

© CC BY Коллектив авторов, 2019

УДК 616.36-089:61.001.57

DOI: 10.24884/0042-4625-2019-178-5-74-80

ВИРТУАЛЬНОЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ В ХИРУРГИИ ПЕЧЕНИ

Д. Н. Панченков^{1, 2*}, Ю. В. Иванов^{1, 2}, А. В. Колсанов³, С. С. Чаплыгин³,
П. М. Зельтер³, К. А. Тупикин², Д. А. Астахов^{1,2}, А. И. Злобин^{1,2}

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А. И. Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

³ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Россия

Поступила в редакцию 19.08.19 г.; принята к печати 09.10.19 г.

ЦЕЛЬ. Изучение возможности предоперационного цветного 3D-моделирования и интраоперационной навигации за счет использования системы «Автоплан» при хирургическом лечении пациентов с патологией печени.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ. Система «Автоплан» использована у 32 больных с различными хирургическими заболеваниями печени – гемангиомой, эхинококковой кистой, альвеококкозом и метастазами колоректального рака – с целью оценки возможности выполнения операции – резекции печени того или иного объема.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Выполненное 3D-моделирование печени на предоперационном этапе позволило в 3 (10,3%) случаях из 32 отказаться от намеченного оперативного лечения в пользу консервативной терапии в связи с местным распространением патологического процесса (в 2 случаях – метастатическое билобарное и в 1 случае – альвеококкозное поражение органа). Из 29 оперированных пациентов у 6 (20,7%) на этапе предоперационного моделирования был изменен планируемый объем резекции печени: у 4 больных – в сторону его увеличения в связи с выявленным топографо-анатомическим расположением новообразований, а у 2 – в сторону его уменьшения, обусловленного особенностями кровоснабжения зоны хирургического интереса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Предоперационное 3D-моделирование позволяет хирургу лучше подготовиться к хирургическому вмешательству с учетом индивидуальных анатомических особенностей пациента и выбрать оптимальный объем операции. Знание 3D-топографии образований в печени позволяет уменьшить интраоперационную кровопотерю и вероятность повреждения внутривисцеральных структур (сосуды, желчные протоки). Послеоперационное 3D-моделирование позволяет оценить адекватность объема проведенного хирургического вмешательства и может служить объективным критерием в оценке качества медицинской помощи.

Ключевые слова: виртуальное 3D-моделирование, система «Автоплан», резекция печени

Для цитирования: Панченков Д. Н., Иванов Ю. В., Колсанов А. В., Чаплыгин С. С., Зельтер П. М., Тупикин К. А., Астахов Д. А., Злобин А. И. Виртуальное 3D-моделирование в хирургии печени. *Вестник хирургии имени И. И. Грекова*. 2019;178(5):74–80. DOI: 10.24884/0042-4625-2019-178-5-74-80.

* **Автор для связи:** Дмитрий Николаевич Панченков, ФГБУ «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А. И. Евдокимова» Минздрава России, 127473, Россия, Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1. E-mail: dnpanchenkov@mail.ru.

VIRTUAL COLOR 3D-MODELING IN LIVER SURGERY

Dmitry N. Panchenkov^{1, 2*}, Yu. V. Ivanov^{1, 2}, Aleksandr V. Kolsanov³, Sergey S. Chaplygin³,
Pavel M. Zelter³, Kirill A. Tupikin², Dmitry A. Astahov^{1, 2}, Aleksandr I. Zlobin^{1, 2}

¹ Federal Research Clinical Center for Specialized medical care and medical technologies of FMBA, Moscow, Russia

² A. I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia

³ Samara State Medical University, Samara, Russia

Received 19.08.19; accepted 09.10.19

The **OBJECTIVE** of this work was to study the possibility of preoperative color 3D-modeling and intraoperative navigation through the use of the system «Avtoplan» in the surgical treatment of patients with pathology of the liver.

MATERIAL AND METHODS. System «Avtoplan» was used in 32 patients with different surgical diseases of the liver: hemangioma, hydatid cyst, alveococcosis and metastatic colorectal cancer to assess the feasibility of the operation – resection of the liver of a particular volume.

RESULTS. The performed 3D-modeling of the liver in the preoperative stage were used in 3 cases (10.3%) of 32 to abandon the planned surgical treatment in favor of conservative therapy due to local spread of the pathological process (in 2 cases – metastatic bilobate and in 1 case – alveococcosis organ damage). Of the 29 operated patients, in 6 (20.7%) at the stage of preoperative modeling, the planned volume of liver resection was changed: in 4 patients, in the direction of its increase in connection with the identified topographic and anatomic location of tumors, and in 2 patients, in the direction of its reduction due to the peculiarities of the blood supply to the zone of surgical interest.

CONCLUSION. Preoperative 3D-modeling allowed the surgeon to better prepare for surgical intervention according to individual anatomical characteristics of the patient and to choose the optimal extent of surgery. Knowledge of 3D topography of liver lesions allowed reducing intraoperative blood loss and the likelihood of damage to intrahepatic structures (vessels, bile ducts). Postoperative 3D modeling allowed to assess the adequacy of the volume of surgery performed and could serve as an objective criterion in assessing the quality of medical care.

