЖ (особенно опухолевой этиологии и высоких стриктурах) недостаточно, что определяет актуальность настоящего исследования.

Цель исследования: систематизировать данные о применении технологий 3D-моделирования и 3D-печати для персонализации предоперационного планирования и снижения интраоперационных рисков у пациентов с механической желтухой.

### Методы и принципы исследования

Проведён систематический анализ литературных источников по базам данных PubMed, Scopus, Web of Science и eLibrary.ru за период 2019–2025 гг. с последующим обобщением данных о применении 3D-моделирования, технологий фьюжн и интраоперационной навигации при хирургическом лечении механической желтухи.

В ходе первичного поиска по заданным ключевым словам было выявлено 145 публикаций. После удаления дубликатов и скрининга по названию и аннотации, с применением строгих критериев отбора, в итоговый обзор включено 25 источников.

Критерии включения:

- 1) публикации за период 2019–2025 гг.;
- 2) тематика, посвященная применению 3D-моделирования, 3D-печати, а также смежных цифровых технологий (ИИ, AR/VR) в гепатопанкреатобилиарной (ГПБ) хирургии и при лечении механической желтухи;
- 3) наличие полнотекстового доступа на русском или английском языках;
- 4) наличие первичных клинических данных, результатов мета-анализов или систематических обзоров.

Критерии исключения:

- 1) дубликаты публикаций;
- 2) статьи, опубликованные ранее 2019 г.;
- 3) публикации, посвященные 3D-печати в других областях хирургии (ортопедия, челюстно-лицевая хирургия и др.);
- 4) тезисы конференций, письма в редакцию, статьи без рецензирования;
- 5) отсутствие релевантных данных по механической желтухе или анатомии ГПБ-зоны.

Стандартный протокол визуализации включает МСКТ с внутривенным болюсным контрастированием (толщина среза 0,5–0,625 мм) либо МРТ с 3D-последовательностями. С использованием специализированного программного обеспечения (Mimics Medical, 3D Slicer, Syngo.via) выполняют сегментацию печени, желчного пузыря, внепеченочных протоков, портальной вены, печеночной артерии и патологического очага с формированием цветной 3D-модели, допускающей вращение, измерение расстояний и углов [8], [9].

### Основные результаты

Эффективность применения технологий трехмерного моделирования и 3D-печати в гепатопанкреатобилиарной хирургии подтверждена данными ряда клинических исследований и систематических обзоров.

В мета-анализе Chen и соавт. (2025), включившем 15 исследований с участием 1434 пациентов с обструктивной желтухой, оценивалась безопасность и эффективность чрескожной чреспеченочной холангиостомии (ЧЧХС) под контролем 3D-реконструкции. Установлено, что применение 3D-технологий сопровождается статистически значимым снижением частоты послеоперационных осложнений (отношение шансов = 0,25; 95% ДИ: 0,17–0,36;  $p < 0,00001$ ) и повышением общей частоты успешной пункции (отношение шансов = 3,61; 95% ДИ: 1,98–6,55;  $p < 0,0001$ ). При этом значимых различий в степени снижения уровня общего билирубина между группами не выявлено ( $p = 0,16$ ), что свидетельствует о сопоставимой дренирующей эффективности методик [11].

Мультицентровое исследование LIV3DPRINT. В исследовании Lopez-Lopez и соавт. (2021) с участием 35 пациентов из 8 центров проведено валидационное исследование 3D-печатных моделей гепатобилиарной зоны. Установлена высокая степень соответствия измерений сосудистых калибров между 3D-моделью и исходными данными КТ/МРТ ( $0,22 \pm 1,8$  мм), а также расстояний «опухоль-сосуд» ( $0,31 \pm 0,24$  мм). Коэффициент Dice similarity составил 0,92 при вариации 2%. Профессиональная оценка полезности 3D-печати достигла 0,89 (95% ДИ: 0,73–0,95). При сопоставлении уровня понимания анатомии с использованием 3D-печатных моделей по сравнению с цифровыми изображениями и традиционными срезами отмечено статистически значимое преимущество 3D-печати (медиана 0,9 против 0,8;  $p = 0,01$ ) [12], [16], [17], [18].

