



Широкодетекторная компьютерная томография для оценки эффективности проведенной микрохирургической аутотрансплантации комплексов тканей уrogenитальной области

Щекотуров И.О., Бахтиозин Р.Ф., Истранов А.Л., Серова Н.С., Мхитарян О.А., Ибрегимова М.Р.

ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России, ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, 119991, Российская Федерация

Щекотуров Игорь Олегович, врач-рентгенолог;
orcid.org/0000-0002-2167-8908

Бахтиозин Рустам Фаридович, д. м. н., профессор;
orcid.org/0000-0003-1244-1359

Истранов Андрей Леонидович, д. м. н., профессор;
orcid.org/0000-0003-0222-2910

Серова Наталья Сергеевна, д. м. н., профессор, член-корр. РАН;
orcid.org/0000-0001-6697-7824

Мхитарян Офелия Артуровна, аспирант;
orcid.org/0000-0003-1440-2089

Ибрегимова Мальвина Рафидовна, аспирант;
orcid.org/0000-0003-3411-6311

Резюме

Цель: продемонстрировать возможности и преимущества широкодетекторной компьютерной томографии для выполнения динамических исследований, в том числе для оценки эффективности проведенной микрохирургической аутотрансплантации комплексов тканей уrogenитальной области с использованием перфузионной компьютерной томографии и динамической микционной компьютерной цистоуретрографии.

Материал и методы. В исследование были включены 36 пациентов с различной патологией уrogenитальной области, которые были обследованы с использованием широкодетекторного компьютерного томографа и выполнением методик динамической перфузионной компьютерной томографии и динамической микционной компьютерной цистоуретрографии.

Результаты. В результате проведенного перфузионного обследования ни у одного из пациентов не было выявлено зон гипоперфузии аутотрансплантатов, что свидетельствует о хорошей их приживляемости. При проведении динамической микционной компьютерной цистоуретрографии была оценена ширина просвета уретры во всех отделах, выявлены зоны его наибольшего сужения и их протяженность. Для всех пациентов составлены графики компьютерной урофлуометрии.

Заключение. Преимущества широкодетекторных систем с их уникальными свойствами позволили применить их в новом направлении – планировании и оценке эффективности проведенной микрохирургической реконструкции уrogenитальной области с получением дополнительной, ранее недоступной диагностической информации.

Ключевые слова: компьютерная томография; перфузия; урофлуометрия; фаллопластика; уретропластика; микрохирургия; аутотрансплантация.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Щекотуров И.О., Бахтиозин Р.Ф., Истранов А.Л., Серова Н.С., Мхитарян О.А., Ибрегимова М.Р. Широкодетекторная компьютерная томография для оценки эффективности проведенной микрохирургической аутотрансплантации комплексов тканей уrogenитальной области. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2020; 101(4): 198–205. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2020-101-4-198-205>

Для корреспонденции: Щекотуров Игорь Олегович, E-mail: samaramail@bk.ru

Статья поступила 31.01.2020

После доработки 05.02.2020

Принята в печать 10.02.2020

Wide-Detector Computed Tomography for Evaluating the Effectiveness of Microsurgical Autotransplantation of Tissue Complexes in the Urogenital Region

Igor O. Shchekoturov, Rustam F. Bakhtiozin, Andrey L. Istranov, Natalya S. Serova, Ofeliya A. Mkhitarian, Malvina R. Ibregimova

Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, ul. Trubetskaya, 8, stroenie 2, Moscow, 119991, Russian Federation

Igor O. Shchekoturov, Radiologist;
orcid.org/0000-0002-2167-8908

Rustam F. Bakhtiozin, Dr. Med. Sc., Professor;
orcid.org/0000-0003-1244-1359

Andrey L. Istranov, Dr. Med. Sc., Professor;
orcid.org/0000-0003-0222-2910

Natalya S. Serova, Dr. Med. Sc., Professor, Corresponding Member of RAS;
orcid.org/0000-0001-6697-7824

Ofeliya A. Mkhitarian, Postgraduate;
orcid.org/0000-0003-1440-2089

Malvina R. Ibregimova, Postgraduate;
orcid.org/0000-0003-3411-6311

Abstract

Objective: to demonstrate the possibilities and advantages of wide-detector computed tomography for performing dynamic studies and evaluating the effectiveness of microsurgical autotransplantation of tissue complexes in the urogenital region, by using a perfusion computed tomography and dynamic voiding computed cystourethrography.