Keywords: virtual 3D modelling system «Avtoplan», resection of the liver

For citation: Panchenkov D. N., Ivanov Yu. V., Kolsanov A. V., Chaplygin S. S., Zelter P. M., Tupikin K. A., Astahov D. A., Zlobin A. I. Virtual color 3D-modeling in liver surgery. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2019;178(5):74–80. (In Russ.). DOI: 10.24884/0042-4625-2019-178-5-74-80.

* **Corresponding author:** Dmitry N. Panchenkov, A. I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, 20 Delegatskaya street, Moscow, Russia, 127473. E-mail: dnpanchenkov@mail.ru.

Введение. Диагностика и оперативное лечение новообразований печени на современном этапе развития хирургии продолжает оставаться одной из сложных и дискуссионных проблем хирургической гепатологии [1]. Диагностический ряд неинвазивных инструментальных методов исследования при различных очаговых заболеваниях печени ограничен, основными из них являются ультразвуковое исследование (УЗИ) с цветовым доплеровским картированием (ЦДК), мульти-спиральная компьютерная томография (МСКТ) с болюсным контрастированием, магнитно-резонансная томография (МРТ), гепатосцинтиграфия с внутривенным введением радиоактивного изотопа технеция (^{99m}Tc , или ^{99m}Tc -ХИДА) в качестве контрастного вещества и позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) [2].

В настоящее время наиболее распространенным стандартным методом диагностики хирургических заболеваний печени является МСКТ с болюсным контрастированием [2, 3]. Данное исследование позволяет выявлять небольшие по размеру патологические очаги, дифференцировать доброкачественные и злокачественные образования, определять их васкуляризацию и расположение в паренхиме печени. Методика болюсного внутривенного введения контрастного вещества позволяет отдельно получать фазы распределения с визуализацией артерий и вен на разных фазах. Такое исследование идеально для прижизненного изучения вариантной анатомии с визуализацией сосудов диаметром 1 мм и более. Однако МСКТ с болюсным контрастированием не всегда позволяет четко определить топографо-анатомические взаимоотношения образования с крупными сосудами и желчными протоками, что затрудняет выполнение операции и повышает риск интраоперационного кровотечения [4].

В последние годы продолжается бурное развитие различных отраслей медицины, в частности, хирургии, анестезиологии и реаниматологии. Это неизбежно ведет к повышению хирургической агрессии, увеличению объема и технической сложности операций. В хирургической гепатологии все большее распро-

странение получают обширные анатомические резекции печени, двухэтапные анатомические резекции по методике ALPPS (Associating Liver Partition and Portal vein Ligation for Staged hepatectomy), или «*in situ split*» резекции печени [1]. Выполняя такие операции, хирург интраоперационно нередко сталкивается с ситуацией, когда необходимо четко определить возможность безопасного выполнения определенного объема резекции органа. При этом необходимо учитывать и анатомические особенности кровоснабжения печени, расположение внутривенных желчных протоков. Наиболее тяжелым интраоперационным осложнением при операциях на печени является неконтролируемое кровотечение, приводящее к ДВС-синдрому (диссеминированное внутрисосудистое свертывание), полиорганной недостаточности, что нередко заканчивается летальным исходом. В связи с этим остро встает вопрос о методах профилактики данного осложнения. Одним из таких методов является предоперационное планирование операции на основе имеющихся результатов исследований – МСКТ с болюсным контрастированием или МРТ [5, 6].

Целью работы явилось изучение возможности предоперационного 3D-моделирования и интраоперационной навигации за счет использования системы «Автоплан» при хирургическом лечении пациентов с патологией печени.

Материал и методы. Учитывая большую актуальность проблемы компьютерного предоперационного моделирования и планирования операций на печени в России и за рубежом и ограничениями существующих импортных систем, группой специалистов (хирурги, рентгенологи и программисты) Центра прорывных исследований Самарского государственного медицинского университета «Информационные технологии в медицине» с 2014 г. в рамках государственной программы «Развитие фармацевтической и медицинской промышленности Российской Федерации на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу» ведется разработка и внедрение в клиническую практику отечественной системы «Автоплан» по предоперационному планированию операций на печени и других паренхиматозных органах брюшной полости с возможностью полуавтоматической сегментации.

Результатом совместной работы с коллективом разработчиков системы «Автоплан» стало внедрение с 2016 г. методики трехмерного 3D-моделирования в клиническую практику

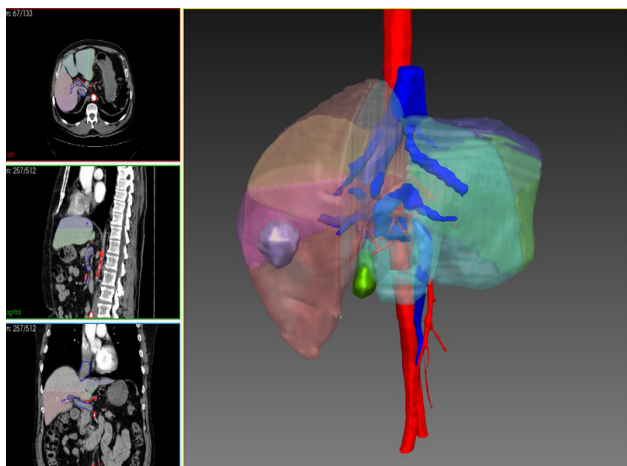


Рис. 1. Виртуальное трехмерное изображение печени, построенное на основании данных МСКТ с болюсным контрастированием.

