

СЕГМЕНТАЦИЯ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ АРТЕРИАЛЬНОГО И ВЕНОЗНОГО КРОВΟΣНАБЖЕНИЯ ПЕЧЕНИ

П.М. ЗЕЛЬТЕР, Ю.С. ПЫШКИНА

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России,
ул. Чапаевская, д. 89, г. Самара, 442001, Россия, e-mail: pzelter@mail.ru*

Аннотация. Изменчивость сосудистой анатомии печени, двенадцатиперстной кишки и поджелудочной железы определяет необходимость учета ее при планировании хирургических вмешательств. Установление типа артериального кровоснабжения печени является важной стадией гепатэктомии и панкреатодуоденальной резекции. Одним из лучших методов для отражения особенностей анатомического строения сосудов является компьютерная томография. **Цель исследования.** В рамках системы Автоплан разработать алгоритм сегментации сосудов, используя его для реконструкции артерий гепатодуоденального пула и ветвей воротной вены, оценить их вариабельность. **Материалы и методы исследования.** Применяя разработанный плагин, мы проанализировали данные 100 компьютерных томограмм брюшной полости. Все пациенты прошли исследования брюшной полости с усилением контрастного болюса на сканере *Toshiba Aquilion 32*. **Результаты и их обсуждение.** Сосудистый плагин для системы *Autoplan* был разработан в Институте инновационной работы СамГМУ. Мы проанализировали вариант анатомии брюшных артерий по классификации *Michels*. Кроме 1-го, наиболее частым вариантом кровоснабжения был тип 5 – наличие дополнительной левой печеночной артерии из левой желудочной артерии. Затем мы анализировали анатомию воротной вены. Наиболее частым неклассическим вариантом был тип В-трифуркация. **Заключение.** При анализе необходимо обратить внимание на вариантную анатомию сосудов брюшной полости, указывать выявленные aberrации в протоколе.

Ключевые слова: компьютерная томография, система *Автоплан*, брюшная полость, артерии, воротная вена.

SEGMENTATION OF COMPUTED TOMOGRAPHY DATA FOR ASSESSMENT OF ARTERIAL AND VENOUS BLOOD SUPPLY TO LIVER

P.M. ZELTER, YU.S. PYSHKINA

Samara state medical university, Chapaevskaya Str., 89, Samara, 442001, Russia, e-mail: pzelter@mail.ru

Abstract. The variability of the vascular anatomy of the liver, duodenum and pancreas determines the need to know it when planning surgical interventions. Establishing the type of arterial blood supply to the liver is an important stage in hepatectomy and pancreatoduodenal resection. One of the best methods for reflecting the features of anatomical structure of blood vessels is computed tomography. **The research purpose** is to develop an algorithm for vascular segmentation within the framework of *Avtoplan* system, it using to make reconstruction of the arteries of the hepatoduodenal pool and branches of the portal vein, to assess their variability. **Materials and methods.** Using developed plugin we analyzed data of 100 abdominal CT. All patients underwent abdominal CT scan with bolus contrast enhancement at *Toshiba Aquilion 32* scanner. **Results and its discussion.** A vascular plugin for the *Autoplan* system was developed in Institute of innovative work of SamSMU. We analyzed variant anatomy of abdominal arteries at the se of *Michels* classification. Except the 1st, the most frequent variant of blood supply was type 5 - the presence of additional LHA from left gastric. Then we analyzed portal vein anatomy. The most frequent non-classical variant was type B-trifurcation. **Conclusion.** It is necessary during the analysis of CT studies to pay attention to the variant anatomy of the vessels of abdomen and indicate the revealed aberrations in the CT report.

Keywords: computed tomography, *Autoplan* system, abdomen, arteries, portal vein.