Subjects and methods. This investigation enrolled 36 patients with different urogenital diseases, who were examined using a wide-detector computed tomographic scanner and the procedures of dynamic perfusion computed tomography and dynamic voiding computed cystourethrography.

Results. Perfusion examination revealed that none of the patients had hypoperfused areas of autografts, which suggests their good engraftment. Dynamic voiding computed cystourethrography estimated the width of the urethral lumen in all segments and identified the regions of its greatest narrowing and their extension. Computed uroflowmetry was scheduled for all patients.

Conclusion. The advantages of wide-detector systems with their unique properties made it possible to apply them in the new area – in planning and evaluating the effectiveness of the microsurgical reconstruction of the urogenital region, by obtaining additional, previously unavailable diagnostic information.

Keywords: computed tomography; perfusion; uroflowmetry; phalloplasty; urethroplasty; microsurgery; autotransplantation.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Shchekoturov IO, Bakhtiozin RF, Istranov AL, Serova NS, Mkhitarian OA, Ibregimova MR. Wide-detector computed tomography for evaluating the effectiveness of microsurgical autotransplantation of tissue complexes in the urogenital region. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2020; 101(4): 198–205 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2020-101-4-198-205>

For corresponding: Igor O. Shchekoturov, E-mail: samaramail@bk.ru

Received 31.01.2020

Revised 05.02.2020

Accepted 10.02.2020

Введение

Компьютерная томография (КТ) – это технология диагностической визуализации, которая использует рентгеновские лучи для измерения плотности объекта и восстанавливает коэффициент линейного ослабления по всему объекту. Важным нововведением за последние три десятилетия является разработка спирального режима исследования и мультidetекторной компьютерной томографии [1–3].

На рисунке 1 показан график, демонстрирующий ежегодное увеличение количества срезов, получаемых при использовании мультиспиральных компьютерных томографов с момента внедрения их в клиническую практику.

Уникальная возможность использования систем с сотнями рядов детекторов – широкий охват зоны исследования за один оборот для динамической визуализации всего органа, особенно мозга и сердца [4].

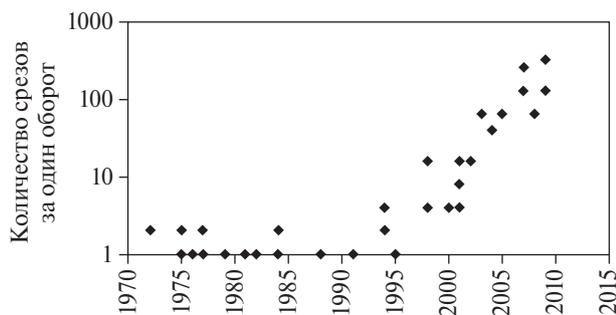


Рис. 1. Увеличение количества срезов компьютерных томографов

Fig. 1. Increase in the number of computed tomography scans

Наибольшее распространение объемная динамическая компьютерная томография получила в кардиологии при исследовании сердца [5–7], а также в онкологии, где для диагностики применяется объемная динамическая перфузионная КТ [8–13]. Широкодетекторные системы позволяют проводить динамическую визуализацию и в травматологии с получением 3D- и 4D-изображений [14–17]. Благодаря широкому охвату зоны исследования и возможности получать информацию, отражающую состояние кровоснабжения органов и тканей, методика КТ-перфузии нашла применение в трансплантологии для оценки состояния трансплантатов [18, 19].

В настоящее время выделяют большое количество разнообразных заболеваний урогенитальной области как врожденного, так и приобретенного характера. Для их устранения могут использоваться методы микрохирургической аутоотрансплантации комплекса тканей. Такое заболевание, как врожденная гипоплазия пениса, может быть скорректировано заместительной интеграционной фаллопластикой свободным реваскуляризированным и реиннервированным микрохирургическим торакодорсальным аутоотрансплантатом. Облитерация и стриктура уретры – часто встречающиеся патологии, которые могут быть устранены при помощи заместительной интеграционной уретропластики свободным реваскуляризированным и реиннервированным микрохирургическим лучевым аутоотрансплантатом.

Для диагностики данных заболеваний и планирования оперативного лечения с целью реконструкции уретры и полового члена, а также определения состояния аутоотрансплантата после операции может применяться компьютерная томография. Использование широкодетекторных систем позволяет выполнять такие исследования, как динамическая перфузионная КТ и объемная динамическая микционная компьютерная цистоуретрография (ОДМКЦ).