Гемангиома VI сегмента. Слева – КТ в 3 проекциях

Fig. 1. Virtual 3D image of the liver based on MSCT with bolus contrast. Hemangioma S6. Left CT in 3 projections

работы хирургической клиники ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» ФМБА России – клинической базы лаборатории минимально инвазивной хирургии МГМСУ им. А. И. Евдокимова Минздрава России, при выполнении операций на печени.

С февраля 2016 г. по апрель 2018 г. в отделениях хирургии и онкологии ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» ФМБА России находились на обследовании и лечении 32 больных с различными очаговыми образованиями печени. Из 32 больных было 19 мужчин и 13 женщин в возрасте от 32 до 71 года (средний возраст составил $(62,3 \pm 5,8)$ года). Нозологические формы заболеваний печени были следующими: солитарный метастаз или метастазы колоректального рака в печень – 17 пациентов, гемангиома печени – 9, эхинококковая киста – 4 и альвеококкоз печени – 2 больных.

Всем пациентам в процессе обследования выполняли МСКТ, используя мультисрезовые томографы Siemens SOMATOM Emotion 6, Toshiba Aquilion 64, Philips Ingenuity 128 или МРТ на аппаратах фирм Siemens, Philips с напряжен-

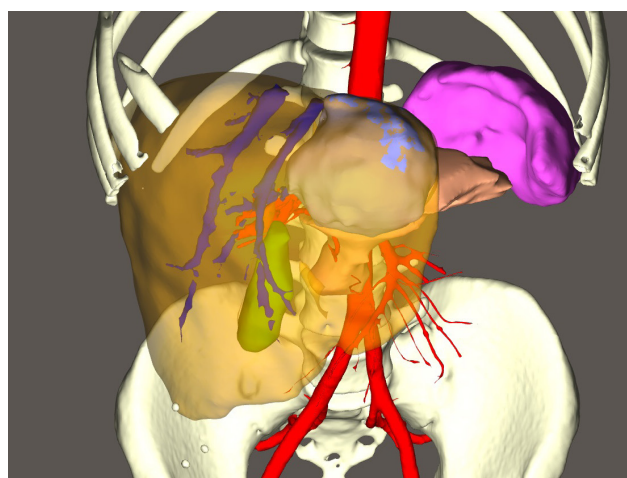
ностью магнитного поля 1,5 Тесла и General Electric с напряженностью магнитного поля 3 Тесла. При исследовании печени применяли болюсное введение 100 мл контрастного препарата Омнипак – 350 или Ультравист 370 с получением 4 фаз сканирования.

Систему «Автоплан» использовали во всех случаях наблюдений с целью оценки возможности выполнения операции – резекции печени того или иного объема. Компьютерное моделирование и предоперационное планирование проводили на основе полученных данных МСКТ или МРТ (рис. 1). Данная методика позволяла совместить все 4 фазы исследования с объемным преобразованием на одном изображении для наглядной визуализации патологических образований с особенностями артериального и венозного кровоснабжения и возможностью выполнения «виртуальной операции».

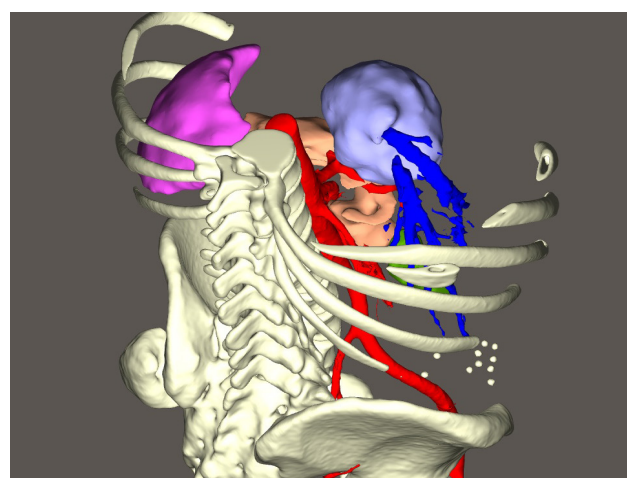
Результаты. Виртуальное 3D-моделирование печени позволило во всех 32 случаях на основе данных томографических исследований (МСКТ, МРТ) получить модель с цветовым картированием органов и сосудов. При этом отдельно цветом выделялось патологическое образование, а окружающие его структуры были полупрозрачными (рис. 2, а, б). Подобная методика позволяет в наглядной форме понять взаимоотношение структур перед операцией и даже провести виртуальную плоскость резекции.

Технология получения виртуальной 3D-модели в хирургии печени состоит из следующих этапов: 1) выполнение пациенту МСКТ или МРТ с болюсным контрастным усилением; 2) загрузка данных в формате DICOM в систему «Автоплан»; 3) сегментация печени; 4) сегментация артерий и вен печени; 5) получение объемной полигональной модели и ее анализ совместно с врачом-хирургом; 6) загрузка моделей в модуль навигации. Среднее время получения модели составило 23,5 мин.