Актуальность. Вариабельность анатомии сосудов печени, поджелудочной железы и двенадцатиперстной кишки приводит к важности ее знания при планировании оперативных вмешательств. Определение типа артериального кровоснабжения печени – один из ведущих моментов проведения гепатэктомии и панкреатодуоденальной резекции. Анализ индивидуальных вариантов кровоснабжения позволяет выбрать необходимый вид сосудистой реконструкции, избежать травмирования aberrантных артерий. Данные по распространенности аномалий артериального и венозного кровоснабжения печени значительно разнятся в зависимости от исследования. При различных оперативных вмешательствах именно анато-

мические особенности определяют тактику хирурга. Также анализ строения воротной вены необходим при селективном введении лекарственных препаратов в ее ветви [2]. N. Michels изучил материалы 200 пациентов и выявил десять основных типов строения артерий печени [1]:

1 тип. Типичная анатомия: *a. hepatica communis* отходит от *truncus coeliacus*, разделяется на *a. gastroduodenalis* и *a. hepatica propria*. *A. hepatica propria* делится на *a. hepatica dextra* и *a. hepatica sinister*.

2 тип. Замещающая *a. hepatica sinister* отходит от *a. gastrica sinister* – ветви *truncus coeliacus*; *a. hepatica communis* разделяется на *a. gastroduodenalis* и *a. hepatica dextra*.

3 тип. Замещающая *a. hepatica dextra* отходит от *a. mesenterica superior*; *a. hepatica communis* разделяется на *a. gastroduodenalis* и *a. hepatica sinister*.

4 тип. Замещающая *a. hepatica sinister* отходит от *a. gastrica sinister*; замещающая *a. hepatica dextra* от *a. mesenterica superior*; *a. gastroduodenalis* от *truncus coeliacus*.

5 тип. Добавочная *a. hepatica sinister* отходит от *a. gastrica sinister*; *a. hepatica sinister* и *a. hepatica dextra* от *a. hepatica propria*.

6 тип. Добавочная *a. hepatica dextra* отходит от *a. mesenterica superior*; *a. hepatica sinister* и *a. hepatica dextra* от *a. hepatica propria*.

7 тип. Добавочная *a. hepatica sinister* отходит от *a. gastrica sinister*; добавочная *a. hepatica dextra* от *a. mesenterica superior*; *a. hepatica sinister* и *a. hepatica dextra* от *a. hepatica propria*.

8 тип имеет два варианта:

Вариант 1: замещающая *a. hepatica sinister* отходит от *a. gastrica sinister*; добавочная *a. hepatica dextra* от *a. mesenterica superior*.

Вариант 2: добавочная *a. hepatica sinister* отходит от *a. gastrica sinister*; замещающая *a. hepatica dextra* от *a. mesenterica superior*.

9 тип. *A. hepatica communis* отходит от *a. mesenterica superior*; от *truncus coeliacus* отходят *a. gastrica sinister* и *a. splenica*.

10 тип. *A. hepatica communis* отходит от *a. gastrica sinister*.

1 тип строения более подробно показан на рис. 1.

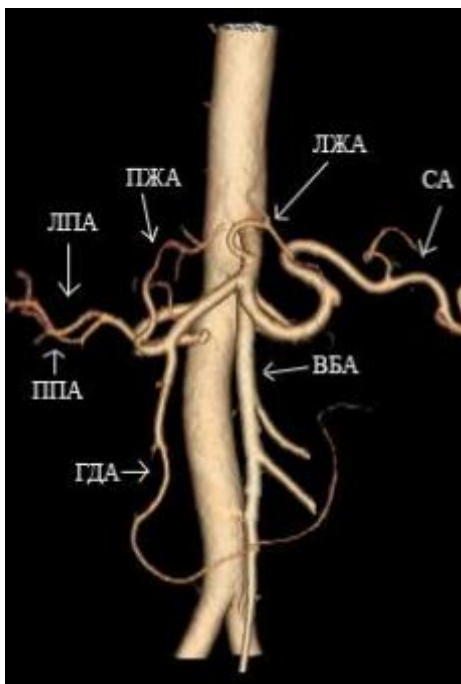


Рис. 1. 1 тип кровоснабжения печени по Michels [1]. ВБА – верхняя брыжеечная артерия, СА – селезеночная артерия, ЛЖА – левая желудочная артерия, ПЖА – правая желудочная артерия, ЛПА – левая печеночная артерия, ППА – правая печеночная артерия, ГДА – гастроудуоденальная артерия [1]

