

Сегментация очаговых образований печени и виртуальная резекция на основе данных компьютерной томографии

Зельтер П.М., Колсанов А.В., Пышкина Ю.С.

Самарский государственный медицинский университет (СамГМУ)
Россия, 443099, г. Самара, ул. Чапаевская, 89

РЕЗЮМЕ

Цель. Протестировать работу плагинов по сегментации и виртуальной резекции очаговых образований печени на основе данных компьютерной томографии.

Материалы и методы. Проведен анализ данных компьютерной томографии органов брюшной полости с болюсным контрастированием 80 пациентов с очаговыми образованиями печени. Сегментация и 3D-моделирование томограмм проводилось в системе «Автоплан» врачами-рентгенологами при непосредственном участии врача-хирурга.

Результаты. Определена структура нозологий печени у пациентов (наиболее часто встречались гемангиомы у 21,25% из 80 пациентов, кисты у 20% обследуемых, паразитарные кисты у 20% больных и т.д.) по данным компьютерной томографии. Затем проводилась сегментация печени, ее очаговых образований, артерий и вен с помощью системы «Автоплан». Хирург определял объем паренхимы и очаговых образований печени с помощью стандартной функции «объем сегментации», выбирал оптимальную тактику лечения и проводил виртуальную резекцию. В ряде случаев применение сегментации и предоперационного планирования позволило отказаться от заведомо неэффективной операции. В результате результативность моделирования в информировании хирурга изменила тактику ведения 42 пациентов.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование плагинов системы «Автоплан» для планирования абдоминальной хирургии позволяет: 1) провести сегментацию печени, очаговых образований и сосудов; 2) определить расположение очагового образования в том или ином сегменте, их комбинации; 3) провести виртуальную плоскость резекции, оценить структуры, проходящие через нее; 4) выбрать оптимальную тактику вмешательства или отказаться от него вследствие объективных анатомических причин.

Ключевые слова: компьютерная томография, предоперационное 3D-моделирование, сегментация, резекция печени, система «Автоплан».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

Соответствие принципам этики. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. Исследование одобрено локальным этическим комитетом Самарского государственного медицинского университета (протокол № 205 от 19.02.2020).

Для цитирования: Зельтер П.М., Колсанов А.В., Пышкина Ю.С. Сегментация очаговых образований печени и виртуальная резекция на основе данных компьютерной томографии. *Бюллетень сибирской медицины*. 2021; 20 (1): 39–44. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2021-1-39-44>.

✉ Пышкина Юлия Сергеевна, e-mail: yu.pyshkina@yandex.ru.

Segmentation of focal liver lesions and virtual resection based on computed tomography data

Zelter P.M., Kolsanov A.V., Pyshkina Yu.S.

Samara State Medical University (SamSMU)
89, Chapayevskaya Str., Samara, 443099, Russian Federation

ABSTRACT

The aim of the study was to test the work of plugins for segmentation and virtual resection of focal liver lesions based on CT data.

Materials and methods. Analysis of CT data of the abdominal organs with bolus contrast enhancement in 80 patients with focal liver lesions was carried out. Segmentation and 3D-modeling of the CT data was carried out by radiologists and the surgeon in the 'Autoplan' system.

Results. The liver nosological structure in patients was determined (the most common were hemangiomas in 21.25% of 80 patients, cysts in 20%, parasitic cysts in 20%, etc.), according to the computed tomography results. The segmentation of the liver, its focal lesions, arteries and veins was carried out using the 'Autoplan' system. The surgeon determined the volume of the parenchyma and focal liver formations using the standard function 'volume of segmentation', chose the optimal treatment tactics and performed a virtual liver resection. In some cases, the use of segmentation and preoperative planning made it possible to avoid an inefficient surgery. The effectiveness of modeling changed the treatment tactics of 42 patients.

Conclusion. The obtained results indicate that the use of the 'Autoplan' system plugins for planning an abdominal surgery allows doctors: 1) to carry out the segmentation of liver, focal lesions and blood vessels; 2) to determine the location of a focal formation in a particular segment, their combination; 3) to perform a virtual resection, evaluate the structures passing through it; 4) to choose the optimal tactics of intervention or abandon it due to objective anatomical reasons.