Материал и методы

В настоящее исследование были включены 36 пациентов с различной патологией урогенитальной области, которые были обследованы с использованием широкодетекторного компьютерного томографа Toshiba Aquilion One (Япония) на базе кабинета рентгеновской компьютерной томографии российско-японского центра визуализации Университетской клинической больницы № 1 Первого Московского медицинского университета им. И.М. Сеченова с марта 2017 г. по май 2019 г. Вышеуказанный 640-срезовый компьютерный томограф имеет 320 рядов детекторов, каждый шириной по 0,5 мм, что позволяет за один оборот рентгеновской трубки охватывать зону исследования в 160 мм по оси Z.

Данный томограф дает возможность получать информацию не только в спиральном, но и в объемном режиме без движения стола во время исследования с последующим получением 3D- и динамических 4D-реконструкций.

Для устранения патологии урогенитальной области применяли методы микрохирургической аутоотрансплантации комплекса тканей. Такое заболевание, как врожденная гипоплазия пениса, корректировали заместительной интеграционной фаллопластикой свободным реваскуляризированным и реиннервированным микрохирургическим торакодорсальным аутоотрансплантатом. Стриктур и облитерацию уретры устраняли при помощи заместительной интеграционной уретропластики свободным реваскуляризированным и реиннервированным микрохирургическим лучевым аутоотрансплантатом [20]. Распределение заболеваний по группам представлено в таблице 1.

Важными моментами данного хирургического метода являются тщательные предоперационные планирование и подготовка с оценкой сосудистой картины как планируемых к пересадке комплексов тканей, так и реципиентной области (урогенитальной), послеоперационный мониторинг кровоснабжения аутоотрансплантатов и оценка конечного результата.

При планировании реконструкции урогенитальной области всем пациентам была выполнена объемная динамическая перфузионная компьютерная томография донорской области на дооперационном этапе, а также аутоотрансплантатов нефаллоса и неоуретры на послеоперационном этапе для оценки степени васкуляризации трансплантата.

Все исследования были проведены в три этапа: дооперационный, через 7 сут и через 6 мес после операции. Мы использовали контрастное вещество с концентрацией йода не менее 370 мг/мл, которое вводили всем пациентам с помощью автоматического инъектора в заранее

Распределение пациентов по группам заболеваний, n (%)

Заболевания	Примененные методы лечения	Количество случаев
Врожденные		
транссексуализм	Фалло- и уретропластика	24 (67)
микрофаллия	Фалло- и уретропластика	3 (8)
гипоспадия	Уретропластика	1 (2)
эписпадия	Уретропластика	2 (6)
Приобретенные		
травматическое повреждение уrogenитальной области	Фалло- и уретропластика	2 (6)
поствоспалительные изменения уретры	Уретропластика	4 (11)

установленный периферический или центральный венозный катетер диаметром не менее 16 G из расчета 0,5 мл на 1 кг массы пациента. Средний объем введенного контрастного препарата составил 35 ± 7 мл. Время для введения всего

объема контрастного вещества не превышало 6 с, таким образом, скорость его введения составляла 6–7 мл/с. Сразу же после контрастного препарата вводили физиологический раствор с аналогичными объемом и скоростью.

