

И.А. Буровик¹, А.В. Мищенко¹, С.А. Кулева¹, А.А. Мелдо²

Характеристики контрастного усиления при различных методиках мультиспиральной компьютерной томографии

¹ФГБУ «НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России,

²ГБУЗ «Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический)», Санкт-Петербург

Одним из подходов, позволяющих снизить лучевую нагрузку при выполнении компьютерной томографии брюшной полости, является применение методики одномоментного венозно-артериального МСКТ-сканирования. **Цель исследования:** сравнение показателей рентгеновской плотности в отдельных органах и анатомических структурах и определение величины лучевой нагрузки при проведении венозно-артериального МСКТ-сканирования и классической двухфазной КТ органов брюшной полости. **Материалы и методы:** выполнена двухфазная МСКТ и исследование методом одномоментного сканирования у 98 больных с интервалом не более 6 месяцев. **Результаты:** установлены статистически достоверные различия рентгеновской плотности паренхимы печени и воротной вены при сравнении венозно-артериальной фазы одномоментного сканирования и артериальной фазы стандартного исследования и различия рентгеновской плотности аорты при сравнении одномоментного сканирования и венозной фазы стандартного исследования. Данные отличия соответствовали таковым при сравнении между собой двух фаз стандартного исследования. Методика одномоментного сканирования позволяет уменьшить эффективную дозу облучения на 11,1-47,7% (в среднем на $35,9 \pm 6,9\%$) при исследовании органов брюшной полости. **Заключение:** методика венозно-артериального МСКТ-сканирования обеспечивает значительное уменьшение дозы облучения при КТ органов брюшной полости и может быть применена как альтернатива двухфазному исследованию в процессе динамического наблюдения за онкологическими больными.

Ключевые слова: лучевая нагрузка при КТ, снижение дозы облучения, венозно-артериальное сканирование, КТ в онкологии

На протяжении последних 20 лет количество проводимых исследований методом компьютерной томографии (КТ) увеличивается в среднем на 10% ежегодно [13]. Так, если в 1998 г. КТ

обуславливало 40% общей коллективной дозы при медицинских лучевых исследованиях, то к 2010 г. эта величина достигла 68% [9]. По данным ряда авторов обозначенная тенденция является серьезным риском развития радиоиндуцированных злокачественных новообразований [3,5,10,15,16]. Это определяет создание стратегии снижения лучевой нагрузки при КТ-исследованиях. В частности, издаются рекомендации по оптимизации протоколов сканирования при КТ, используются программы автоматической модуляции параметров сканирования, учитывающие антропометрические характеристики пациентов [4,8,12].

В онкологической практике мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) занимает одну из ведущих позиций как в первичной диагностике новообразований, так и в качестве метода выбора при динамическом наблюдении больных. Число проводимых исследований у ряда пациентов составляет 6 в год и более, а суммарная эффективная доза нередко достигает 50-100 мЗв.

При проведении КТ органов брюшной полости, как правило, используется многофазное исследование, состоящее минимум из двух фаз, артериальной и венозной, которые при необходимости могут быть дополнены нативной и отсроченной фазами сканирования [2]. Одним из подходов, позволяющих снизить лучевую нагрузку при выполнении компьютерной томографии брюшной полости, является применение методики одномоментного венозно-артериального МСКТ-сканирования [1]. Метод позволяет выполнить одно сканирование, сочетающее артериальную и венозную фазы контрастирования, за счет введения с определенным временным интервалом двух болюсов контрастного вещества. Соотношение объемов болюсов контрастного препарата составляет 2:1. Между болюсными введениями препарата программируется временная задержка таким образом, чтобы в итоге окончание инфузии второго болюса соответствовало 60-й секунде от начала введения первого. Первый болюс обеспечивает изображение, соответствующее венозной фазе контрастирования, второй – артериальной. Такая методика

позволяет значительно снизить дозу облучения по сравнению с классическим двухфазным сканированием.

Однако до конца остаются не изученными характеристики контрастного усиления тканей при выполнении венно-артериального МСКТ-сканирования, а также не определена степень снижения дозовой нагрузки по сравнению с классическим двухфазным исследованием.

