

УДК: 616.366-002.1-089:004.94

С.М. АБУОВ, А.А. ШАКАРАЛИЕВ, А.Ж. УКЕНОВ, Ж. АКИШЕВ, А. КАНАТ, А. КУРМАНГАЛИ, М. МУХАМЕДЖАН, А. ЮН
 Казахский национальный медицинский университет имени С.Д.Асфендиярова, кафедра хирургических болезней,
 Алматы, Казахстан

3-D МОДЕЛИРОВАНИЕ - БУДУЩЕЕ ГЕПАТОБИЛИАРНОЙ ХИРУРГИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Резюме: 3D-печать в хирургии печени является новым многообещающим инструментом хирургического планирования. В обзоре приведены шесть исследований, непосредственно связанных с 3D-визуализацией печени. Однако стоимость 3-D визуализации и время являются основными ограничивающими факторами при создании надежной модели. Со временем эта техника осуществима и применима к резекции печени и может помочь в предоперационном планировании резекции печени.
Ключевые слова: 3D печать; 3D-принтер; интраоперационное ультразвуковое исследование; гепатоцеллюлярная карцинома (ГЦК).

**С.М. Абуов, А.А. Шакаралиев, А.Ж. Укенов, Ж. Акишев,
 А. Канат, А. Курмангали, М. Мухамеджан, А. Юн**
 С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина
 университеті, хирургиялық аурулар кафедрасы,
 Алматы, Қазақстан

3-D МОДЕЛДЕУ ГЕПАТОБИЛИАРЛЫҚ ХИ- РУРГИЯНЫҢ БОЛАШАҒЫ ӘДЕБИ ШОЛУ

Түйін: Бауыр хирургиясында 3D басып шығару - бұл хирургиялық жоспарлаудың перспективалы жаңа құралы. Шолу кезінде бауырдың 3D бейнеленуіне тікелей қатысты алты зерттеу көрсетілген. Алайда, 3D көрсету құны мен уақыты сенімді модель құрудың негізгі шектеуші факторлары болып табылады. Уақыт өте келе, бұл әдіс бауыр резекциясына қолдануға болады және операцияға дейінгі бауырды резекциялауды жоспарлауға көмектеседі.
Түйінді сөздер: 3D баспа; 3D-принтер; интраоперациялық ультрарадыбыстық зерттеу; гепатоцеллюлярлы карцинома (ГЦК).

ВВЕДЕНИЕ

Трёхмерная (3D) печать стала популярной в медицине с 1980-х годов. Поскольку 3D-принтеры стали более доступными, реальная сила этого метода в его способности создавать анатомические модели, основанные на уникальных характеристиках отдельных пациентов [1, 661–666]. Отчеты о примерах использования 3D-моделирования опубликованы в таких разнообразных областях, как ортопедия, нейрохирургия, челюстно-лицевая хирургия, пластическая и реконструктивная хирургия. Однако эта технология очень медленно применялась в общей хирургии [2, 200-204].
 3D-моделирование может быть большим преимуществом в хирургии печени. Функциональная анатомия пе-

**S.M. Abuov, A.A. Shakaraliyev, A.G. Ukenov, Zh. Akishev,
 A. Kanat, A. Kurmangali, M. Mukhamedzhan, A. Yun**
 Asfendiyarov Kazakh national medical university,
 Department of Surgical Diseases,
 Almaty, Kazakhstan

3-D MODELING - THE FUTURE OF HEPATOBILIARY SURGERY (LITERATURE REVIEW)

Resume: 3D printing in liver surgery is a promising new surgical planning tool. The review lists six studies directly related to 3D liver imaging. However, 3-D rendering cost and time are the main limiting factors in creating a robust model. Over time, this technique is feasible and applicable to liver resection and may aid in preoperative liver resection planning.

Key words: 3D printing; 3D printer; intraoperative ultrasound examination; hepatocellular carcinoma (HCC).