Key words: computed tomography, preoperative 3D-modeling, segmentation, liver resection, 'Autoplan' system.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious or potential conflict of interest related to the publication of this article.

Source of financing. The authors declare the absence of funding for the study.

Conformity with the principles of ethics. All patients signed an informed consent to participate in the study. The study was approved by the local Ethics Committee at Samara State Medical University (Protocol No. 205 of 19.02.2020).

For citation: Zelter P.M., Kolsanov A.V., Pyshkina Yu.S. Segmentation of focal liver lesions and virtual resection based on computed tomography data. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2021; 20 (1): 39–44. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2021-1-39-44>.

ВВЕДЕНИЕ

Планирование оперативного вмешательства – важный и неотъемлемый этап, в частности в абдоминальной хирургии. Данный процесс определяет особенности клинического случая, позволяет выявить возможные проблемы во время проведения операции. Планирование включает в себя стандартное физикальное обследование пациента, изучение данных лабораторных исследований, а также методов визуализации. Для всесторонней оценки компьютерной и магнитно-резонансной томографии используется

моделирование с построением полигональной модели. Эта методика позволяет дополнить стандартное исследование не только наглядными трехмерными изображениями с картированием патологии, но и получить важные числовые параметры. В основе моделирования лежит процесс сегментации [1, 2]. Сегментация – это разделение изображения на области, для которых выполняется определенный критерий однородности [3].

Задачи сегментации можно разделить на два класса: поиск и выделение областей на изображении, характеристики которых достоверно известны,

и автоматический поиск областей с некоторым общим характером. Сегментация, предоперационное планирование и установка для интраоперационной навигации возможны с помощью системы «Автоплан», совмещающей в себе рабочую станцию для врача-рентгенолога. Данная система разработана в Центре прорывных исследований СамГМУ «Информационные технологии в медицине».

Цель: протестировать работу плагинов по сегментации и виртуальной резекции очаговых образований печени на основе данных компьютерной томографии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проанализированы данные компьютерной томографии (КТ) органов брюшной полости с болюсным контрастированием 80 пациентов с очаговыми образованиями печени. Исследования проводились на томографе Toshiba Aquilion 32 (Япония). Затем изображения в формате DICOM загружались в аппаратно-программный комплекс «Автоплан» (регистрационное удостоверение РЗН 2019/8153 от 27.02.2019) [4]. Сегментация и 3D-моделирование проводились врачами-рентгенологами при непосредственном участии врача-хирурга. Хирург проводил виртуальную линию резекции, задавал интересующие опорные точки (взаимоотношение с ветвями воротной вены, достаточность кровотока сохраненной части и т.д.). На обработку одного исследования затрачивалось 15–30 мин в зависимости от сложности патологии и поставленных задач.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известны следующие типы автоматической сегментации: 1) пороговый метод; 2) наращивание областей; 3) выделение границ; 4) текстурные методы.

В системе «Автоплан» используются первые три типа автоматической сегментации в работе системы по сегментации. Пороговая сегментация – это наиболее простой метод сегментации. Он представляет собой выделение однородных по яркости областей по порогу, который определяется автоматически. Наращивание областей – метод, который основан на присоединении друг к другу ближайших по яркости областей. Идея метода заключается в анализе пикселя и наращивании области, к которой он принадлежит, на основании большинства его соседей. Выделение границ – метод, который применяется для обнаружения резких изменений яркости изображения, нахождения границ и контуров [5].

В системе «Автоплан» для решения наиболее частых задач разработаны плагины для автоматической сегментации, основанные на «средних моделях»: 1) автоматическая сегментация поверхности тела;

2) автоматическая сегментация органов (печень, почки, селезенка, легкие, трахея).

Для сосудов также реализован плагин автоматической сегментации при наличии изображений соответствующей фазы введения контрастного вещества: артериальной – для сегментации артерий, венозной – для сегментации вен. Этот подключаемый программный модуль используется для визуализации анатомии системы кровоснабжения органов, визуализации патологий аорты (аневризм, расслоения стенки, окклюзии), визуализации мест инвазии опухолей в сосудистые структуры в абдоминальной хирургии. Автоматическая сегментация сосудов проводится путем установления точки внутри просвета. При этом используются сложные алгоритмы Fast Marching и Geodesic Active Contours [6].