Целью исследования является сравнение показателей рентгеновской плотности в отдельных органах и анатомических структурах и определение величины лучевой нагрузки при проведении венно-артериального МСКТ-сканирования и классической двухфазной КТ органов брюшной полости.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели было обследовано 98 больных с различными онкологическими заболеваниями. Возраст пациентов варьировал от 18 до 83 лет (средний возраст 55 лет). На первом этапе в соответствии с медицинскими показаниями выполнялась двухфазная МСКТ брюшной полости (при необходимости в сочетании с исследованием органов грудной клетки и/или малого таза) с внутривенным болюсным контрастным усилением. При этом органы грудной клетки сканировались только в артериальную фазу контрастирования. Далее в процессе динамического наблюдения с интервалом не более 6 месяцев от первого исследования каждому из больных была проведена МСКТ

тех же анатомических областей с применением методики венно-артериального сканирования. При сканировании по обеим методикам использовалось контрастное вещество с содержанием йода 300 мг/мл. Количество контрастного вещества определялось из расчета 1,5 мл/кг массы тела пациента, скорость его введения составляла 3–4 мл/с. Между болюсными введениями препарата программировалась временная задержка таким образом, чтобы в итоге окончание инфузии второго болюса соответствовало 60-й сек. от начала введения первого. Первый болюс обеспечивал изображение, соответствующее венозной фазе контрастирования, второй – артериальной, что позволяло получить комбинированное изображение за одно сканирование (рис. 1). Для сопоставления способов томографии выполнялось сравнение денситометрических характеристик в венно-артериальную фазу одномоментного сканирования с обеими фазами двухфазного исследования, а также сопоставлялись параметры контрастного усиления фаз стандартного исследования между собой. Измерение значений КТ-плотности проводилось в аорте, воротной вене, печени, селезенке, почках, поджелудочной железе. Полученные данные обрабатывались методами статистического анализа: определялись средние значения и медиана, используя t-критерий Стьюдента, проводилось сравнение групп.

Результаты и обсуждение

Результаты измерения КТ-плотности в различных анатомических структурах органов брюшной полости в артериальную и венозную фазы двухфазной МСКТ и в венно-артериальную фазу одномоментного МСКТ-сканирования представлены в табл. 1.

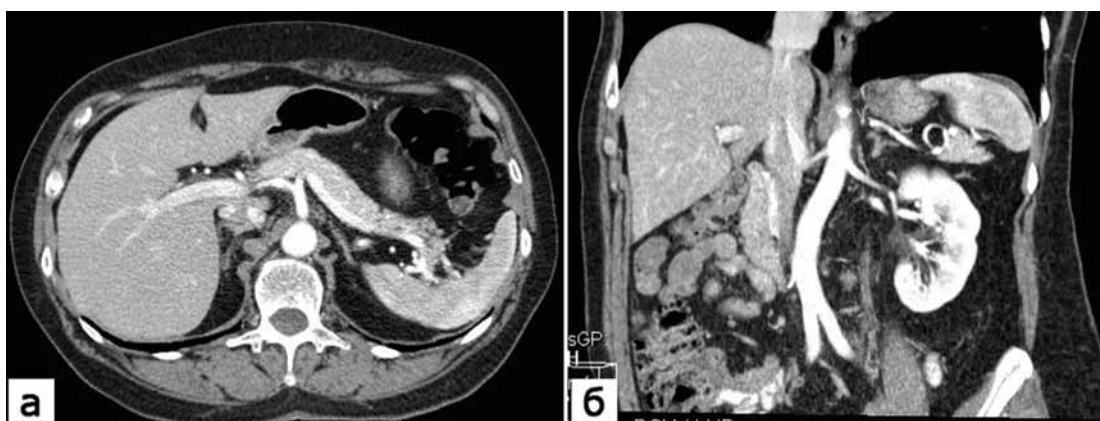


Рис. 1. КТ-изображения брюшной полости, а – аксиальная плоскость, б – фронтальная плоскость. Венозно-артериальная фаза при одномоментной двухфазной МСКТ.