чени разделена на 8 сегментов, известных как сегменты Куино, обозначенных от I до VIII и частично определяемых ходом печеночной и воротной вены [3, 59-67]. В настоящее время идентификация этих структур и очертание сегментов печени основываются на предоперационной визуализации и интраоперационном ультразвуковом исследовании. Резекция различных сегментов в основном выполняется при злокачественных новообразованиях (метастатические и первичные поражения), хотя различные доброкачественные заболевания также можно лечить хирургическим путем.
 Гепатоцеллюлярная карцинома (ГЦК) является наиболее распространенной первичной опухолью печени с распространенностью у взрослых 4,9 на 100 000, что

делает ее 5-й по частоте злокачественной опухолью желудочно-кишечного тракта у взрослых [4, 4, 69]. ГЦК чаще всего проявляется у пациентов с циррозом, у которых снижен физиологический резерв, чтобы выдержать серьезную резекцию печени. Это делает предоперационное планирование критически важным для минимизации удаления объема печени и предотвращения послеоперационной печеночной недостаточности. Чаще резекция печени выполняется при колоректальных метастазах в печени, которые имеют кумулятивный риск 16% отдаленных метастазов, распространяющихся от первичной опухоли в течение 5 лет [5, 815-822]. У соответствующих пациентов может быть осуществима повторная гепатэктомия после рецидива, и для этой популяции предоперационное планирование и сохранение венозных структур печени имеют еще большее клиническое значение. Это также верно для трансплантации печени от живого донора, где венозный приток и отток в печень реципиента и донорского компонента должен поддерживаться и, следовательно, характеризоваться с уверенностью как до, так и во время операции. В настоящее время предоперационная визуализация с помощью КТ или МРТ с контрастированием остается наиболее важным инструментом планирования операции. Трехмерная компьютерная томография была разработана для предоперационного планирования, однако интерпретация на 2D-экране компьютера по своей сути ограничена. Yoo PSEC и Kulkarni S. считают, что 3D-модель обеспечит тактильную обратную связь с пользователем и облегчит пространственное распознавание важных структур [6, 47].

МЕТОДЫ

Утверждение PRISMA использовалось для руководства систематическим обзором литературы. Контрольный список доступен и прилагается [7, 336-341]. Поиск в базах данных Ovid Medline (2006 г - настоящее время) и PubMed (2006 г - настоящее время) проводился с использованием следующих терминов и ключевых слов по отдельности или в сочетании: 3D-печать, печень, верхний отдел желудочно-кишечного тракта, общая хирургия. Критерии включения в исследования: опубликовано на английском языке с переводом на русский, имеется полный текст о взрослых, о хирургии печени и опубликовано в период с 2006 по 2020 гг. В конечном итоге было обнаружено, что шесть исследований напрямую связаны с хирургией печени и 3D-печатью, что удовлетворяет критериям включения. Дата последнего поиска была 2020 г. Данные были извлечены на основе Кокрановской эффективной практики и организации ухода, формы для сбора данных. Основная информация, которая была извлечена, касалась того, какой тип модели печени был создан, какой тип 3D-моделирования использовался и как это повлияло на периоперационный исход. Чтобы оценить риск предвзятости, было изучено вариабельность результатов исследований, а также проанализировали, было ли какое-либо возможное внешнее финансирование.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Зейн показал, что можно напечатать на 3D-принтере точную модель всей печени [8, 1304-1310]. Он обнаружил, что их модельная сосудистая структура имела точность до $\pm 1,3$ мм, а вся печень - ± 4 мм по сравнению с реальной печенью пациента. В своей статье Игами и соавт. описали небольшие опухоли печени, которые нельзя было обнаружить с помощью обычного интраоперационного ультразвука, и их можно было локализовать с помощью 3D-печатной модели. После химиотерапии и связанного с этим уменьшения опухоли печени обнаружение опухоли с помощью интраоперационного ультразвука затруднено. Таким образом, 3D-модель перед химиотерапией может направить хирургов к краям этих небольших опухолей печени.