Одним из основных методов для отражения вариантов анатомического строения сосудов является компьютерная томография (КТ). В настоящее время КТ с болюсным контрастированием – основная методика для определения хирургической патологии органов брюшной полости. Томограммы позволяют подробно изучить анатомические взаимоотношения органов брюшной полости на уровне среза. При этом для трехмерного моделирования на стандартной рабочей станции доступны только артериальные стволы: плотность контрастированной воротной вены не позволяет отобразить ее в режиме *Volume rendering* [3].

Цель исследования – в рамках системы «Автоплан» разработать алгоритм по сегментации сосудов, с помощью него сделать реконструкции артерий гепатодуоденального бассейна и ветвей воротной вены, оценить их вариабельность.

Материалы и методы исследования. Используя разработанный плагин, мы проанализировали данные 100 КТ органов брюшной полости. Исследование было ретроспективным без контрольной группы.

Критерий включения: все пациенты прошли КТ органов брюшной полости с болюсным контрастированием на сканере *Toshiba Aquilion 32* (*Toshiba*, Япония). Артериальную фазу проводили в течение 10 секунд после достижения порогового уровня плотности (120-150 HU) в аорте. Венозная фаза была сделана на 30 секунд позже, чем артериальная фаза.

Критерием исключения был патологический процесс в гепатодуоденальной зоне, кроме больных с кистами и гемангиомами печени. Мы использовали дескриптивные статистические методы в программе *Excel* (*Microsoft*). Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО Самарского государственного медицинского университета Минздрава России (протокол № 205 от 19.02.2020). Все лица, участвующие в исследовании, подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Результаты и их обсуждение. В Институте инновационного развития СамГМУ был разработан сосудистый плагин для системы «Автоплан». «Автоплан» – аппаратно-программный комплекс, с помощью которого возможно провести предоперационное планирование и интраоперационную навигацию в разных областях хирургии. Сегментация выполнялась полуавтоматически в два основных этапа. На первом этапе, интерактивной инициализации, выполняется грубая сегментация сосудистой структуры с использованием метода распространения волнового фронта (*fast marching*) [5]. На втором этапе точной сегментации выполнялась окончательная сегментация с использованием метода геодезических активных контуров (*geodesic active contours*) [6]. Принципиальная схема алгоритма приведена на рис. 2.