Таблица 1.

Средние значения КТ-плотности в различных анатомических структурах органов брюшной полости в артериальную и венозную фазы двухфазной МСКТ и в венно-артериальную фазу одномоментного МСКТ-сканирования

Анатомические структуры	КТ-плотность, НУ*					
	Двухфазное исследование				Венозно-артериальная фаза при одномоментном сканировании	
	Артериальная фаза		Венозная фаза			
	Средняя	Медиана	Средняя	Медиана	Средняя	Медиана
Аорта	216±35	213	136±18	132	182±37	170
Воротная вена	102±13	101	144±17	141	148±19	146
Печень	67±11	69	101±14	102	98±11	99
Селезенка	105±15	105	106±12	102	116±17	114
Почка	111±25	107	139±18	141	154±21	156
Поджелудочная железа	92±14	90	87±13	86	101±15	102

* НУ – единицы Хаунсфилда

Таблица 2.
Сравнение артериальной и венозной фаз двухфазной МСКТ и венозно-артериальной фазы одномоментного МСКТ-сканирования по параметру КТ-плотности в различных анатомических структурах органов брюшной полости

Анатомические структуры	t-критерий Стьюдента, при $p < 0,05$					
	Артериальная фаза двухфазной МСКТ	Венозная фаза двухфазной МСКТ	Венозно-артериальная фаза	Артериальная фаза двухфазной МСКТ	Венозно-артериальная фаза	Венозная фаза двухфазной МСКТ
Аорта	2,01		0,68		1,1	
Воротная вена	1,99		2,03		0,16	
Печень	2,03		2,04		0,19	
Селезенка	0,04		0,46		0,47	
Почка	0,93		1,34		0,54	
Поджелудочная железа	0,28		0,45		0,73	

Сопоставление разных фаз исследований по плотностным характеристикам отражено в табл. 2.

Как видно из данных табл. 1 и 2, при двухфазной МСКТ отмечалось статистически значимое различие показателя контрастного усиления аорты между фазами исследования, чего не наблюдалось при сравнении венозно-артериального сканирования с фазами стандартного исследования. Абсолютное значение КТ-плотности аорты при одномоментной МСКТ составило 182 ± 37 HU (табл. 1) и занимало промежуточное значение между соответствующими величинами КТ-плотности в артериальную и венозную фазу двухфазного исследования (216 ± 35 HU и 136 ± 18 HU соответственно). Однако, такая величина контрастного усиления сама по себе отражала значительное увеличение КТ-плотности артериального русла в сравнении с известными нативными показателями плотности крови ($35-50$ HU) и создавала высокий градиент плотности с окружающими тканями, что позволяло считать ее достаточной для оценки состояния крупных артерий органов брюшной полости.

Имелись достоверные различия показателя рентгеновской плотности воротной вены в артериальную фазу стандартной МСКТ и в венозно-артериальную фазу одномоментного сканирования (101 HU и 148 HU соответственно, $t=1,99$ при $p < 0,05$) (табл. 2). Данные отличия соответствовали таковым при сравнении между собой двух фаз классического исследования. Значения рентгеновской плотности крови в воротной вене при венозно-артериальном МСКТ-сканировании и в венозную фазу стандартного исследования были практически идентичными и составили, соответственно, 148 ± 19 HU и 144 ± 17 HU (табл. 1).

Аналогичное соотношение показателей КТ-плотности наблюдалось и в печеночной паренхиме. Имелось статистически значимое отличие контрастного усиления паренхимы между фазами стандартного исследования (в артериальную фазу 68 HU, в портальную – 102 HU, $t=2,03$

при $p < 0,05$) и при сравнении артериальной и венозно-артериальной фаз (68 HU и 98 HU соответственно, $t=2,04$ при $p < 0,05$) (табл. 2). Показатели КТ-плотности паренхимы печени при одномоментном сканировании и в венозную фазу двухфазного исследования практически совпадали (101 ± 14 HU и 98 ± 11 HU) (табл. 1), что обуславливало сходный паттерн паренхимы органа.