Используют два подхода для выделения структуры внутри созданной сегментации, например очагового образования внутри паренхимы печени. Первый – ручное оконтуривание на нескольких срезах с дальнейшим построением модели на основе интерполяции границы на необработанных срезах. Второй (более эффективный) – использование плагина инкрементальной сегментации.

Плагин «Инкрементальная сегментация» предназначен для сегментации с помощью постепенного наращивания региона из данной точки, исходя из плотности и контуров окружающих тканей. Данный вид сегментации является наиболее быстрым и удобным из всех полуавтоматических инструментов за счет «растекания» сегментации сразу по трем координатам и за счет огибания контрастных тканей. В результате компьютерной сегментации врач получает полигональную модель внутренних органов с отмеченными областями патологии.

Структура нозологий печени, выявленных по данным КТ, представлена в табл. 1.

Таблица 1

Структура нозологий печени, выявленных у пациентов по данным компьютерной томографии	
Нозология	Количество пациентов
Гемангиома	17
Киста	16
Паразитарная киста	16
Гепатоцеллюлярный рак	11
Абсцесс	10
Метастаз	8
Аденома	2

Проведена сегментация печени, очаговых образований, артерий и вен. Далее была использована функция «разделение печени на сегменты». Для этого были установлены стандартные точки на поверхности печени, после чего автоматически прово-

дильсь плоскости (рис. 1), разделяющие печень на восемь сегментов по Куино [7].

Распределение очаговых образований по сегментам печени показано в табл. 2.

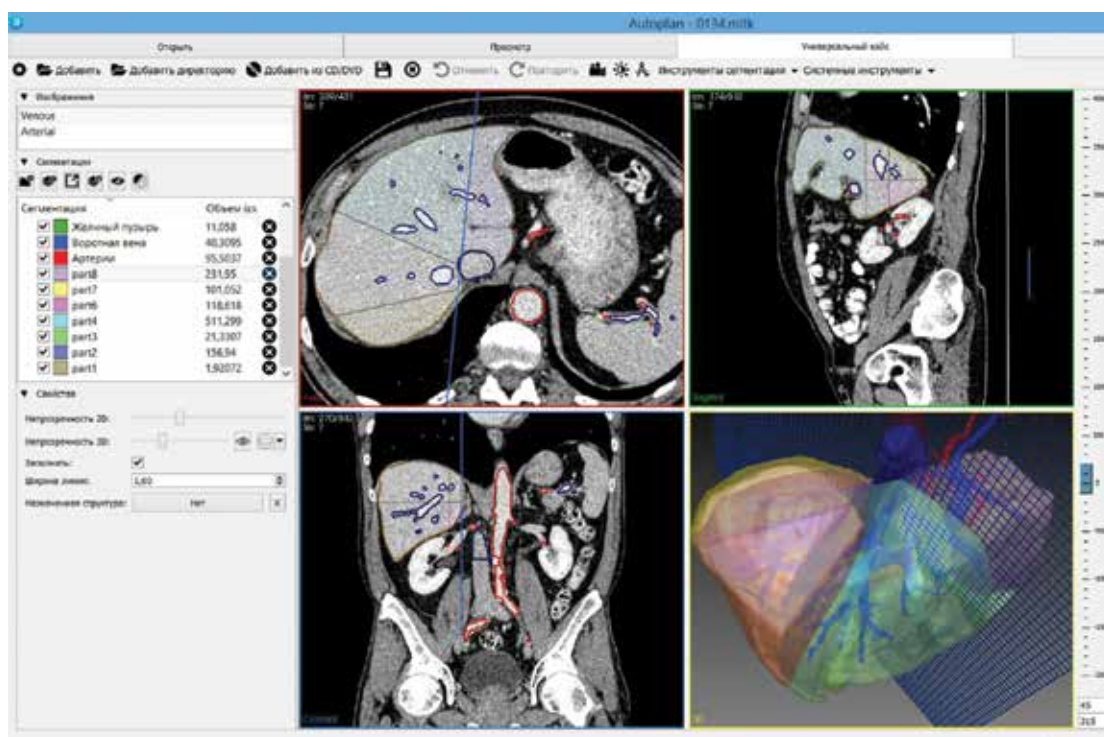


Рис. 1. Сегментация печени, артерий и вен. Разделение печени на сегменты с помощью системы «Автоплан»