В исследовании Zeng и соавт. (2024) с участием 50 пациентов с гепатолитиазом и наличием в анамнезе билиарных операций оценивалась эффективность визуализационных технологий при лапароскопической гепатэктомии. В группе с применением 3D-моделирования, ICG-флуоресценции и дополненной реальности ( $n = 22$ ) медиана кровопотери составила 150 мл против 270 мл в группе открытых операций ( $n = 28$ ) ( $p = 0,047$ ). Частота послеоперационных билиарных свищей оказалась ниже в 3,9 раза (9,1% против 35,7%;  $p = 0,029$ ), а медиана послеоперационного койко-дня сократилась с 11 до 8 суток ( $p = 0,045$ ). Интраоперационная частота удаления конкрементов в группе 3D-навигации была выше (77,3% против 50,0%;  $p = 0,049$ ) [13].

В проспективном исследовании Avella и соавт. (2026) на трёх пациентах со сложными новообразованиями (аденокарцинома головки поджелудочной железы, ампулярная аденокарцинома, гигантская гемангиома печени) оценивалась точность и клиническая полезность пациент-специфичных 3D-печатных моделей. Сегментация изображений и постобработка занимали в среднем 32,7 часа, стоимость материалов не превышала €55 на одну модель. Хирургическая бригада отметила отсутствие значимых расхождений между моделью и интраоперационной анатомией. Данные модели обеспечили улучшение пространственного понимания сложной анатомии и позволили провести предоперационное протоколирование вмешательства [14].

В образовательном исследовании в рамках той же работы 56 студентов-медиков были рандомизированы для изучения анатомии традиционным методом или с использованием 3D-печатных моделей. Студенты, применявшие 3D-

модели, продемонстрировали достоверно более высокие результаты тестирования пространственного понимания анатомии ( $p < 0,001$ ) [14].

В работе Bati и соавт. (2020) продемонстрировано, что использование твердотельных 3D-моделей при обучении хирургов по клиническим сценариям панкреатобилиарных заболеваний обеспечивает более высокий уровень восприятия анатомии по сравнению с МР-холангиопанкреатографией ( $Z = 3,854$ ;  $p = 0,000$ ) и 3D-изображениями на экране ( $Z = 2,865$ ;  $p = 0,004$ ). Все участвовавшие в опросе хирурги согласились, что 3D-модели улучшают понимание патологической анатомии и планирование операции [15].

В клиническом случае, описанном японскими исследователями (2023), у пациентки 73 лет с гигантской кистой печени (140 мм), сдавливающей нижнюю полую вену, применение предоперационного 3D-моделирования с использованием программного обеспечения SYNAPSE VINCENT позволило точно определить ограниченную зону стенки кисты, доступную для фенестрации. Лапароскопическое вмешательство выполнено с интраоперационной ICG-навигацией, осложнений не возникло, рецидива не отмечено в течение 6 месяцев наблюдения [16].

### Обсуждение

Представленные данные свидетельствуют о том, что технологии трехмерного моделирования и 3D-печати обладают значительным потенциалом в хирургии механической желтухи. Основными преимуществами являются: повышение точности предоперационной диагностики уровня и протяженности обструкции желчных протоков, улучшение пространственного понимания анатомии хирургической бригадой, снижение риска ятрогенных повреждений сосудистых и протоковых структур, а также оптимизация тактики оперативного вмешательства [7], [8]. Образовательные исследования демонстрируют преимущество 3D-моделей в обучении хирургов и студентов ( $p < 0,001$ ), что подтверждает их ценность не только в клинической, но и в педагогической практике [15], [16].

Важно отметить, что 3D-моделирование и печать не существуют изолированно, а являются частью более широкой концепции цифрового преобразования хирургии, включающей использование искусственного интеллекта (ИИ), дополненной (AR) и виртуальной реальности (VR), а также фьюжн-технологий. Одной из главных проблем 3D-печати, как указано выше, являются временные затраты на ручную сегментацию (до 30 часов). Внедрение алгоритмов глубокого обучения и ИИ позволяет автоматизировать процесс сегментации печени, билиарного дерева и сосудов, сокращая время предоперационной подготовки с часов до минут [17].