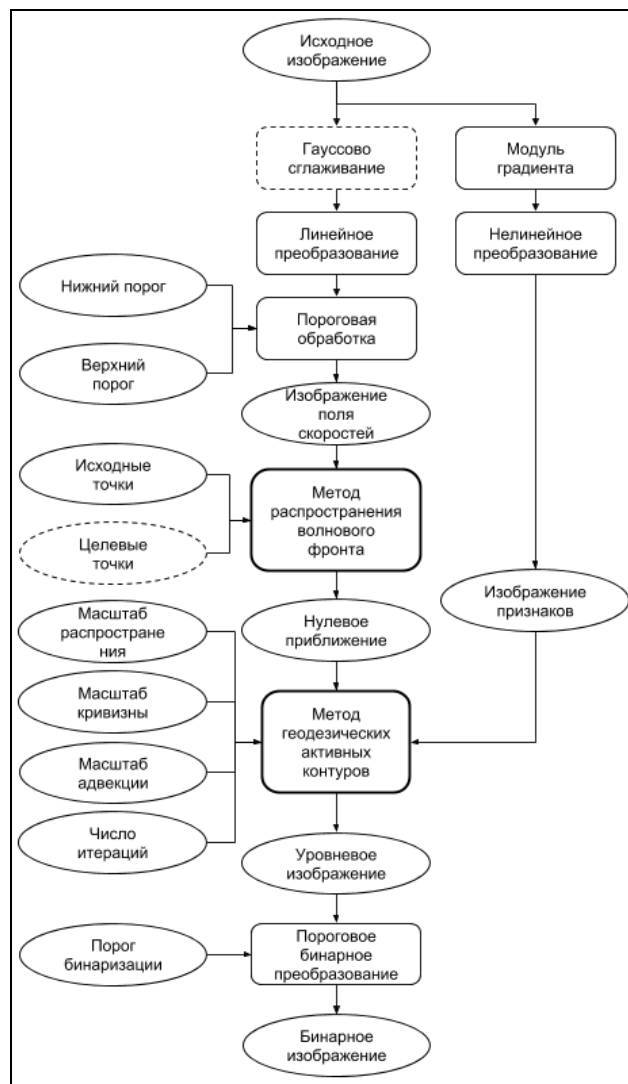


Рис. 2. Схема алгоритма сегментации сосудов

На первом этапе, внутри сосуда, который требуется сегментировать, указываются исходные точки и, опционально, целевые точки. Исходные точки задают начало распространения волнового фронта. Распространение волны останавливается при достижении одной из заданных целевых точек, если они были заданы или при достижении границ изображения [9].

Чтобы улучшить качество сегментации в условиях низкой контрастности, исходное изображение сглаживается с помощью гауссовой свертки, чтобы предотвратить утечку в область, богатую кровеносными сосудами, представленную как менее одного диаметра пикселя на низкоконтрастных КТ.

Выполнено ретроспективное исследование: в случайном порядке проанализированы данные 100 пациентов, которым была проведена КТ брюшной полости с болюсным контрастированием на компьютерном томографе *Toshiba Aquilion 32*. Для изучения сосудистой анатомии использовались мультифазное сканирование, построение изображений с постобработкой, в режиме *MIP*, построение полигональных моделей в системе «Автоплан». Выявленный тип строения классифицировался по *Michels* или описывался отдельно. Было идентифицировано 7 типов из классификации *Michels* (рис. 3). Обнаружено два типа, не описанных в классификации – отхождение общей печеночной артерии непосредственно от аорты и *верхней брыжеечной артерии* (ВБА).

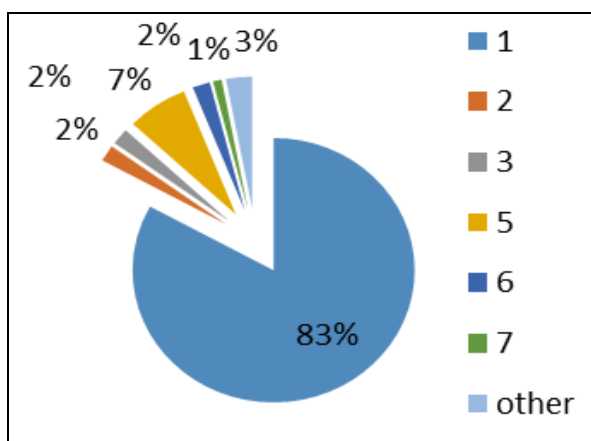


Рис. 3. Круговая диаграмма типа артериального кровоснабжения согласно классификации *Michels*

Наиболее частым типом кровоснабжения помимо 1-го оказался 5 тип – наличие добавочной *левой печеночной артерии* (ЛПА) от *левой желудочной артерии* (ЛЖА). Добавочная ЛПА формирует дополнительный приток крови в левой доле печени и, обычно, ее рассечение не нарушает оптимального кровообращения. При эмболизации печеночных артерий в области ворот, эмболизация добавочной левой печеночной артерии проводится отдельно. При резекции желудка перевязка нераспознанной aberrантной ЛПА от ЛЖА способствует развитию некроза левой доли печени с образованием абсцессов печени и желчным перитонитом.