Значения рентгеновской плотности паренхимы селезенки во всех сравниваемых группах статистически не отличались (артериальная и венозная фазы – $t=0,04$ при $p < 0,05$, венозно-артериальная и венозная фазы – $t=0,46$ при $p < 0,05$, венозно-артериальная и артериальная фазы – $t=0,47$ при $p < 0,05$) (табл. 2). В целом отмечалось несколько более активное контрастирование паренхимы органа в венозно-артериальную фазу по сравнению с артериальной и венозной фазами двухфазного исследования (116 ± 17 HU, 105 ± 15 HU, 106 ± 12 HU соответственно) (табл. 1). Также наблюдался умеренно неравномерный характер контрастного усиления паренхимы органа в венозно-артериальную фазу, картина которого более соответствовала артериальной фазе стандартного исследования.

Сходная тенденция контрастного усиления выявлялась в почках и поджелудочной железе. Также отмечалось более активное накопление контрастного вещества паренхимой органов в венозно-артериальную фазу по сравнению с артериальной и венозной фазами стандартного исследования (в почках – 154 ± 21 HU, 111 ± 25 HU, 139 ± 18 HU, соответственно; в поджелудочной железе – 101 ± 15 HU, 92 ± 14 HU, 87 ± 13 HU, соответственно) (табл. 1). Контрастирование почечной паренхимы было однородным, характерная для артериальной фазы кортико-медуллярная дифференцировка ткани в венозно-артериальную фазу не выявлялась.

Эффективная доза облучения при проведении стандартного двухфазного исследования варьировала от $10,9$ мЗв до $29,3$ мЗв (среднее значение $18,7 \pm 2,7$ мЗв) в зависимости от коли-

чества исследуемых зон и антропометрических параметров пациентов. При венозно-артериальном сканировании величина аналогичного показателя колебалась в пределах 7,3-17,4 мЗв (среднее значение $11,9 \pm 1,6$ мЗв). Таким образом, уменьшение дозовой нагрузки при проведении одномоментного сканирования составило от 11,1% до 47,7% (среднее значение $35,9 \pm 6,9\%$). При проведении исследования только органов брюшной полости уменьшение дозы облучения при венозно-артериальном МСКТ-сканировании по сравнению с двухфазным исследованием приближалось к 50%. При сочетанном исследовании брюшной полости и грудной клетки снижение дозы облучения было менее выраженным.

У всех больных данные, полученные при проведении венозно-артериального сканирования, позволили провести необходимую оценку динамики опухолевого процесса.

На сегодняшний день подтверждена причинно-следственная связь между медицинским ионизирующим излучением и развитием у взрослых пациентов некоторых онкологических заболеваний [11,13]. При выполнении диагностического исследования, сопровождающегося лучевой нагрузкой, необходимо соотносить предполагаемую пользу исследования и его потенциальный вред. По данным А. Sodickson и соавт. (2009) 33% пациентов с различными заболеваниями подвергаются 5 и более КТ в течение жизни, 5% проходят исследование от 22 до 132 раз [16]. У 15% больных суммарная доза облучения превышает 100 мЗв, а у 4% – колеблется в пределах 250-1375 мЗв [16].

В онкологической практике КТ занимает одно из ключевых мест в первичной диагностике заболеваний и мониторинге эффективности их терапии. Существующие протоколы сканирования направлены на снижение дозы облучения, получаемой пациентами, однако, последняя по-прежнему остается высокой. По данным мета-анализа Е. Dougeni и соавт. (2012) средняя эффективная доза облучения при исследовании органов брюшной полости составляет 10,8 мЗв [7]. При проведении многофазного исследования с высоким отношением сигнал-шум данное среднее значение существенно возрастает. При повторных КТ в процессе динамического наблюдения за онкологическими больными в большинстве случаев целесообразно исключить нативную и отсроченную фазы сканирования, так как они крайне редко дают дополнительную информацию при определении динамики онкозаболевания [6]. Артериальная и портальная (венозная) фазы сканирования позволяют в достаточной мере оценить состояние паренхиматозных органов брюшной полости, в частности,

печени, кровоснабжаемой как из системы брюшной аорты, так и из воротной вены, определить наличие дефектов контрастирования в крупных сосудах и их возможное вовлечение в патологический процесс.