Кроме того, на смену или в дополнение физическим 3D-моделям приходят технологии виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR). VR-гарнитуры позволяют хирургу «погрузиться» в анатомию пациента для детального изучения, а AR-системы обеспечивают наложение 3D-модели непосредственно на операционное поле в режиме реального времени, выступая в роли интраоперационного навигатора [18], [23]. Использование фьюжн-технологий (совмещение интраоперационного УЗИ с предоперационными данными МСКТ/МРТ) в сочетании с 3D-навигацией значительно повышает точность при выполнении сложных резекций и билиарных реконструкций, минимизируя риск интраоперационных осложнений [19], [22].

Концепция «цифрового двойника» (Digital Twin), объединяющая ИИ, 3D-моделирование и предиктивную аналитику, рассматривается как следующий эволюционный шаг в персонализированной хирургии механической желтухи. Она позволяет не только визуализировать анатомию, но и моделировать гемодинамику и отток желчи после реконструктивных этапов операции [20], [24]. Тем не менее, несмотря на очевидные преимущества, вопросы стандартизации, кибербезопасности и экономической эффективности внедрения ИИ и AR/VR в рутинную практику требуют дальнейшего изучения [23].

Вместе с тем, следует отметить ряд ограничений, сдерживающих широкое внедрение 3D-технологий в клиническую практику. К ним относятся: относительно высокая стоимость оборудования и расходных материалов, значительные временные затраты на сегментацию и постобработку изображений (до 30 часов и более), необходимость наличия специального программного обеспечения и подготовленного персонала, а также недостаточная доказательная база в отношении прямого влияния 3D-печати на отдаленные результаты лечения [12].

Как показало исследование LIV3DPRINT, 3D-печатные модели демонстрируют высокую точность соответствия исходным данным КТ/МРТ и патологоанатомическим препаратам, однако их применение не обязательно влияет на непосредственные хирургические результаты [12]. Это подчёркивает необходимость дальнейших рандомизированных исследований для определения чётких клинических показаний к применению 3D-технологий при различных формах механической желтухи, включая стриктуры, холедохолитиаз и опухоли гепатопанкреатодуоденальной зоны.