В системе «Автоплан» использовали плагины по автоматической сегментации печени. Патологические очаги выделяли с помощью инструмента 3D-интерполяции, при котором степень «растекания» захвата варьируется с помощью движения



а



б

Рис. 2. Виртуальное трехмерное изображение печени: а – эхинококковая киста левой доли печени; б – эхинококковая киста и сосуды левой доли печени

Fig. 2. Virtual 3D image of the liver: а – echinococcus cyst of the left lobe of the liver; б – echinococcus cyst and vessels of the left lobe of the liver

курсора в разные стороны. Далее включался алгоритм 3D-интерполяции. После этого с помощью инструмента коррекции исправляли мелкие недочеты. Плагин по сегментации сосудов имеет сложный многоступенчатый алгоритм, при котором компьютер автоматически анализирует не только плотность пикселей, но и форму и характер контура. При этом моделируются гораздо более мелкие артерии и вены, чем при стандартной реконструкции по типу «Volume rendering».

Алгоритм сосудистой сегментации включал в себя предварительную обработку изображений для улучшения соотношения «контраст – шум», пороговую обработку и использование метода «geodesic active contour». Анатомия воротной вены являлась основным и чрезвычайно важным аспектом при всех видах резекции печени (лапароскопической, лапаротомной), так как именно ее анатомические особенности в большинстве случаев определяли тактику хирурга (рис. 3).

В результате была получена модель печени, которая являлась интегральным отображением всех фаз МСКТ или МРТ. На такой модели можно было изменять прозрачность структур, которые «заслоняют» зону интереса, измерять объемы и проводить плоскости виртуальной резекции.

При подготовке к операциям использовали приложение Autoplan viewer – просмотрщик, который может работать на компьютерах небольшой мощности. В данном приложении невозможно выполнять сегментации, но оно удобно для просмотра моделей, изменения их прозрачности и построения плоскостей сечения для виртуальной резекции (рис. 4). Автоматически рассчитывали объем удаленной и сохраняемой паренхимы печени. На этапе планирования операции хирург выбирал оптимальную виртуальную линию резекции и определял анатомические особенности печени.

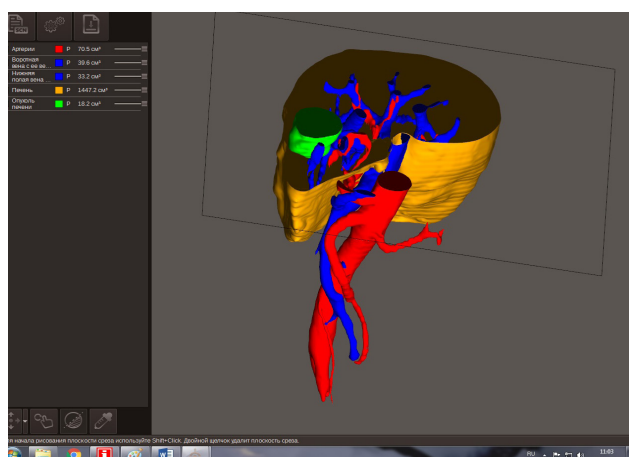


Рис. 4. Проведенная виртуальная плоскость резекции трехмерного изображения печени

Fig. 4. Virtual plane of resection of 3D image of the liver

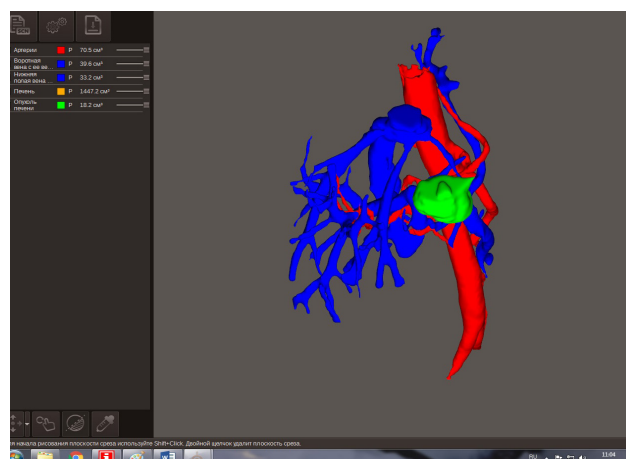


Рис. 3. Виртуальное трехмерное изображение сосудистой системы печени при солитарном метастазе колоректального рака левой доли печени

Fig. 3. Virtual 3D image of the vascular system of the left lobe of the liver with solitary metastasis of colorectal cancer

Выполненное 3D-моделирование печени на предоперационном этапе позволило в 3 (10,3 %) случаях из 32 отказаться от намеченного оперативного лечения в пользу консервативной терапии в связи с местным распространением патологического процесса (в 2 случаях – метастатическое билобарное и в 1 случае – альвеококковое поражение органа) (рис. 5).