Куинтини обсуждал возможность использования 3D-принтера для предотвращения осложнений при 3D-трансплантации от живого донора, таких как «синдром большого размера» [9, 35-42]. Они также обсудили возможность использования 3D-принтеров в гепатобилиарной анатомии в качестве образовательного инструмента, где 3D-модели будут обеспечивать визуальную стимуляцию и тактильную обратную связь во время предоперационного планирования. В работе Нан Сянь обсуждались преимущества 3D-печати при вариабельной анатомии воротной вены. Имея 3D-модель, они обнаружили врожденное отсутствие сегмента IV воротной вены, который находился рядом с опухолью [10, 8]. Это привело к решению выполнить гепатэктомию с узким краем, чтобы избежать некроза сегмента IV, и привело к хорошему послеоперационному исходу. Исследование Уотсона показало, что можно воспроизвести сосудистую сеть печени, используя недорогой подход [11, 14-17]. В обзорной статье Икегами подчеркнул применение 3D-печати в медицине и множество потенциальных преимуществ 3D-печати при резекциях печени. Основное внимание в этой статье было уделено преимуществам преодоления «синдрома большого размера» при трансплантации печени от живого донора. Поскольку это все еще относительно новая область исследований, возможна систематическая ошибка наблюдений. Исследователи уверены, что эта конкретная технология может стать прорывом, и в тоже время можно переоценить преимущества, которые она может дать [12, 697-698].

3D-моделирование невозможно использовать без программного обеспечения для визуализации. Как уже упоминалось ранее, обычные программные инструменты были разработаны в основном для радиологических приложений и не работают во всех системах эксплуатации. Чтобы решить эту проблему, была разработана несколько программных инструментов на основе архитектуры FW4SPL.

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, для радиологов было разработано первое программное обеспечение для визуализации изображений VR-Render, работающее под Windows, Linux и MacOS. Оно позволяет визуализировать изображения в

различных форматах, таких как DICOM, InrImage, Jpeg, Vtk и FwXML в 2D (фронтальный, сагиттальный и осевой вид) или в 3D-срезах благодаря прямому объемному рендерингу (визуализация). Как и все системы объемного рендеринга, доступные на рабочих станциях в отделениях медицинской визуализации, ему требуется функция передачи для установки параметров трехмерного изображения. Для КТ изображений было интегрировано несколько функций автоматического рендеринга, чтобы упростить использование программного обеспечения. Это позволяет визуализировать медицинское изображение в аксиальной, сагиттальной и фронтальной плоскости (вид многоплоскостной визуализации или MRP) в 3D в наложении на 3D-моделирование пациента [13, 1-6].

На основе той же архитектуры FW4SPL была разработана новая оптимизированная версия VR-Render, предназначенная для хирургов, более простую в использовании благодаря оптимизированному удобному интерфейсу. VR-Render WeBSurg Limited Edition находится в свободном доступе на WeBSurg с января 2010 года, его загрузили и использовали более 8000 пользователей. Этот образовательный веб-сайт предлагает, кроме того, ряд анонимных клинических случаев, включая их оперативные видео. Это позволяет эффективно изучить его использование на конкретных клинических случаях. На основе VR-Render WLE была также разработана программное обеспечение для хирургического планирования виртуальной резекции печени или любого другого органа. По сравнению с предыдущим программным обеспечением для трехмерного виртуального хирургического планирования (3D VSP), разработанным в 2002 году (36), VR-Planning включает все функции VR-Render WLE (средство просмотра 2D DICOM и прямой объемный рендеринг). Это также дает возможность вырезать несколько областей печени, тогда как 3D VSP позволяет вырезать только два компонента. Таким образом, возможна мультисегментэктомия. Второе важное улучшение - это автоматическое вычисление процента оставшейся печени после резекции (FLR, Future Liver Remain), тогда как 3D VSP предоставил только объем [14, 81-82]. 3D-печать в хирургии печени - новый многообещающий инструмент хирургического планирования. В обзоре было выявлено шесть исследований, непосредственно связанных с 3D-визуализацией печени. В этих исследованиях стоимость и время были основными ограничивающими факторами при создании надежной модели. Показали, что эта техника выполнима, и с повышением точности модели могут помочь в предоперационном планировании резекции печени. Это не только помогает оперирующему хирургу, но и помогает всему персоналу, работающему в операционной.