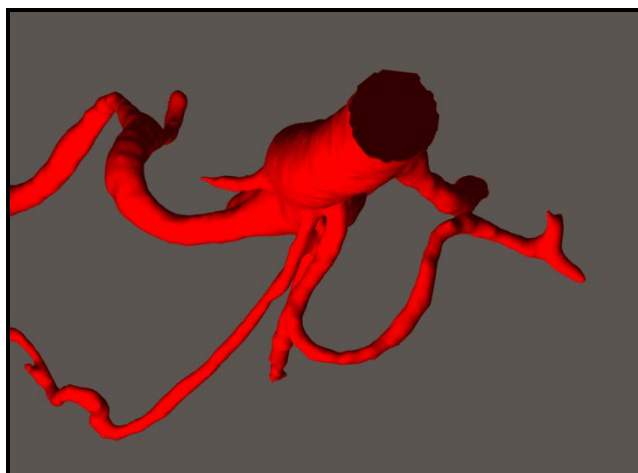


Рис. 4. Трехмерная модель артериального русла. Показано отхождение общей печеночной артерии от аорты. Чревной ствол отсутствует. Моделирование выполнено в системе аппаратно-программного комплекса «Автоплан»

У двух пациентов от верхней брыжеечной артерии отходит добавочная правая печеночная артерия (6 тип). Выявление aberrантной правой печеночной артерии от верхней брыжеечной артерии, чревного ствола или аорты, а также общей печеночной артерии от верхней брыжеечной артерии является потенциальной опасностью при оперативных вмешательствах на внепеченочных желчных протоках, желчном пузыре и поджелудочной железе: данные сосуды, находясь позади головки поджелудочной железы, в печеночно-двенадцатиперстной связке располагаются справа, слева или сзади от общего желчного протока и могут быть случайно повреждены при операции [7].

На рис. 4 представлен случай пациента с типом отхождения общей печеночной артерии непосредственно от аорты. Данный вид не входит в классификацию *Michels* [1].

Следующим этапом стала обработка венозной фазы сканирования для оценки вариабельности воротной вены.

В данной работе мы применили классификацию деления воротной вены (ВВ) *T. Nakamura* (рис. 5) [8].

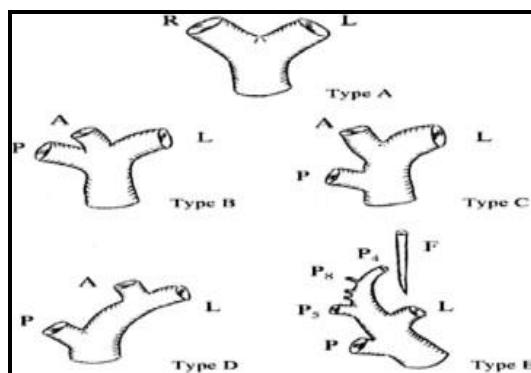


Рис. 5. Варианты анатомии воротной вены (*T. Nakamura*, 2002) [8]. *L* – левая ВВ, *R* – правая ВВ, *A* – передняя правая ветвь, *P* – задняя правая ветвь. *Туре А* – классический вид деления ВВ на правый и левый стволы. *Туре В* – истинная трифуркация, без основного ствола правой воротной вены. *Туре С* – внепеченочное отхождение передней ветви правой воротной вены. *Туре D* – внутрипеченочное отхождение передней ветви правой воротной вены. *Туре E* – аплазия целостной ветви передней правой воротной вены. Отхождение отдельных сегментарных ветвей от ВВ

В ходе работы нами были получены следующие результаты. По классификации анатомии воротной вены *T. Nakamura* (рис. 6).

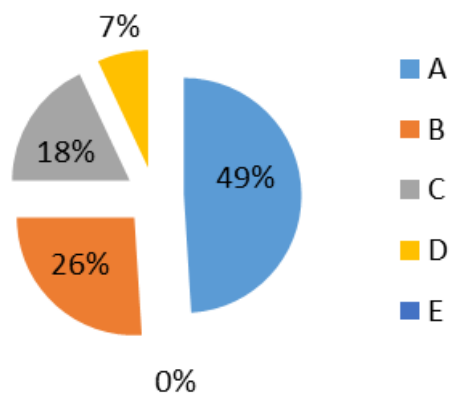


Рис. 6. Круговая диаграмма типа деления воротной вены

На рис. 7 показана модель при нетипичном строении воротной вены – типе *B*, т.е. ее трифуркации.