Из 29 оперированных пациентов у 6 (20,7 %) на этапе предоперационного моделирования был изменен планируемый объем резекции печени: у 4 больных – в сторону его увеличения в связи с выявленным топографо-анатомическим расположением новообразований, а у 2 – в сторону его уменьшения, обусловленного особенностями кровоснабжения зоны хирургического интереса. При метастатическом поражении печени (15 наблюдений) объем резекции варьировал от анатомических резекций одного или нескольких сегментов

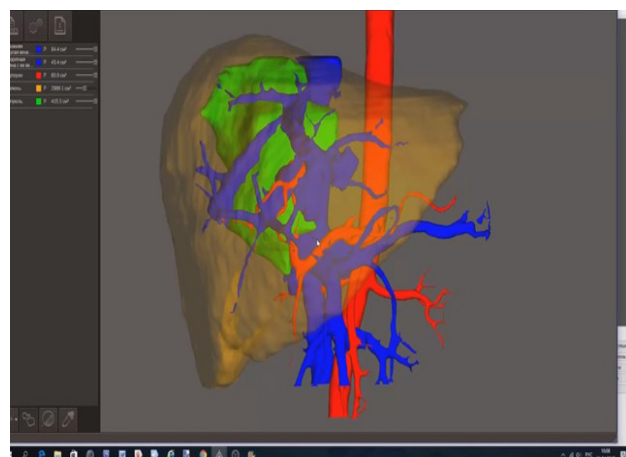


Рис. 5. Виртуальное трехмерное изображение печени. Альвеококкоз с вовлечением в патологический процесс воротной и нижней полой вены

Fig. 5. Virtual 3D image of the liver. Alveococcosis with involvement in the pathological process of the portal vein and inferior Vena cava

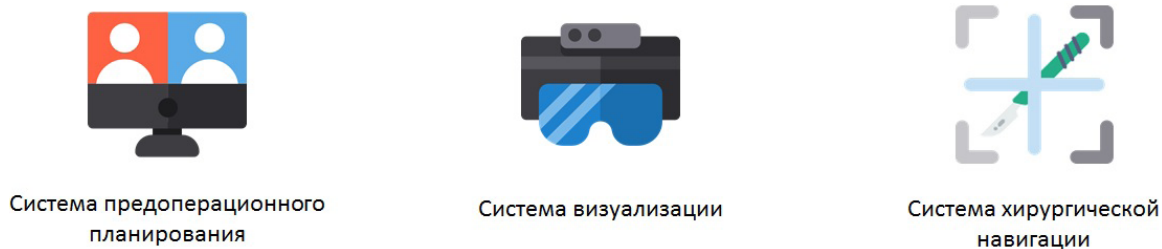


Рис. 6. Основные компоненты комплекса «Автоплан»

Fig. 6. The basic components of «Avtoplan» complex

до правосторонней гемигепатэктомии (11 – лапаротомным и 4 – лапароскопическим доступом), что определялось числом метастазов и их расположением в паренхиме органа. При гемангиоме (9 больных) выполняли различные анатомические и атипичные резекции печени (5 – лапаротомным и 4 – лапароскопическим способом), что зависело от их расположения и размеров новообразований. У 4 пациентов с эхинококковыми кистами произведены перецистэктомии с удалением не только самой кисты (без вскрытия ее просвета), но и участка паренхимы печени на протяжении 0,5–1 см от капсулы кисты (1 – лапаротомным и 3 – лапароскопическим доступом). Пациенту с альвеококкозом печени выполнена лапароскопическая левосторонняя гемигепатэктомия.

Во всех случаях объем резекции печени был проведен в соответствии с дооперационно определенной виртуальной плоскостью резекции, при этом сохраненный объем печени был достаточным для дальнейшего функционирования органа. Интраоперационных осложнений не наблюдали.

Таким образом, предоперационное планирование позволило успешно решить ограничения имеющихся стандартных рабочих станций и обеспечить хирурга дополнительной информацией по индивидуальным анатомо-топографическим особенностям печени.

Внедрение в работу отделения хирургии и операционного блока системы «PACS» (Picture Archiving and Communication System – система передачи и архивации DICOM-изображений) сделало возможным для врача-хирурга самостоятельный поиск, просмотр и изучение выполненного исследования в формате DICOM на рабочей станции.

Во время хирургического вмешательства на экран в операционную выводили 3D-модель для интерактивного сопоставления с интраоперационной картиной. Применение моделирования позволяло хирургу уверенно идентифицировать анатомические структуры и патологические образования, формировать оптимальную линию разреза, а также избегать повреждения крупных сосудов.

Из 29 оперированных пациентов у 3 отмечены различные послеоперационные хирургические осложнения. У 1 больного на 2-е сутки после операции (лапароскопическая анатомическая резекция V,

VI сегментов печени по поводу гемангиомы) возникло внутрибрюшное кровотечение (объем – 400 мл), потребовавшее релапароскопии и дополнительной коагуляции, клипирования паренхимы органа. У 1 пациента со 2-х суток от момента операции (лапаротомия, правосторонняя гемигепатэктомия по поводу метастатического поражения печени) наблюдали желчеистечение по стаховому дренажу (в объеме от 80 до 150 мл в сутки), не потребовавшее повторного оперативного вмешательства и самостоятельно прекратившееся на 6-е сутки. В 1 случае зафиксирована серома в нижней трети операционной раны (объем – 60 см³, консервативное лечение: пункция и эвакуация серомы, перевязки) после анатомической резекции VI, VII сегментов печени, выполненной по поводу метастаза колоректального рака лапаротомным доступом). Летальных исходов после оперативных вмешательств не было.