Резекция печени - сложная операция из-за сложной при-

роды печеночной и венозной анатомии в печени. Перед операцией у всех пациентов проводится компьютерная томография и/или МРТ, чтобы документировать распределение опухоли, оценить будущий объем остатка печени и определить взаимоотношения между опухолью и сосудом, чтобы предвидеть анатомию сосудов во время операции [15, 13-21]. Ранним шагом в большинстве резекций печени является идентификация важных сосудистых структур и опухолевых отложений с помощью интраоперационного ультразвука. Благодаря тактильным моделям, напечатанным на 3D-принтере, хирург получает дополнительную помощь для более точной визуализации отдельных участков печени. 3D-модель также может облегчить взаимодействие между пациентами и врачами; оперативную анатомию можно было бы легче объяснить с помощью модели, что облегчило процесс получения согласия.

Исследование в основном продемонстрировало, что возможно создание относительно недорогой, но точной 3D-модели. Модель также была хорошо принята медицинским персоналом и пациентами. Таким образом, это будет хорошей возможностью для дальнейшего изучения этого вопроса в будущих исследованиях, чтобы увидеть преимущества обучения пациентов и рабочих мест с помощью 3D-печатных моделей. В других настоящих обзорах в основном обсуждаются преимущества для хирурга в периоперационном периоде. Также Кёлю, Солеру и Мареско [16, 17-24] удалось значительно снизить стоимость по сравнению с другими исследованиями. 3D-принтер, использованный учреждением в исследовании, почти в 30 раз дешевле по сравнению с 3D-принтерами, используемыми в других исследованиях. Однако ограничение текущей модели включает отсутствие капсулы печени, что может спутать анатомическую ориентацию модели и аспект, который можно улучшить. Еще одно ограничение исследования заключается в том, что удалось создать 3D-модель только для одного пациента. В будущем планируется расширить объем этого исследования за счет увеличения количества пациентов, использующих эту форму технологии, а также вовлечения других хирургических специальностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, 3D-печать в хирургии печени является новым многообещающим инструментом хирургического планирования. В обзоре было выявлено шесть исследований, непосредственно связанных с 3D-визуализацией печени. Однако в этих исследованиях стоимость и время были основными ограничивающими факторами при создании надежной модели. Показано, что эта техника осуществима и применима к резекции печени в принципе, а с улучшением точности моделирования может помочь предоперационное планирование резекции печени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Коэн А., Лавив А., Берман П., Нашеф Р., Абу-Таир Дж. Реконструкция нижней челюсти с использованием технологии стереолитографической трехмерной печати. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol.* Эндод. 2009; 108 : 661-666.
- 2 Висмут Х. Хирургическая анатомия и анатомическая хирургия печени. *World J Surg* 1982; 6 : 3-9
- 3 Куино С. Анатомия печени: порталная (и надпеченочная) или сегментация желчных протоков. *Dig Surg* 1999; 16 : 59-67