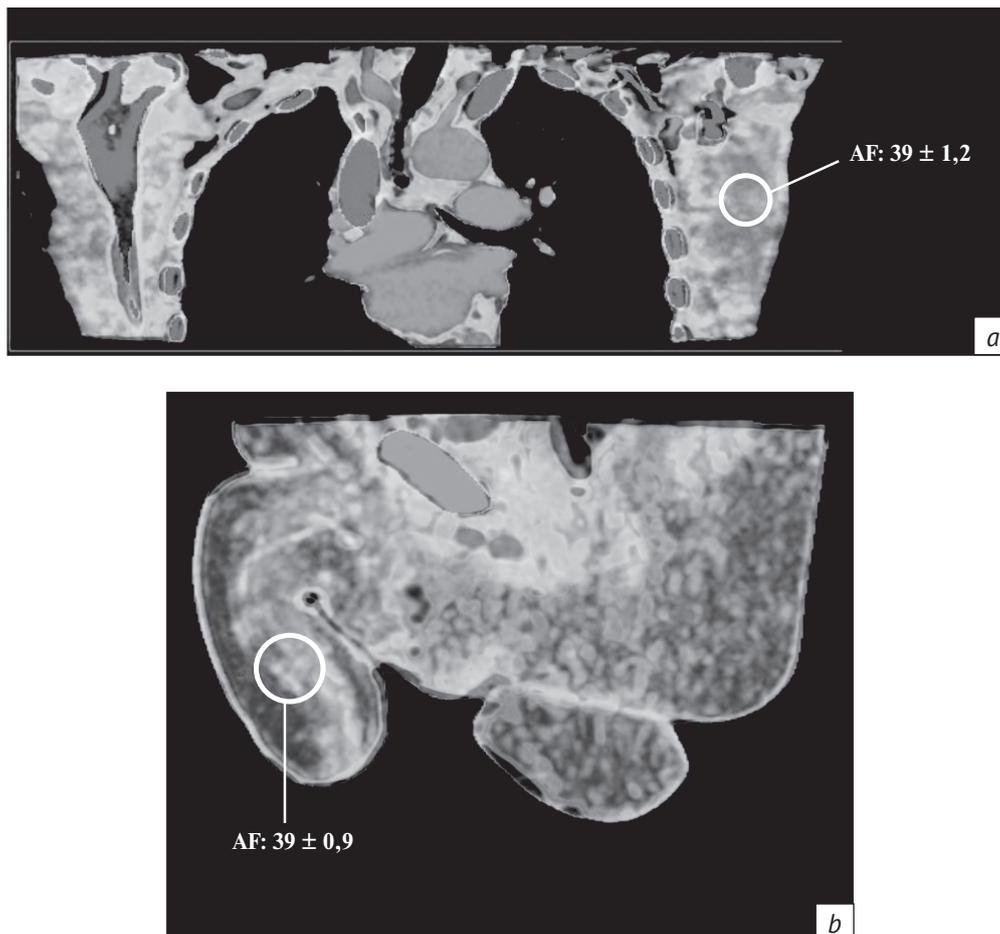


Рис. 2. Перфузионная КТ:

a – фронтальная реконструкция, цветовая карта торакодорсальной области на дооперационном этапе;

b – сагиттальная реконструкция, цветовая карта неофаллоса и неоуретры.

AF – arterial flow (артериальный кровоток, мл/мин на 100 мл)

Fig. 2. Perfusion CT:

a – frontal reconstruction, the preoperative color map of the thoracodorsal region is presented;

b – sagittal reconstruction, the color map of the neophallus and neourethra

Исследование начинали через 10–15 мин после проведения перфузионного исследования, к этому времени мочевого пузыря наполнялся контрастной мочой. По команде оператора пациент, лежа на столе томографа, начинал мочиться в памперс. Во время 10-секундного исследования происходила регистрация изменения объема мочевого пузыря и оценка пассажа контрастной мочи по нижним мочевым путям.

Результаты

По результатам обработки данных, полученных при перфузионном исследовании, в исследованной группе не было выявлено значимых различий в показателях уровня артериального кровотока в тканях аутотрансплантата через 7 сут и через 6 мес после пересадки в сравнении со значениями кровотока в тканях торакодорсальной и лучевой донорских областей на дооперационном этапе (рис. 2, табл. 2), что свидетельствует о полноценном восстановлении кровотока после наложения микрососудистых анастомозов во время пересадки и адекватности кровоснабжения (перфузии) тканей аутотрансплантатов в разные сроки послеоперационного периода.

После проведенной объемной динамической микционной компьютерной цистоуретрографии у всех обследованных выполняли измерение ширины просвета уретры во всех отделах, выявляли зоны его наибольшего сужения и их протяженность, оценивали состояние окружающих тканей в этих участках и степень раскрытия шейки мочевого пузыря во время микции, определяли объем мочевого пузыря и скорость потока струи мочи в различные фазы мочеиспускания (рис. 3).

Среднее значение объема мочевого пузыря составило $361,3 \pm 181,1$ мл, при этом фактический объем выделенной мочи во время микции равнялся $301,5 \pm 154,7$ мл, что связано с остаточным объемом мочи в мочевом пузыре, который составлял $59 \pm 26,2$ мл (рис. 4).