Обсуждение. Новым инновационным направлением современной хирургии, основанным на междисциплинарном подходе, является применение 3D-моделирования области операционного вмешательства. В зарубежной литературе последних лет активно обсуждается вопрос о разработке и применении предоперационного компьютерного моделирования с возможной интраоперационной навигацией в хирургической практике [7–9]. Ряд авторов [10, 11] указывают на наглядность получаемых моделей и положительные отзывы хирургов при операциях на печени. Но из-за небольшого объема результатов к настоящему дню отсутствуют данные по объективному сравнению операций с использованием подобных систем и без их применения. Современные компьютерные томографы обладают функцией возможного построения 3D-изображения. Но следует отметить, что процесс моделирования выполняется в ручном режиме, что занимает много времени. Кроме того, стандартная 3D-модель без цветового картирования, к сожалению, не может решить следующие вопросы: 1) сегментация (выделение) патологического очага от окружающей ткани; 2) представление очага с питающими его сосудами для планирования линии разреза; 3) объемное представление резецируемой и сохраненной части печени для оценки ее жизнеспособности [7, 12, 13].

Отечественная система «Автоплан» представляет собой многофункциональный комплекс, позволя-

ющий на основе предоперационных исследований МСКТ или МРТ планировать проведение хирургических операций с помощью построения 3D-модели внутренних органов и тканей (рис. 6).

С помощью построения индивидуальной анатомической модели печени четко визуализируются как патологические образования, так и здоровые ткани. Необходимо отметить универсальность системы, которая работает не только на всех популярных платформах («Windows», «OS X», «Linux»), но и с данными томографов любого производителя.

Полученные сведения позволяют хирургу на дооперационном этапе наметить план действий и приступить к операции с лучшим пониманием положения новообразования относительно других структур печени и объема хирургического вмешательства. Высокая точность модели дает возможность использовать ее в навигации с дополненной реальностью, при этом наложение модели с интраоперационной картинкой происходит с погрешностью не более 5 мм [3].

Система «Автоплан» за счет построения объемной модели сосудов, желчных протоков и деления печени на сегменты позволяет детализировать структуры органа и, в свою очередь, более детально выбирать оптимальное направление диссекции паренхимы органа (разреза). Все это снижает риск кровотечения, обеспечивает максимальную безопасность и эффективность проведения сложных хирургических вмешательств с минимальными повреждениями тканей пациента (рис. 7).

В состав «Автоплана» входят как аппаратная, так и программная часть. Аппаратная часть состоит из комплекса стереокамер (Bumblebee XB3 с ИК-линзами), активных маркёров, пульта управления и очков дополненной реальности. Программная часть базируется на нескольких библиотеках с открытым исходным кодом (cgal, vtk, itk, boost). Алгоритмы по построению сегментаций органов разработаны и написаны сотрудниками Центра прорывных исследований Самарского государственного медицинского университета.

Основной вопрос, который может возникнуть у коллег при знакомстве с данной методикой, – что же может дать полигональная 3D-модель для хирурга, оперирующего на печени, и, вообще, нужна ли она, или это просто красивые цветные картинки, не имеющие диагностической ценности?

Наш небольшой опыт позволяет сделать предварительный оптимистический вывод об определенной практической значимости 3D-моделирования в хирургии печени.

Так, во всех случаях созданная 3D-модель полностью подтвердилась интраоперационно и помогла выполнить радикальное иссечение паренхимы печени с патологическим образованием.

Предоперационное знание хирургом топографо-анатомических особенностей области операции в 3D-формате, несомненно, имеет важное

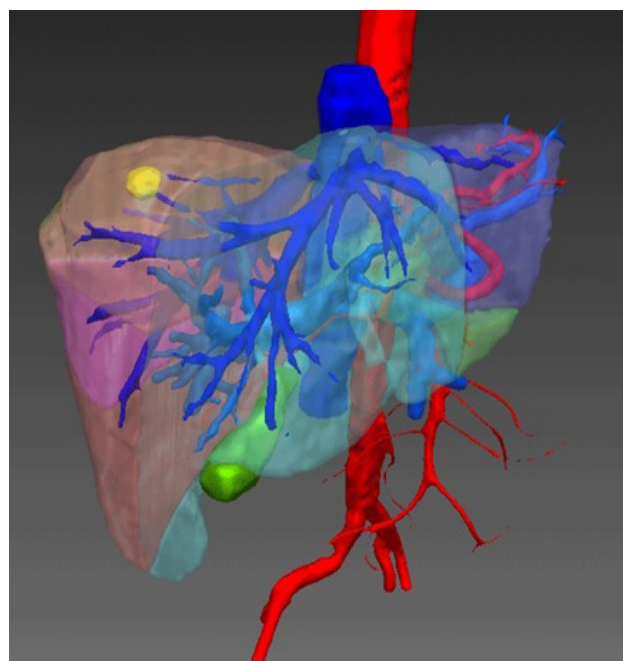


Рис. 7. Виртуальное трехмерное изображение печени. Солитарный метастаз колоректального рака в VII сегмент
Fig. 7. Virtual 3D image of the liver. Solitary metastasis of colorectal cancer in S7

значение и может повлиять на выбор способа и объема резекции органа. Созданная компьютерная программа позволяет поворачивать модель на 360° в любой плоскости в трехмерном пространстве. Ноутбук с загруженной 3D-моделью всегда можно взять в операционную и непосредственно в процессе операции еще раз «повертеть» в разных плоскостях модель, уточнить анатомические взаимоотношения и принять взвешенное обоснованное решение.