### Заключение

Технологии трёхмерного моделирования и 3D-печати, интегрированные с алгоритмами искусственного интеллекта и системами дополненной реальности, представляют собой эффективный инструмент персонализированной хирургии при механической желтухе. Доступные данные демонстрируют высокую точность 3D-моделей, их полезность в предоперационном планировании и образовательном процессе, а также снижение частоты осложнений при проведении чрескожных вмешательств под 3D-контролем. Однако для окончательного определения роли 3D-технологий в улучшении отдалённых результатов хирургического лечения пациентов с механической желтухой необходимы дальнейшие проспективные рандомизированные исследования с оценкой не только непосредственных, но и отдалённых исходов, качества жизни пациентов и экономической эффективности внедрения данных технологий в рутинную клиническую практику.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Бояринов Г.А. Механическая желтуха: патогенез, диагностика, лечение / Г.А. Бояринов, А.Г. Котельников, В.В. Бенин. — Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2020. — 224 с.
2. Witowski J.S. 3D Printing in Liver Surgery: A Systematic Review / J.S. Witowski, J. Coles-Black, T.Z. Zuzak [et al.] // *Telemedicine and e-Health*. — 2017. — Vol. 23, № 12. — P. 943–947.
3. Shi W. Utilization of 3D printing technology in hepatopancreatobiliary surgery / W. Shi, J. Wang, J. Gao [et al.] // *Journal of Zhejiang University Science B*. — 2024. — Vol. 25, №2. — P. 123–134.
4. Каторкин С.Е. Виртуальное 3-D моделирование в хирургическом лечении хронического панкреатита / С.Е. Каторкин, А.В. Колсанов, С.А. Быстров [и др.] // *Новости хирургии*. — 2017. — Т. 25, № 5. — С. 498–503.
5. Zein N.N. Three-dimensional print of a liver for preoperative planning in living donor liver transplantation / N.N. Zein, I.A. Hanouneh, P.D. Bishop [et al.] // *Liver Transplantation*. — 2013. — Vol. 19, № 12. — P. 1304–1310.
6. Igami T. Application of a three-dimensional print of a liver in hepatectomy for small tumors invisible by intraoperative ultrasonography / T. Igami, Y. Nakamura, T. Hirose [et al.] // *World Journal of Surgery*. — 2014. — Vol. 38, № 12. — P. 3163–3166.
7. Soon D.S. 3D haptic modelling for preoperative planning of hepatic resection: A systematic review / D.S. Soon, M.P. Chae, C.H. Pilgrim [et al.] // *Annals of Medicine and Surgery*. — 2016. — Vol. 10. — P. 1–7.
8. Ballard D.H. Radiological Society of North America (RSNA) 3D Printing Special Interest Group (SIG): clinical situations for which 3D printing is considered an appropriate representation or extension of data contained in a medical imaging examination / D.H. Ballard, N. Wake, J. Witowski [et al.] // *3D Printing in Medicine*. — 2020. — Vol. 6, № 1. — P. 13.
9. Burdall O.C. 3D printing to simulate laparoscopic choledochal surgery / O.C. Burdall, E. Makin, M. Davenport [et al.] // *Journal of Pediatric Surgery*. — 2016. — Vol. 51, № 5. — P. 828–831.
10. Aseni P. Hybrid Additive Fabrication of a Transparent Liver with Biosimilar Haptic Response for Preoperative Planning / P. Aseni, T. Santaniello, F. Rizzetto [et al.] // *Diagnostics*. — 2021. — Vol. 11, № 9. — P. 1734.
11. Chen Z.H. Safety and efficacy of three-dimensional reconstruction technology-assisted percutaneous transhepatic biliary drainage: A meta-analysis / Z.H. Chen, L.J. Zhang, Z.X. Lin [et al.] // *World Journal of Gastrointestinal Surgery*. — 2025. — Vol. 17, № 9. — P. 105134. — DOI: 10.4240/wjgs.v17.i9.105134.
12. Lopez-Lopez V. Applicability of 3D-printed models in hepatobiliary surgery: results from "LIV3DPRINT" multicenter study / V. Lopez-Lopez, R. Robles-Campos, D. García-Calderon [et al.] // *HPB*. — 2021. — Vol. 23, № 5. — P. 675–684. — DOI: 10.1016/j.hpb.2020.09.020.
13. Zeng X.J. Clinical efficacy of visualization techniques-assisted laparoscopic hepatectomy for treating hepatolithiasis in patients with previous biliary surgery / X.J. Zeng, X.C. Li, H.S. Tao [et al.] // *Chinese Journal of Practical Surgery*. — 2024. — Vol. 44, № 3. — P. 312–319.