Ориентируясь на полученные данные изменения объема мочевого пузыря в процессе мочеиспускания, мы рассчитали скорость потока струи мочи во все фазы динамического исследования (с 1-й по 10-ю секунды) (рис. 5). Средняя скорость при стриктурах уретры составила $4,2 \pm 1,3$ мл/с, после устранения стриктуры – $8,0 \pm 5,3$ мл/с. Максимальная зафиксированная скорость составила 19 мл/с. В связи с тем что с целью снижения лучевой нагрузки протокол выполнения исследования был ограничен 10 с, измерить показатели мочеиспускания во время всей микции в нашем исследовании не представлялось возможным. Для всех обследованных пациентов была определена лучевая нагрузка, которая составила в среднем $8,9 \pm 4,3$ мЗв.

Обсуждение

Применение объемной динамической микционной компьютерной цистоуретрографии позволяет получить ценную информацию не только об анатомии мочевого пузыря и уретры, но и об их функции по результатам КТ-урофлуометрии. Важно подчеркнуть, что полученные данные отражают состояние уретры в динамике, то есть во время мочеиспускания, что дает возможность делать выводы о сократительной способности мочевого пузыря.

В нашем исследовании информативность указанной методики превзошла таковую при стандартном рентгенологическом исследовании, эндоскопической уретроскопии и ультразвуковом методе. К тому же эти методики разобщены во времени и по технике выполнения и преимущественно не физиологичны. При этом очевидно, что объективно интерпретировать характер изменений, лежащих в основе патологического процесса, возможно лишь при комплексном анализе в условиях, максимально приближенных к физиологическим, то есть во время мочеиспускания [21].

Полученные нами результаты были аналогичны показателям традиционной урофлуометрии, выполненной всем пациентам, но меньшее значение скорости струи мочи может быть связано с тем, что обследуемым приходилось мочиться лежа.

Проведение объемной динамической перфузионной КТ позволяет оценить степень васкуляризации зон интереса, что не может быть достигнуто при использовании других диагностических методик. Результаты применения данного метода для оценки состояния трансплантатов превосходят возможности трехфазной компьютерной томографии [22, 23]. Методика может быть использована как для определения и дифференциальной диагностики очагового поражения внутренних органов, так и для оценки различных изменений перфузии органов (ишемии, кровоизлияния, некроза) [24, 25].

Заключение

Преимущества широкодетекторных систем с их уникальными свойствами позволили применить их в новом направлении – планировании и оценке эффективности проведенной микрохирургической реконструкции урогенитальной области с получением дополнительной, ранее недоступной диагностической информации.

Использование динамической перфузионной КТ дало возможность оценить состояние микроциркуляторного русла и степени кровоснабжения всего аутотрансплантата, чего невозможно достичь с помощью других методик и томографов с узким детектором. Широкое покрытие позволяет получать большой массив данных, что дает дополнительные сведения и является наиболее важным при проведении перфузионных исследований

таких органов, как сердце, головной мозг, почки, печень, поджелудочная железа [26–28].

Проведение объемной динамической микционной компьютерной цистоуретрографии дает исчерпывающую информацию о топографо-анатомических особенностях мочеиспускательного канала, позволяет определить локализацию и протяженность стриктуры, детально спланировать ход предстоящего оперативного вмешательства, а значит, улучшить результаты лечения. Также методика дает возможность избежать назначения других лучевых и инструментальных методов обследования: урофлуометрии, ретроградной и микционной цистоуретрографии, соноуретрографии.

Кроме того, несомненными преимуществами широкодетекторной компьютерной томографии являются увеличение скорости обследования пациентов и уменьшение объема вводимого контрастного препарата, что особенно важно при работе с детьми и больными, у которых есть проблемы с подвижностью (травмированные и тяжелобольные соматические пациенты). Более четкое выполнение «склеивания» аксиальных срезов позволяет минимизировать артефакты от движения, дыхания и сердечных сокращений и создавать трехмерные реконструкции более высокого качества за счет отсутствия движения стола томографа по оси Z [28].