Таблица 2

Распределение очаговых образований по сегментам печени									
Сегмент	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Несколько сегментов
Количество пациентов	5	7	8	7	9	7	11	8	18

Далее в случае необходимости выполнения оперативного вмешательства хирург определял объем очаговых образований и паренхимы печени с помощью стандартной функции «объем сегментации». При расположении очага в одном сегменте выбиралась тактика лечения в виде сегментэктомии, при расположении в нескольких – гемигепатэктомия, или атипичная резекция. Проводилась виртуальная резекция – процесс построения линии произвольной формы, отсекающей от основной массы полученной сегментации (в данном случае модели органа) объема, который хирург планирует удалить. Преимуществом выполнения виртуальной резекции является предоперационное информирование хирурга о возможных осложнениях, так как в плоскости резекции видны ветви воротной вены и печеночных вен [8]. У хирурга появляется возможность выбрать оптимальный способ резекции, в том числе основываясь на объеме остаточной паренхимы. Объем

любой сегментации, удаляемой и оставшейся частей печени отображается автоматически [9]. Планирование правосторонней гемигепатэктомии у пациента с множественными эхинококковыми кистами показано на рис. 2.

В ряде случаев применение сегментации и предоперационного планирования позволило отказаться от заведомо неэффективной операции. Приводим клинический пример пациента И., 32 года. Пациент обратился в стационар с жалобами на боли и тяжесть в правом подреберье, общую слабость, снижение аппетита, нарушение стула. Проведена компьютерная томография органов брюшной полости с болюсным контрастированием по стандартному протоколу. Результаты представлены на рис. 3.

В правой доле печени было обнаружено образование большого размера с неомогенной структурой, а в центральных отделах – с выраженным обызвествлением и гиповаскулярной периферией.

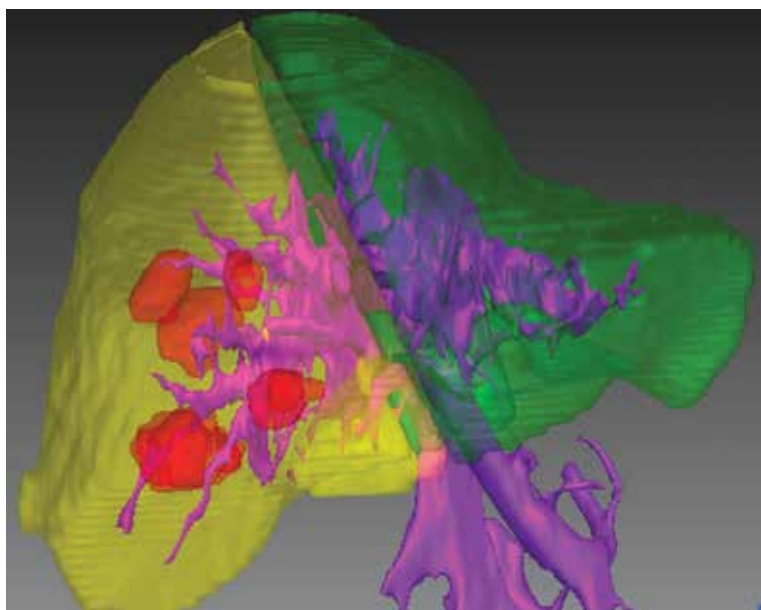


Рис. 2. 3D-модель печени пациента К.: зеленым цветом обозначена сохраняемая часть, желтым – резецируемая, красным – схематично картированы эхинококковые кисты, фиолетовым – ветви воротной и печеночной вен