С нашей точки зрения, предоперационное 3D-моделирование может стать одним из объективных критериев выбора способа резекции печени.

Выводы. 1. Создана система 3D-моделирования и навигации за счет использования системы «Автоплан» при хирургическом лечении патологии печени.

2. Послеоперационное 3D-моделирование позволяет оценить адекватность объема проведенного хирургического вмешательства и может служить объективным критерием в оценке качества медицинской помощи.

Конфликт интересов

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Соответствие нормам этики

Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно необходимо, и правила обращения с животными в случаях их использования в работе. Подробная информация содержится в Правилах для авторов.

Compliance with ethical principles

The authors confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent when it is necessary, and the rules of treatment of animals when they are used in the study. Author Guidelines contains the detailed information.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hallet J., Gayet B., Tsung A. et al. Systematic review of the use of pre-operative simulation and navigation for hepatectomy : current status and future perspectives // J Hepatobiliary Pancreat Sci. 2015. № 5. P. 353–362. Doi: 10.1002/jhbp.220.
2. Виртуальное хирургическое моделирование на основе данных компьютерной томографии : моногр. / В. Д. Федоров, Г. Г. Кармазановский, Е. Б. Гузеева, В. В. Цвиркун. М. : Видар-М, 2003. 184 с.
3. Колсанов А. В., Манукян А. А., Зельтер П. М. и др. Виртуальное моделирование операции на печени на основе данных компьютерной томографии // Анналы хирург. гепатологии. 2016. Т. 21, № 4. С. 16–22.
4. Hansen C., Zidowitz S., Hindennach M. et al. Interactive determination of robust safety margins for oncologic liver surgery // Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg. 2009. Vol. 4, № 5. P. 469–474. Doi: 10.1007/s11548-009-0359-1.
5. Arora R., Kalra P., Madan R. 3D Model Generation of Patient Specific Liver with Pancreas and Portal Veins // Int J Sci Res (IJSR). 2014. № 5. P. 1875–1878.
6. Banz V. M., Baechtold M., Weber S. et al. Computer planned, image-guided combined resection and ablation for bilobar colorectal liver metastases // World J. Gastroenterol. 2014. Vol. 20, № 40. P. 14992–14996. Doi: 10.3748/wjg.v20.i40.14992.
7. Bégin A., Martel G., Lapointe R. et al. Accuracy of preoperative automatic measurement of the liver volume by CT-scan combined to a 3D virtual surgical planning software (3DVSP) // Surg Endosc. 2014. № 12. P. 3408–3412. Doi: 10.1007/s00464-014-3611-x.
8. Lin Q., Xu Z., Li B. et al. Immersive virtual reality for visualization of abdominal CT // Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 2013. P. 8673. Doi: 10.1117/12.2008050.
9. Peterhans M., Berg A. vom, Dagon B. et al. A navigation system for open liver surgery : design, workflow and first clinical applications // Int. J. Med. Robot. 2011. Vol. 7, № 1. P. 7–16. Doi: 10.1002/rcs.360.
10. Soler L., Delingette H., Malandain G. et al. An automatic virtual patient reconstruction from CT-scans for hepatic surgical planning // Stud Health Technol Inform. 2000. № 70. P. 316–322.
11. Soler L., Nicolau S., Pessaux P. et al. Realtime 3D image reconstruction guidance in liver resection surgery // Hepatobiliary Surg. Nutr. 2014. Vol. 3, № 2. P. 73–81. Doi: 10.3978/j.issn.2304-3881.
12. Wu W., Xue Y., Wang D. et al. Application of 3D imaging in the real-time US-CT fusion navigation for minimal invasive tumor therapy // Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg. 2015. Vol. 10, № 10. P. 1651–1658. Doi: 10.1007/s11548-015-1224-z.
13. Yamanaka J., Okada T., Saito S. et al. Minimally invasive laparoscopic liver resection : 3D MDCT simulation for preoperative planning // J. Hepatobiliary

Pancreat. Surg. 2009. Vol. 16, № 6. P. 808–815. Doi: 10.1007/s00534-009-0112-8.