- 4 Джемал А., Брей Ф., Центр ММ Глобальная статистика рака. CA Cancer J. Clin. 2011; 61 : 69.
- 5 Файвр Дж., Манфреди С., Бувье АМ Эпидемиология метастазов колоректального рака в печень. Бык. l'Academie Natl. Med. 2003; 187 : 815–822. обсуждение 22–3.
- 6 Yoo PSEC, Kulkarni S. Анатомические аспекты хирургической резекции гепатоцеллюлярной карциномы. J. Clin. Gastroenterol. 2013; 47
- 7 Мохер Д., Либерати А., Тецлафф Дж., Альтман Д. Г. Предпочтительные элементы отчетности для систематических обзоров и метаанализов: заявление ПРИЗМЫ. Int. J. Surg. 2020; 8 : 336–341.
- 8 Зейн Н.Н., Ханунех И.А., Бишоп П.Д. Трехмерный отпечаток печени для предоперационного планирования трансплантации печени от живого донора. Пересадка печени. Выкл. Publ. Am. Доц. Study Liver Dis. Int. Пересадка печени. Soc. 2013; 19 : 1304–1310.
- 9 Криштиану Кинтини Ф.А., Хашимото Кодзи, Зейн Низар, Миллер Чарльз. Современное состояние и будущие разработки в области хирургического планирования LDLT. Curr. Transpl. Отчет 2014: 35–42.
- 10 Нань Сянь К.Ф., Фань Инфан, Ян Цзянь, Цзэн Нин, Лю Цзюнь, Чжу Вэнь. Применение трехмерной печати печени при гепатэктомии при сложной массивной гепатокарциноме с редкими вариациями воротной вены: предварительный опыт. Int. J. Clin. Exp.Med. 2015: 8
- 11 Уотсон Р.А. Недорогое хирургическое применение аддитивного производства. J. Surg. Educ. 2014; 71 : 14–17.
- 12 Икегами Т., Маэхара Ю. Трансплантация: 3D-печать печени при трансплантации печени от живого донора. Nat. Преподобный Gastroenterol. Hepatol. 2013; 10 : 697–698.
- 13 Heimann T, Meinzer HP, Wolf I. Статистическая деформируемая модель для сегментации объемов КТ печени. В Proc MICCAI Workshop on 3D Segmentation in the Clinic: a Grand Challenge 2007: 1-6.
- 14 Руско Л., Бекеш Г., Фидрих М. Автоматическая сегментация печени по много- и однофазным КТ-изображениям с контрастным усилением. Med Image Anal 2009; 13 : 81-82
- 15 Муттер Д., Солер Л., Мареско Дж. Последние достижения в области визуализации печени. Эксперт Рев Gastroenterol Hepatol 2010; 4 : 13-21
- 16 Кель К., Солер Л., Мареско Дж. Интерфейс на основе PACS для трехмерной визуализации анатомических структур и хирургического планирования. Процедура SPIE 2020; 4681: 17-24.