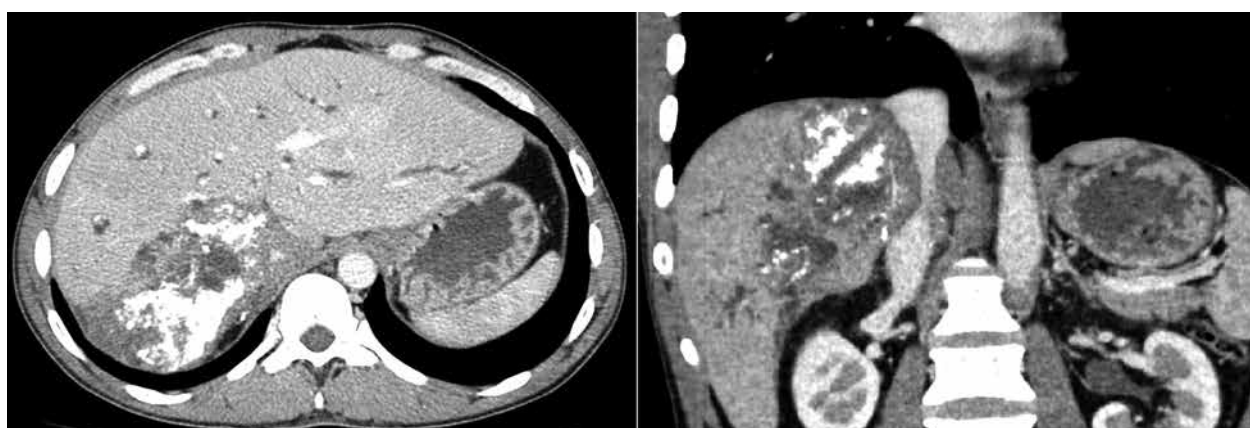


Рис. 3. Компьютерная томография органов брюшной полости пациента И., аксиальная и корональная реконструкции, венозная фаза: в правой доле печени – массивная гетерогенная зона с обызвествлениями в структуре

Отмечались сдавление нижней полой вены, признаки инвазии в ветви воротной и правой печеночной вен. Заключение – альвеококкоз печени. Была выполнена реконструкция в системе «Автоплан» для оценки резектабельности альвеококка. Результат представлен на рис. 4.

Моделирование позволило установить обширную артериальную и венозную инвазию альвеококка, не позволяющую выполнить его резекцию, которая могла привести к массивной интраоперационной кровопотере. Пациент был проконсультирован врачом-трансплантологом, и его данные внесены в лист ожидания трансплантации печени [10]. Эффективность моделирования в информировании хирурга и изменении тактики у 42 пациентов показана в табл. 3.

Таблица 3

Эффективность моделирования в информировании хирурга и изменении тактики	
Показатель эффективности	Количество пациентов
Выбор тактики в виде сегментэктомии	9
Выбор тактики в виде атипичной резекции	6
Выбор тактики в виде гемигепатэктомии	8
Изменение первоначальной тактики после анализа плоскостных изображений	8
Отказ от резекции вследствие низкого объема сохраняемой паренхимы	5
Отказ от вмешательства из-за сосудистой анатомии	3
Отказ от вмешательства из-за инвазии сосудов	3