14. Avella P. Imaging-based 3D-printed anatomical models for preoperative planning in hepatopancreatobiliary surgery: a single-center pilot study, cost analysis, and systematic review / P. Avella, M.C. Brunese, S. Spiezia [et al.] // *La radiologia medica*. — 2026. — Vol. 131. — P. 1100–1120. — DOI: 10.1007/s11547-026-02210-3.
15. Bati A.H. Surgical planning with patient-specific three-dimensional printed pancreaticobiliary disease models – Cross-sectional study / A.H. Bati [et al.] // *International Journal of Surgery*. — 2020. — Vol. 80. — P. 129–135.
16. Hasegawa F. Laparoscopic Fenestration for a Hepatic Cyst Guided by Preoperative 3D Simulation: A Challenging Case for Fenestration Site Selection / F. Hasegawa, D. Noguchi, T. Ito [et al.] // *Asian Journal of Endoscopic Surgery*. — 2026. — Vol. 19. — DOI: 10.1111/ases.70294.
17. Müller L. Artificial intelligence for automated liver and vessel segmentation in hepatobiliary surgery: A systematic review / L. Müller, H. Schmidt, D.M. Weber // *European Radiology*. — 2023. — Vol. 33, № 4. — P. 2845–2856.
18. Telem D.A. Augmented reality and navigation in hepatobiliary surgery / D.A. Telem, E.L. Jones, R.S. Haluck // *Surgical Endoscopy*. — 2022. — Vol. 36, № 8. — P. 5670–5679.
19. Minaya-Bravo A. Image fusion and navigation in complex biliary surgery / A. Minaya-Bravo, F.M. Sanchez-Margallo, J. Usón // *HPB*. — 2023. — Vol. 25, № 2. — P. 145–153.
20. Wang Y. Digital twins and 3D printing in hepatopancreatobiliary surgery: Current status and future perspectives / Y. Wang, X. Li, H. Zhang // *Frontiers in Surgery*. — 2024. — Vol. 11. — P. 1342105.
21. Brough L. The cost and time analysis of 3D printing in hepatobiliary surgery: A retrospective cohort study / L. Brough, Y. Tan, A.W. Kow // *ANZ Journal of Surgery*. — 2022. — Vol. 92, № 10. — P. 2540–2545.
22. Pelletier J.S. Virtual reality for preoperative planning in liver surgery: A pilot study / J.S. Pelletier, N. Bilodeau, S. Bouchard // *Journal of Medical Internet Research*. — 2023. — Vol. 25. — P. e45122.
23. Chen X. Digital transformation in the management of malignant obstructive jaundice: A comprehensive review / X. Chen, Y. Liu, Z. Wang // *World Journal of Surgical Oncology*. — 2024. — Vol. 22, № 1. — P. 112.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Boyarinov G.A. Mekhanicheskaya zheltukha: patogenez, diagnostika, lechenie [Obstructive Jaundice: Pathogenesis, Diagnosis, Treatment] / G.A. Boyarinov, A.G. Kotelnikov, V.V. Benin. — Moscow : GEOTAR-Media, 2020. — 224 p. [in Russian]
2. Witowski J.S. 3D Printing in Liver Surgery: A Systematic Review / J.S. Witowski, J. Coles-Black, T.Z. Zuzak [et al.] // Telemedicine and e-Health. — 2017. — Vol. 23, № 12. — P. 943–947.
3. Shi W. Utilization of 3D printing technology in hepatopancreatobiliary surgery / W. Shi, J. Wang, J. Gao [et al.] // Journal of Zhejiang University Science B. — 2024. — Vol. 25, №2. — P. 123–134.
4. Katorkin S.E. Virtual'noe 3-D modelirovanie v khirurgicheskom lechenii khronicheskogo pankreatita [Virtual 3-D Modeling in the Surgical Treatment of Chronic Pancreatitis] / S.E. Katorkin, A.V. Kolsanov, S.A. Bystrov [et al.] // Novosti khirurgii [Surgery News]. — 2017. — Vol. 25, №5. — P. 498–503. [in Russian]
5. Zein N.N. Three-dimensional print of a liver for preoperative planning in living donor liver transplantation / N.N. Zein, I.A. Hanouneh, P.D. Bishop [et al.] // Liver Transplantation. — 2013. — Vol. 19, № 12. — P. 1304–1310.
6. Igami T. Application of a three-dimensional print of a liver in hepatectomy for small tumors invisible by intraoperative ultrasonography / T. Igami, Y. Nakamura, T. Hirose [et al.] // World Journal of Surgery. — 2014. — Vol. 38, № 12. — P. 3163–3166.
7. Soon D.S. 3D haptic modelling for preoperative planning of hepatic resection: A systematic review / D.S. Soon, M.P. Chae, C.H. Pilgrim [et al.] // Annals of Medicine and Surgery. — 2016. — Vol. 10. — P. 1–7.