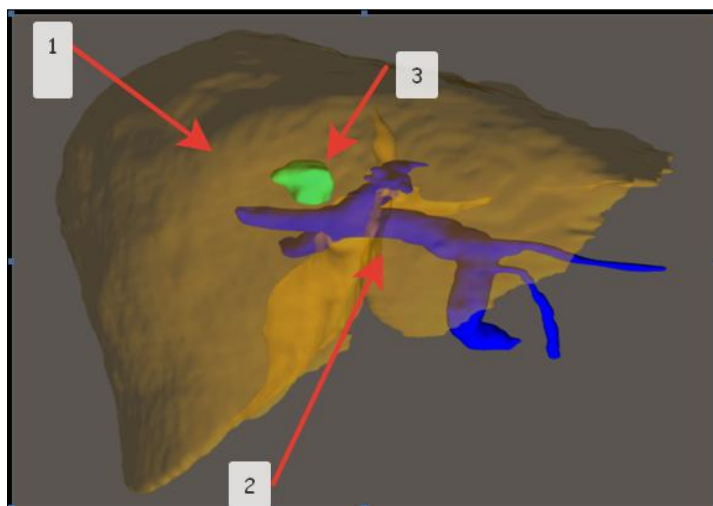


Рис. 7. 3D-модель. Стрелками обозначены: 1 – модель печени, 2 – воротная вена, 3 – гемангиома печени

Заключение. Таким образом, поскольку лечение заболеваний гепатопанкреатодуоденальной области часто связано с последующими оперативными вмешательствами, в том числе с резекциями, необходимо в ходе анализа компьютерных томограмм обращать внимание на вариантную анатомию сосудов брюшного ствола и верхней брыжеечной артерии и указывать выявленные aberrации в протоколе. Это даст хирургу информацию о подобных особенностях и поможет избежать возможных осложнений во время операции.

Полученные данные по анатомии воротной вены важны при планировании типичных и атипичных резекций печени. Это необходимо в случае редкого нетипичного варианта деления воротной вены: не зная особенностей притока венозной крови, хирург вынужден менять запланированный ход операции и увеличивать время оперативного вмешательства. Последнее отрицательно сказывается на результате. По тем же причинам важно знать строение воротной вены при планировании операций на поджелудочной железе и кишечнике [4].

Литература

1. Егоров В.И., Яшина Н.И., Федоров А.В., Вишневский В.А., Кармазановский Г.Г., Шевченко Т.В. Артериальные целиако-мезентериальные aberrации: сравнение операционных данных и КТ-ангиографии // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2009. № 11. С. 4–9.
2. Малышев А.Ф., Пуздаев В.И. Применение баллонно-катетерных устройств для селективного введения лекарственных препаратов в ветви воротной вены // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 1991. № 5. С. 136–143.
3. Прокоп М., Галански М. Спиральная и многослойная компьютерная томография: учебное пособие: в 2 т. Т. 1. Москва: МЕДпресс-информ, 2006. 413 с.
4. Хоронько Ю.В., Дмитриев А.В., Ерошенко О.Л. Воротная вена как объект операции трансъюгулярного внутрипеченочного портосистемного шунтирования (TIPS/ТИПС) при портальной гипертензии, вызванной циррозом // Фундаментальные исследования. 2013. № 11-1. С. 95–99.
5. Antiga L. Patient-specific modeling of geometry and blood flow in large arteries. Politecnico di Milano. 2002. 178 p.
6. Nikonorov A., Kolsanov A., Petrov M., Yuzifovich Y., Prilepin E., Chaplygin S., Zelter P., Bychenkov K. Vessel segmentation for noisy CT data with quality measure based on single-point contrast-to-noise ratio // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 585. P. 490–507. DOI: 10.1007/978-3-319-30222-5_23.
7. Ramanadham S., Toomay S.M., Yopp A.C., Balch G.C., Sharma R., Schwarz R.E., Mansour J.C. Rare hepatic arterial anatomic variants in patients requiring pancreatoduodenectomy and review of the literature // Case Reports in Surgery. 2012. Vol. 2012. P. 953195. DOI: 10.1155/2012/953195.
8. Megally H.I., Badran Y.M., Abdelal Sh.M., Koriem E.M. Role of MDCT angiography in assessment of vascular variant in potential living liver donor transplantation // The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine. 2013. Vol. 44. № 4. P. 713–718. DOI: 10.1016/j.ejrnm.2013.07.009.
9. Shang Q. Separation and segmentation of the hepatic vasculature in CT images: diss... d.ph. nashville, Tennessee, 2010.