Литература

- Fuchs VR, Sox H Jr. Physicians' views of the relative importance of thirty medical innovations. *Health Aff (Millwood)*. 2001; 20(5): 30–42. doi: 10.1377/hlthaff.20.5.30
- Teixeira PA, Gervaise A, Louis M, Raymond A, Formery AS, Lecocq S, Blum A. Musculoskeletal wide-detector CT kinematic evaluation: from motion to image. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2015; 19(5): 456–62. doi: 10.1055/s-0035-1569257
- Hsieh J. *Computed tomography: principles, design, artifacts, and recent advances*. 2nd ed. Bellingham, WA: Society of Photo Optical Instrumentation Engineering; 2009.
- Pelc NJ. Recent and future directions in CT imaging. *Ann Biomed Eng*. 2014; 42(2): 260–8. doi: 10.1007/s10439-014-0974-z
- Серова Н.С., Кондрашина О.С., Кондрашин С.А. Объемная динамическая 640-срезовая компьютерная томография коронарных артерий. *Медицинская визуализация*. 2018; 4: 32–9. doi: 10.24835/1607-0763-2018-4-32-39
- de Graaf FR, Schuijff JD, van Velzen JE, Bax JJ. Novel 320-slice multislice CT angiography as a gatekeeper for invasive coronary angiography. *Interv Cardiol*. 2009; 1(1): 7–13.
- Choi SI, George RT, Schuleri KH, Chun EJ, Lima JAC, Lardo AC. Recent developments in wide-detector cardiac computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2009; 25 Suppl 1: 23–9. doi: 10.1007/s10554-009-9443-4
- Oğul H, Kantarcı M, Genç B, Pirimoğlu B, Çullu N, Kızrak Y, et al. Perfusion CT imaging of the liver: review of clinical applications. *Diagn Interv Radiol*. 2014; 20(5): 379–89. doi: 10.5152/dir.2014.13396
- Нестеров Д.В., Розенгауз Е.В. Динамическая компьютерная томография у больных раком поджелудочной железы. Оценка перфузии в опухоли и в паренхиме железы вне ее. *Медицинская визуализация*. 2014; 2: 68–74.
- Miles KA, Colyvas K, Griffiths MR, Bunce IH. Colon cancer: risk stratification using hepatic perfusion CT. *Eur Radiol*. 2004; 14 (Suppl 2): 129.
- Мухаматуллина Э.З., Кондрашин С.А., Терновой С.К. Роль объемной динамической компьютерной томографии в сравнении с различными методами визуализации в топической диагностике инсулином. *Медицинская визуализация*. 2014; 2: 75–80.
- Sahani DV, Holalkere NS, Mueller PR, Zhu AX. Advanced hepatocellular carcinoma: CT perfusion of liver and tumor tissue – initial experience. *Radiology*. 2007; 243(3): 736–43. doi: 10.1148/radiol.2433052020
- Щекотуров И.О., Бахтиозин Р.Ф., Серова Н.С., Шантаревич М.Ю. Лучевые методы диагностики очаговых образований печени. *REJR*. 2018; 8(4): 194–207. doi: 10.21569/2222-7415-2018-8-4-194-207
- Leng S, Zhao K, Qu M, An KN, Berger R, McCollough CH. Dynamic CT technique for assessment of wrist joint instabilities. *Med Phys*. 2011; 38 (Suppl 1): S50. doi: 10.1118/1.3577759
- Kalia V, Obroy RW, Filice R, Fayad LM, Murphy K, Carrino JA. Functional joint imaging using 256-MDCT: technical feasibility. *Am J Roentg*. 2009; 192(6): W295–9. doi: 10.2214/AJR.08.1793
- Терновой С.К., Серова Н.С., Абрамов А.С., Терновой К.С. Методика функциональной мультиспиральной компьютерной томографии в диагностике нестабильности позвоночно-двигательных сегментов шейного отдела позвоночника. *REJR*. 2016; 6(4): 38–43. doi: 10.21569/2222-7415-2016-6-4-38-43
- Бахвалова В.А., Терновой С.К., Серова Н.С. Лучевая диагностика патологий пателлофemorального сочленения. *Медицинская визуализация*. 2018; 4: 65–76. doi: 10.24835/1607-0763-2018-4-65-76
- Муслимов Р.Ш., Терновой С.К., Серова Н.С., Анисимов Ю.А., Сторожев Р.В., Пинчук А.В. Методика оценки перфузии трансплантата поджелудочной железы с помощью динамической объемной компьютерной томографии. *REJR*. 2017; 7(4): 74–82. doi: 10.21569/2222-7415-2017-7-4-74-82
- Helck A, Wessely M, Notohamiprodjo M, Schönermarck U, Klotz E, Fischeder M, et al. CT perfusion technique for assessment of early kidney allograft dysfunction: preliminary results. *Eur Radiol*. 2013; 23(9): 2475–81. doi: 10.1007/s00330-013-2862-6
- Истранов А.Л., Старцева О.И., Гуляев И.В., Адамян Р.Т. Заместительная микрохирургическая фаллоуретропластика как способ лечения синдрома микрофаллии при различной врожденной патологии уrogenитальной области. *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии*. 2012; 2: 70–6.
- Watanabe H, Takahashi S, Ukimura O. Urethra actively opens from the very beginning of micturition: a new concept of urethral function. *Int J Urol*. 2014; 21(2): 208–11. doi: 10.1111/iju.12212
- Notohamiprodjo M, Pedersen M, Glaser C, Helck AD, Lodemann KP, Jespersen B, et al. Comparison of Gd-DTPA and Gd-BOPTA for studying renal perfusion and filtration. *J Magn Reson Imaging*. 2011; 34(3): 595–607. doi: 10.1002/jmri.22640
- Reis C. Quantitative evaluation of microvascular blood flow by contrast-enhanced ultrasound (CEUS). *Clin Hemorheol Microcirc*. 2011; 49(1–4): 137–49. doi: 10.3233/CH-2011-1464
- Долгушин М.Б., Пронин И.Н., Фадеева Л.М., Корниенко В.Н. Метод КТ-перфузии в дифференциальной диагностике вторичного опухолевого поражения головного мозга. *Медицинская визуализация*. 2007; 4: 100–6.
- Долгушин М.Б., Тулин П.Е., Оджарова А.А., Мещерякова Н.А., Невзоров Д.И., Меньков М.А. и др. КТ-перфузия в дифферен-