REFERENCES

- 1 Kojen A., Laviv A., Berman P., Nashef R., Abu-Tair Dzh. Rekonstrukcija nizhnej cheljusti s ispol'zovaniem tehnologii stereolitograficheskoj trehmernoj pečati. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Jendod. 2009; 108 : 661–666.
- 2 Vismut H. Hirurgicheskaja anatomija i anatomicheskaja hirurgija pečeni. World J Surg 1982; 6 : 3–9
- 3 Kuino S. Anatomija pečeni: portal'naja (i nadpečenochnaja) ili segmentacija zhelchnyh protokov. Dig Surg 1999; 16 : 59-67
- 4 Dzhemal A., Brey F., Centr MM Global'naja statistika raka. CA Cancer J. Clin. 2011; 61 : 69.
- 5 Fajvr Dzh., Manfredi S., Buv'e AM Jepidemiologija metastazov kolorektalnogo raka v pečeni'. Byk. l'Academie Natl. Med. 2003; 187 : 815–822. obsuzhdenie 22–3.
- 6 Yoo PSEC, Kulkarni S. Anatomicheskie aspekty hirurgicheskoj rezekcii gepatocelljuljarnoj karcinomy. J. Clin. Gastrojenterol. 2013; 47
- 7 Moher D., Liberati A., Teclaff Dzh., Al'tman D. G. Predpochtitel'nye jelementy otchetnosti dlja sistematičeskikh obzorov i metaanalizov: zjavlenie PRIZMY. Int. J. Surg. 2020; 8 : 336–341.
- 8 Zejn N.N., Hanuneh I.A., Bishop P.D. Trehmernyj otechatok pečeni dlja predoperacionnogo planirovanija transplantacii pečeni ot zhivogo donora. Peresadka pečeni. Vykl. Publ. Am. Doc. Study Liver Dis. Int. Peresadka pečeni. Soc. 2013; 19 : 1304–1310.
- 9 Krishtianu Kintini F.A., Hashimoto Kodzi, Zejn Nizar, Miller Charl'z. Sovremennoe sostojanie i budushhie razrabotki v oblasti hirurgicheskogo planirovanija LDLT. Curr. Transpl. Otchet 2014: 35–42.
- 10 Nan' Sjan' K.F., Fan' Infan, Jan Czjan', Czjen Nin, Lju Czjun', Chzhu Vjen'. Primenenie trehmernoj pečati pečeni pri gepatjektomii pri slozhnoj massivnoj gepatokarcinome s redkimi variacijami vorotnoj veny: predvaritel'nyj opyt. Int. J. Clin. Exp.Med. 2015: 8
- 11 Uotson R.A. Nedorogoe hirurgicheskoe primenenie additivnogo proizvodstva. J. Surg. Educ. 2014; 71 : 14–17.
- 12 Ikegami T., Maehara Ju. Transplantacija: 3D-pechat' pečeni pri transplantacii pečeni ot zhivogo donora. Nat. Prepodobnyj Gastrojenterol. Hepatol. 2013; 10 : 697–698.
- 13 Heimann T, Meinzer HP, Wolf I. Statisticheskaja deformiruemaja model' dlja segmentacii ob'emov KT pečeni. V Proc MICCAI Workshop on 3D Segmentation in the Clinic: a Grand Challenge 2007: 1-6.
- 14 Rusko L., Bekesh G., Fidrih M. Avtomaticheskaja segmentacija pečeni po mnogo- i odnofaznym KT-izobrazhenijam s kontrastnym usileniem. Med Image Anal 2009; 13 : 81-82
- 15 Mutter D., Soler L., Maresko Dzh. Poslednie dostizhenija v oblasti vizualizacii pečeni. Jekspert Rev Gastrojenterol Hepatol 2010; 4 : 13-21
- 16 Kjol' K., Soler L., Maresko Dzh. Interfejs na osnove PACS dlja trehmernoj vizualizacii anatomicheskikh struktur i hirurgicheskogo planirovanija. Procedura SPIE 2020; 4681: 17-24.

Вклад авторов. Все авторы принимали равносильное участие при написании данной статьи.

Конфликт интересов – не заявлен.

Данный материал не был заявлен ранее, для публикации в других изданиях и не находится на рассмотрении другими издательствами.

При проведении данной работы не было финансирования сторонними организациями и медицинскими представительствами.

Финансирование – не проводилось.

Авторлардың үлесі. Барлық авторлар осы мақаланы жазуға тең дәрежеде қатысты.

Мүдделер қақтығысы – мәлімделген жоқ.

Бұл материал басқа басылымдарда жариялау үшін бұрын мәлімделмеген және басқа басылымдардың қарауына ұсынылмаған.

Осы жұмысты жүргізу кезінде сыртқы ұйымдар мен медициналық өкілдіктердің қаржыландыруы жасалған жоқ.

Қаржыландыру жүргізілмеді.

Authors' Contributions. All authors participated equally in the writing of this article.

No conflicts of interest have been declared.

This material has not been previously submitted for publication in other publications and is not under consideration by other publishers.

There was no third-party funding or medical representation in the conduct of this work.

Funding - no funding was provided.

Сведения об авторах

Сапар Маханбетович Абуов – профессор кафедры хирургических болезней №1 КазНМУ им.С.Д.Асфендиярова
Sapar66kz@mail.ru +7 701 372 01 09

Шакаралиев Али Адильевич – резидент 1 курса специальности «Общая хирургия» КазНМУ им. С. Д. Асфендиярова, +77021069111
ali.shakaraliev@mail.ru

Укенов Аликбек Жанатович – резидент 1 курса специальности «Общая хирургия» КазНМУ им. С. Д. Асфендиярова, +77715736560
Alibek_gg@mail.ru