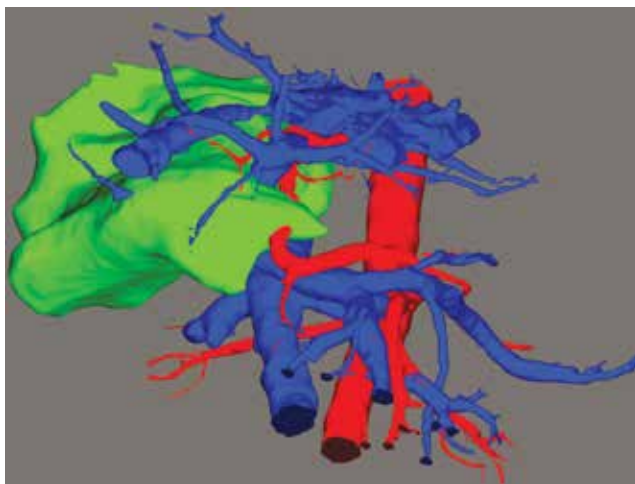


Рис. 4. 3D-модель альвеококкоза печени: зеленым цветом выделена зона альвеококкоза, наглядно показана инвазия воротной вены, нижней полой вены и общей печеночной артерии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование плагинов системы «Автоплан» для планирования абдоминальной хирургии позволяет: 1) провести сегментацию печени, очаговых образований и сосудов; 2) определить расположение очагового образования в том или ином сегменте, их комбинации; 3) провести виртуальную плоскость резекции, оценить структуры, проходящие через нее; 4) выбрать оптимальную тактику вмешательства или отказаться от него вследствие объективных анатомических причин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишкин В.Б., Голубев В.Г. Предоперационное планирование в травматологии и ортопедии с использованием технологии трехмерной компьютерной реконструкции и мо-

делирования. *Современные проблемы науки и образования*. 2015; (5): 47.

2. Кармазановский Г.Г., Нерестюк Я.И., Кригер А.Г., Хайриева А.В. Диагностическая значимость трехмерных реконструкций КТ-изображений у пациентов с протоковой аденокарциномой поджелудочной железы. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2017; 7 (1): 69–76. DOI: 10.21569/2222-7415-2017-7-1-69-76.

3. Сеньюкова О.В., Галанин В.Е. Выделение областей интереса на основе классификации изолиний. *Программные продукты и системы*. 2012; (1): 52–55.

4. Колсанов А.В., Манукян А.А., Зельтер П.М., Чаплыгин С.С., Капишников А.В. Виртуальное моделирование операции на печени на основе данных компьютерной томографии. *Анналы хирургической гепатологии*. 2016; 21 (4): 16–22.

5. Доронищева А.В., Савин С.З. Метод сегментации медицинских изображений. *Фундаментальные исследования*. 2015; (5-2): 294–298.

6. Goldenberg R., Kimmel R., Rivlin E., Rudzsky M. Fast geodesic active contours. *IEEE Trans. Image Process.* 2001; 10 (10): 1467–1475. DOI: 10.1109/83.951533.

7. Dirisamer A., Friedrich K., Schima W. Anatomy and variants of hepatic segments, vessels, and bile ducts. *Radiology*. 2005; 45 (1): 8–14. DOI: 10.1007/s00117-004-1150-5.

8. Hansen C., Zidowitz S., Preim B., Stavrou G., Oldhafer K.J., Hahn H.K. Impact of model-based risk analysis for liver surgery planning. *Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg.* 2014; 9 (3): 473–480. DOI: 10.1007/s11548-013-0937-0.

9. Högemann D., Stamm G., Shin H., Oldhafer K.J., Schlitt H.J., Selle D., Peitgen H.O. Individual planning of liver surgery interventions with a virtual model of the liver and its associated structures. *Radiology*. 2000; 40 (3): 267–273. DOI: 10.1007/s001170050668.

10. He Y.B., Bai L., Aji T., Jiang Y., Zhao J.M., Zhang J.H., Shao Y.M., Liu W.Y., Wen H. Application of 3D reconstruction for surgical treatment of hepatic alveolar echinococcosis. *World J. Gastroenterol.* 2015; 21 (35): 10200–10207. DOI: 10.3748/wjg.v21.i35.10200.

Сведения об авторах

Зельтер Павел Михайлович, канд. мед. наук, ассистент, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом медицинской информатики, СамГМУ, г. Самара. ORCID 0000-0003-1346-5942.

Колсанов Александр Владимирович, д-р мед. наук, профессор, профессор РАН, ректор СамГМУ, г. Самара. ORCID 0000-0002-4144-7090.

Пышкина Юлия Сергеевна, канд. мед. наук, доцент, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом медицинской информатики, СамГМУ, г. Самара. ORCID 0000-0002-7241-6828.

(✉) Пышкина Юлия Сергеевна, e-mail: yu.pyshkina@yandex.ru.

Поступила в редакцию 16.03.2020

Подписана в печать 29.09.2020