циальной диагностике опухолей печени. Медицинская визуализация. 2015; 5: 18–31.

26. Verellen D, De Ridder M, Tournel K, Duchateau M, Reynders T, Gevaert T, et al. An overview of volumetric imaging technologies and their quality assurance for IGRT. *Acta Oncol.* 2008; 47(7): 1271–8. doi: 10.1080/02841860802244182

27. Katada K. Characteristics of multislice CT. *JMAJ.* 2002; 45(4): 175–9.

28. Voros S. What are the potential advantages and disadvantages of volumetric CT scanning? *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2009; 3(2): 67–70. doi: 10.1016/j.jcct.2008.12.010

References

- Fuchs VR, Sox H Jr. Physicians' views of the relative importance of thirty medical innovations. *Health Aff (Millwood).* 2001; 20(5): 30–42. doi: 10.1377/hlthaff.20.5.30
- Teixeira PA, Gervaise A, Louis M, Raymond A, Formery AS, Lecocq S, Blum A. Musculoskeletal wide-detector CT kinematic evaluation: from motion to image. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015; 19(5): 456–62. doi: 10.1055/s-0035-1569257
- Hsieh J. *Computed tomography: principles, design, artifacts, and recent advances.* 2nd ed. Bellingham, WA: Society of Photo Optical Instrumentation Engineering; 2009.
- Pelc NJ. Recent and future directions in CT imaging. *Ann Biomed Eng.* 2014; 42(2): 260–8. doi: 10.1007/s10439-014-0974-z
- Serova NS, Kondrashina OS, Kondrashin SA. Volumetric dynamic 640-slice ct of coronary arteries. *Medical Visualization.* 2018; 4: 32–9 (in Russian). doi: 10.24835/1607-0763-2018-4-32-39
- de Graaf FR, Schuijff JD, van Velzen JE, Bax JJ. Novel 320-slice multislice CT angiography as a gatekeeper for invasive coronary angiography. *Interv Cardiol.* 2009; 1(1): 7–13.
- Choi SI, George RT, Schuleri KH, Chun EJ, Lima JAC, Lardo AC. Recent developments in wide-detector cardiac computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2009; 25 Suppl 1: 23–9. doi: 10.1007/s10554-009-9443-4
- Oğul H, Kantarcı M, Genç B, Pirimoğlu B, Çullu N, Kızrak Y, et al. Perfusion CT imaging of the liver: review of clinical applications. *Diagn Interv Radiol.* 2014; 20(5): 379–89. doi: 10.5152/dir.2014.13396
- Nesterov DV, Rozengauz EV. Dynamic computed tomography at patients with pancreatic cancer. Perfusion analysis in the tumor and pancreatic parenchyma. *Medical Visualisation.* 2014; 2: 68–74 (in Russian).
- Miles KA, Colyvas K, Griffiths MR, Bunce IH. Colon cancer: risk stratification using hepatic perfusion CT. *Eur Radiol.* 2004; 14 (Suppl 2): 129
- Mukhamatullina EZ, Kondrashin SA, Ternovoy SK. Role of dynamic volume computed tomography in comparison with different visualization methods in the topical diagnosis of insulinomas. *Medical Visualisation.* 2014; 2: 75–80 (in Russian).
- Sahani DV, Holalkere NS, Mueller PR, Zhu AX. Advanced hepatocellular carcinoma: CT perfusion of liver and tumor tissue – initial experience. *Radiology.* 2007; 243(3): 736–43. doi: 10.1148/radiol.2433052020
- Schekoturov IO, Bakhtiozin RF, Serova NS, Shantarevich MY. Radiological methods in diagnostics of focal liver lesions. *REJR.* 2018; 8(4): 194–207 (in Russian). doi: 10.21569/2222-7415-2018-8-4-194-207