References

1. Egorov VI, Iashina NI, Fedorov AV, Vishnevskii VA, Karmazanovskii GG, Shevchenko TV. Arterial'nye celiako-mezenterial'nye aberracii: sravnenie operacionnyh dannyh i KT-angiografii [Arterial celiac-mesenterial aberrations: comparative analysis of intraoperative data and CT-angiography]. Pirogov Russian Journal of Surgery. 2009;11:4-9. Russian.
2. Malyshev AF, Puzdaev VI. Primenenie ballonno-kateternyh ustrojstv dlya selektivnogo vvedeniya lekarstvennyh preparatov v vetvi vorotnoj veny [The use of balloon-catheter devices for the selective administration of drugs in the branch of the portal vein]. Pirogov Russian Journal of Surgery. 1991;5:136-43. Russian.
3. Prokop M, Galanski M. Spiral'naya i mnogoslojnaya komp'yuternaya tomografiya: uchebnoe posobie: v 2 t. T. 1. [Spiral and multilayer computed tomography: textbook: in 2 volumes. Vol. 1.] Moscow: MEDpress-inform; 2006. Russian.
4. Horon'ko YuV, Dmitriev AV, Eroshenko OL. Vorotnaya vena kak ob"ekt operacii trans"yugulyarnogo vnutripechenochnogo portosistemnogo shuntirovaniya (TIPS/TIPS) pri portal'noj gipertenzii, vyzvannoj cirrozom [Portal vein as object to perform the transjugular intrahepatic porto-systemic shunt (TIPS) in cirrhotic portal hypertension]. Fundamental research. 2013;11-1:95-9. Russian.
5. Antiga L. Patient-specific modeling of geometry and blood flow in large arteries. Politecnico di Milano; 2002.
6. Nikonorov A, Kolsanov A, Petrov M, Yuzifovich Y, Prilepin E, Chaplygin S, Zelter P, Bychenkov K. Vessel segmentation for noisy CT data with quality measure based on single-point contrast-to-noise ratio. Communications in Computer and Information Science. 2016;585:490-507. DOI: 10.1007/978-3-319-30222-5_23.
7. Ramanadham S, Toomay SM, Yopp AC, Balch GC, Sharma R, Schwarz RE, Mansour JC. Rare hepatic arterial anatomic variants in patients requiring pancreatoduodenectomy and review of the literature. Case Reports in Surgery. 2012;2012:953195. DOI: 10.1155/2012/953195.
8. Megally HI, Badran YM, Abdelal ShM, Koriem EM. Role of MDCT angiography in assessment of vascular variant in potential living liver donor transplantation. The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine. 2013;44(4):713-8. DOI: 10.1016/j.ejrnm.2013.07.009.
9. Shang Q. Separation and segmentation of the hepatic vasculature in CT images [dissertation]. Nashville, Tennessee; 2010.

Библиографическая ссылка:

Зельтер П.М., Пышкина Ю.С. Сегментация данных компьютерной томографии для оценки артериального и венозного кровоснабжения печени // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2021. №6. Публикация 1-2. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-6/1-2.pdf> (дата обращения: 17.11.2021). DOI: 10.24412/2075-4094-2021-6-1-2*

Bibliographic reference:

Zelter PM, Pyshkina YuS. Segmentacija dannyh komp'yuternoj tomografii dlja ocenki arterial'nogo i venoznogo krovosnabzhenija pecheni [Segmentation of computed tomography data for assessment of arterial and venous blood supply to liver]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2021 [cited 2021 Nov 17];6 [about 7 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-6/1-2.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2021-6-1-2

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-6/e2021-6.pdf>