REFERENCES

1. Hallet J., Gayet B., Tsung A., Wakabayashi G., Pessaux P. Systematic review of the use of pre-operative simulation and navigation for hepatectomy: current status and future perspectives. J Hepatobiliary Pancreat Sci. 2015 May 22;(5):353–362. Doi: 10.1002/jhbp.220.
2. Fedorov V. D., Karmazanovskii G. G., Guzeeva E. B., Tsvirkun V. V. Virtual'noe khirurgicheskoe modelirovanie na osnove dannyykh komp'yuternoi tomografii. Monografiya. Moscow, Vidar-M. 2003:184. (In Russ.).
3. Kolsanov A. V., Manukian A. A., Zel'ter P. M., Chaplygin S. S., Kapishnikov A. V. Virtual'noe modelirovanie operatsii na pecheni na osnove dannyykh komp'yuternoi tomografii. Annaly Khirurgicheskoy Gepatologii. 2016;21(4):16–22. (In Russ.).
4. Hansen C., Zidowitz S., Hindennach M., Schenk A., Hahn H., Peitgen H. O. Interactive determination of robust safety margins for oncologic liver surgery. Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg. 2009;4(5):469–474. Doi: 10.1007/s11548-009-0359-1.
5. Arora R., Kalra P., Madan R. 3D Model Generation of Patient Specific Liver with Pancreas and Portal Veins. Int J Sci Res (IJSR). 2014 May 3; (5):1875–1878.
6. Banz V. M., Baechtold M., Weber S., Peterhans M., Inderbitzin D., Candinas D. Computer planned, image-guided combined resection and ablation for bilobar colorectal liver metastases. World J. Gastroenterol. 2014;20(40):14992–14996. Doi: 10.3748/wjg.v20.i40.14992.
7. Bégin A., Martel G., Lapointe R., Belblidia A., Lepanto L., Soler L. Accuracy of preoperative automatic measurement of the liver volume by CT-scan combined to a 3D virtual surgical planning software (3DVSP). Surg Endosc. 2014 Dec 28;(12):3408–3412. Doi: 10.1007/s00464-014-3611-x.
8. Lin Q., Xu Z., Li B., Baucom R., Poulouse B., Landman B. A., Bodenheimer R. E. Immersive virtual reality for visualization of abdominal CT. Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 2013:8673. Doi: 10.1117/12.2008050.
9. Peterhans M., vom Berg A., Dagon B., Inderbitzin D., Baur C., Candinas D., Weber S. A navigation system for open liver surgery: design, workflow and first clinical applications. Int. J. Med. Robot. 2011;7(1): 7–16. Doi: 10.1002/rcs.360.
10. Soler L., Delingette H., Malandain G., Ayache N., Koehl C., Clément J. M. An automatic virtual patient reconstruction from CT-scans for hepatic surgical planning. Stud Health Technol Inform. 2000;(70):316–322.
11. Soler L., Nicolau S., Pessaux P., Mutter D., Marescaux J. Realtime 3D image reconstruction guidance in liver resection surgery. Hepatobiliary Surg. Nutr. 2014;3(2):73–81. Doi: 10.3978/j.issn.2304-3881.
12. Wu W., Xue Y., Wang D., Li X., Xue J., Duan S., Wang F. Application of 3D imaging in the real-time US-CT fusion navigation for minimal invasive tumor therapy. Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg. 2015;10(10):1651–1658. Doi: 10.1007/s11548-015-1224-z.
13. Yamanaka J., Okada T., Saito S., Kondo Y., Yoshida Y., Suzumura K., Hirano T., Iimuro Y., Fujimoto J. Minimally invasive laparoscopic liver resection: 3D MDCT simulation for preoperative planning. J Hepatobiliary Pancreat Surg. 2009;16(6):808–815. Doi: 10.1007/s00534-009-0112-8.

Сведения об авторах:

Панченков Дмитрий Николаевич* ** (e-mail: dnpanchenkov@mail.ru), д-р мед. наук, профессор, зав. лабораторией минимально инвазивной хирургии; Иванов Юрий Викторович* ** (e-mail: dnpanchenkov@mail.ru), д-р мед. наук, профессор, зав. отделением хирургии; Колсанов Александр Владимирович*** (e-mail: dnpanchenkov@mail.ru), д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой оперативной хирургии и клинической анатомии с курсом инновационных технологий, директор Института инновационного развития СамГМУ, руководитель Центра прорывных исследований «Информационные технологии в медицине»; Чаплыгин Сергей Сергеевич*** (e-mail: dnpanchenkov@mail.ru), канд. мед. наук, доцент кафедры оперативной хирургии и клинической анатомии с курсом инновационных технологий; Зельтер Павел Михайлович*** (e-mail: dnpanchenkov@mail.ru), канд. мед. наук, ассистент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом медицинской информатики, зав. рентгеновским отделением; Туликин Кирилл Алексеевич** (e-mail: kirilltupikin87@gmail.com), канд. мед. наук, старший научный сотрудник лаборатории минимально инвазивной хирургии; Астахов Дмитрий Анатольевич* ** (e-mail: dnpanchenkov@mail.ru), канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории минимально инвазивной хирургии, врач-онколог; Злобин Александр Иванович* ** (e-mail: dnpanchenkov@mail.ru), канд. мед. наук, старший научный сотрудник лаборатории минимально инвазивной хирургии, врач-хирург; * Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий, 115682, Россия, Москва, Ореховый бульвар, д. 28; ** Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова, 127473, Россия, Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1; *** Самарский государственный медицинский университет, 443099, Россия, г. Самара, ул. Чапаевская, д. 89.