- Leng S, Zhao K, Qu M, An KN, Berger R, McCollough CH. Dynamic CT technique for assessment of wrist joint instabilities. *Med Phys.* 2011; 38 (Suppl 1): S50. doi: 10.1118/1.3577759
- Kalia V, Orbay RW, Filice R, Fayad LM, Murphy K, Carrino JA. Functional joint imaging using 256-MDCT: technical feasibility. *Am J Roentg.* 2009; 192(6): W295–9. doi: 10.2214/AJR.08.1793
- Ternovoy SK, Serova NS, Abramov AS, Ternovoy KS. Functional multislice computed tomography in the diagnosis of cervical spine vertebral-motor segment instability. *REJR.* 2016; 6(4): 38–43 (in Russian). doi: 10.21569/2222-7415-2016-6-4-38-43
- Bakhvalova VA, Ternovoy SK, Serova NS. Radiation diagnostics of the pathology of patellofemoral joint. *Medical Visualization.* 2018; 4: 65–76 (in Russian). doi: 10.24835/1607-0763-2018-4-65-76
- Muslimov RSh, Ternovoy SK, Serova NS, Anisimov YuA, Storozhev RV, Pinchuk AV. A technique of evaluating of pancreas graft perfusion using dynamic volume computed tomography. *REJR.* 2017; 7(4): 74–82 (in Russian). doi: 10.21569/2222-7415-2017-7-4-74-82
- Helck A, Wessely M, Notohamiprodjo M, Schönermarck U, Klotz E, Fischereder M, et al. CT perfusion technique for assessment of early kidney allograft dysfunction: preliminary results. *Eur Radiol.* 2013; 23(9): 2475–81. doi: 10.1007/s00330-013-2862-6
- Istranov AL, Startseva OI, Gulyaev IV, Adamyan RT. Substitutive microsurgery phallo-urethroplasty in microphallia treatment. *Annals of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery.* 2012; 2: 70–6 (in Russian).
- Watanabe H, Takahashi S, Ukimura O. Urethra actively opens from the very beginning of micturition: a new concept of urethral function. *Int J Urol.* 2014; 21(2): 208–11. doi: 10.1111/iju.12212
- Notohamiprodjo M, Pedersen M, Glaser C, Helck AD, Lodemann KP, Jespersen B, et al. Comparison of Gd-DTPA and Gd-BOPTA for studying renal perfusion and filtration. *J Magn Reson Imaging.* 2011; 34(3): 595–607. doi: 10.1002/jmri.22640
- Greis C. Quantitative evaluation of microvascular blood flow by contrast-enhanced ultrasound (CEUS). *Clin Hemorheol Microcirc.* 2011; 49(1–4): 137–49. doi: 10.3233/CH-2011-1464
- Dolgushin MB, Pronin IN, Fadeeva LM, Kornienko VN. Perfusion computed tomography in differential diagnosis of brain metastases. *Medical Visualization.* 2007; 4: 100–6 (in Russian).
- Dolgushin MB, Tulin PE, Odzharova AA, Mescheryakova NA, Nevzorov DI, Menkov MA, et al. CT-perfusion in differential diagnostics of hepatic tumors. *Medical Visualization.* 2015; 5: 18–31 (in Russian).
- Verellen D, De Ridder M, Tournel K, Duchateau M, Reynders T, Gevaert T, et al. An overview of volumetric imaging technologies and their quality assurance for IGRT. *Acta Oncol.* 2008; 47(7): 1271–8. doi: 10.1080/02841860802244182
- Katada K. Characteristics of multislice CT. *JMAJ.* 2002; 45(4): 175–9.
- Voros S. What are the potential advantages and disadvantages of volumetric CT scanning? *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2009; 3(2): 67–70. doi: 10.1016/j.jcct.2008.12.010