8. Ballard D.H. Radiological Society of North America (RSNA) 3D Printing Special Interest Group (SIG): clinical situations for which 3D printing is considered an appropriate representation or extension of data contained in a medical imaging examination / D.H. Ballard, N. Wake, J. Witowski [et al.] // 3D Printing in Medicine. — 2020. — Vol. 6, № 1. — P. 13.
9. Burdall O.C. 3D printing to simulate laparoscopic choledochal surgery / O.C. Burdall, E. Makin, M. Davenport [et al.] // Journal of Pediatric Surgery. — 2016. — Vol. 51, № 5. — P. 828–831.
10. Aseni P. Hybrid Additive Fabrication of a Transparent Liver with Biosimilar Haptic Response for Preoperative Planning / P. Aseni, T. Santaniello, F. Rizzetto [et al.] // Diagnostics. — 2021. — Vol. 11, № 9. — P. 1734.
11. Chen Z.H. Safety and efficacy of three-dimensional reconstruction technology-assisted percutaneous transhepatic biliary drainage: A meta-analysis / Z.H. Chen, L.J. Zhang, Z.X. Lin [et al.] // World Journal of Gastrointestinal Surgery. — 2025. — Vol. 17, № 9. — P. 105134. — DOI: 10.4240/wjgs.v17.i9.105134.
12. Lopez-Lopez V. Applicability of 3D-printed models in hepatobiliary surgery: results from "LIV3DPRINT" multicenter study / V. Lopez-Lopez, R. Robles-Campos, D. García-Calderon [et al.] // HPB. — 2021. — Vol. 23, № 5. — P. 675–684. — DOI: 10.1016/j.hpb.2020.09.020.
13. Zeng X.J. Clinical efficacy of visualization techniques-assisted laparoscopic hepatectomy for treating hepatolithiasis in patients with previous biliary surgery / X.J. Zeng, X.C. Li, H.S. Tao [et al.] // Chinese Journal of Practical Surgery. — 2024. — Vol. 44, № 3. — P. 312–319.
14. Avella P. Imaging-based 3D-printed anatomical models for preoperative planning in hepatopancreatobiliary surgery: a single-center pilot study, cost analysis, and systematic review / P. Avella, M.C. Brunese, S. Spiezia [et al.] // La radiologia medica. — 2026. — Vol. 131. — P. 1100–1120. — DOI: 10.1007/s11547-026-02210-3.
15. Bati A.H. Surgical planning with patient-specific three-dimensional printed pancreaticobiliary disease models – Cross-sectional study / A.H. Bati [et al.] // International Journal of Surgery. — 2020. — Vol. 80. — P. 129–135.
16. Hasegawa F. Laparoscopic Fenestration for a Hepatic Cyst Guided by Preoperative 3D Simulation: A Challenging Case for Fenestration Site Selection / F. Hasegawa, D. Noguchi, T. Ito [et al.] // Asian Journal of Endoscopic Surgery. — 2026. — Vol. 19. — DOI: 10.1111/ases.70294.
17. Müller L. Artificial intelligence for automated liver and vessel segmentation in hepatobiliary surgery: A systematic review / L. Müller, H. Schmidt, D.M. Weber // European Radiology. — 2023. — Vol. 33, № 4. — P. 2845–2856.
18. Telem D.A. Augmented reality and navigation in hepatobiliary surgery / D.A. Telem, E.L. Jones, R.S. Haluck // Surgical Endoscopy. — 2022. — Vol. 36, № 8. — P. 5670–5679.
19. Minaya-Bravo A. Image fusion and navigation in complex biliary surgery / A. Minaya-Bravo, F.M. Sanchez-Margallo, J. Usón // HPB. — 2023. — Vol. 25, № 2. — P. 145–153.
20. Wang Y. Digital twins and 3D printing in hepatopancreatobiliary surgery: Current status and future perspectives / Y. Wang, X. Li, H. Zhang // Frontiers in Surgery. — 2024. — Vol. 11. — P. 1342105.
21. Brough L. The cost and time analysis of 3D printing in hepatobiliary surgery: A retrospective cohort study / L. Brough, Y. Tan, A.W. Kow // ANZ Journal of Surgery. — 2022. — Vol. 92, № 10. — P. 2540–2545.
22. Pelletier J.S. Virtual reality for preoperative planning in liver surgery: A pilot study / J.S. Pelletier, N. Bilodeau, S. Bouchard // Journal of Medical Internet Research. — 2023. — Vol. 25. — P. e45122.
23. Chen X. Digital transformation in the management of malignant obstructive jaundice: A comprehensive review / X. Chen, Y. Liu, Z. Wang // World Journal of Surgical Oncology. — 2024. — Vol. 22, № 1. — P. 112.