Венозно-артериальное МСКТ-сканирование позволяет получить комбинированное изображение, включающее артериальную и венозную фазы контрастирования. Данная методика позволяет уменьшить эффективную дозу облучения на 11,1-47,7% (в среднем на $35,9 \pm 6,9\%$) при исследовании органов брюшной полости отдельно или в сочетании со смежными анатомическими областями. Венозно-артериальное сканирование обеспечивает достаточный уровень контрастного усиления в паренхиматозных органах (в почках, селезенке и поджелудочной железе, значение КТ-плотности превышает соответствующие значения плотности в артериальную и венозную фазы двухфазного исследования; в печени характеристика контрастного усиления в венозно-артериальную фазу близка к венозной фазе классического исследования). Одновременно методика позволяет добиться качественного контрастирования крупных артерий брюшной полости и воротной вены.

Выводы

Методика венозно-артериального МСКТ-сканирования обеспечивает значительное уменьшение дозы облучения при КТ органов брюшной полости и может быть применена как альтернатива двухфазному исследованию в процессе динамического наблюдения за онкологическими больными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буровик И.А., Локшина А.А., Кулева С.А. Оптимизация методики мультиспиральной компьютерной томографии при динамическом наблюдении онкологических больных // Медицинская визуализация. – 2015. – № 2. – С. 129-134.
2. Прокоп М., Галански М. Спиральная и многослойная компьютерная томография. Учебное пособие в 2 т.: Пер. с англ. под ред. А.В. Зубарева, Ш.Ш. Шотемора. М.: МЕДпресс. – 2007. – Т. 2. – 712 с.
3. Berrington de Gonzalez A., Mahesh M., Kim K.P. et al. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007 // Arch. Intern. Med. – 2009. – Vol. 22. – № 169. – P. 2071-2077.
4. Bongartz G., Golding S.J., Jurik A.G. et al. European guidelines for multislice computed tomography. – March 2004. – 52 p.
5. Brink J.A., Amis E.S. Jr. Image Wisely: a campaign to increase awareness about adult radiation protection // Radiology. – 2010. – № 257. – P. 601-602.
6. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. Health Effects of Exposure to Low Levels of Ioniz-

- ing Radiation. Washington, DC: National academy Press, 1990. – 436 p.
7. Dougeni E., Faulkner K., Panayiotakis G. A review of patient dose and optimization methods in adult and paediatric CT scanning // *Eur. J. Radiol.* – 2012. – Vol. 4. - № 81. – P. 665-683.
8. EC European Commission. European guidelines on quality criteria for computed tomography. – EUR 16262. Brussels: EUR, 1999. – 107 p.
9. Hart D., Wall B.F., Hillier M.C., Shrimpton P.C. Frequency and collective dose for medical and dental X-ray examinations in the UK, 2008. – Chilton, Didcot: HPA-CRCE-012. – 2010. – 52 p.
10. Harvey H.B., Pandharipande P.V. The federal government's oversight of CT safety: regulatory possibilities // *Radiology.* – 2012. – № 262. – P. 391-398.
11. Howe G.R., McLaughlin J. Breast cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to fractionated moderate-dose-rate ionizing radiation in the Canadian fluoroscopy cohort study and a comparison with breast cancer mortality in the atomic bomb survivors study // *Radiat. Res.* – 1996. – Vol. 145. – P. 694–707.
12. Lee T.Y., Chhem R.K. Impact of new technologies on dose reduction in CT // *Eur. J. Radiol.* – 2010. – Vol. 1. - № 76. – P. 28–35.
13. National Council on Radiation Protection and Measurements. Ionizing radiation exposure of the population of the United States. National Council on Radiation Protection report no. 160. – Bethesda, Md: National Council on Radiation Protection and Measurements. – 2009.
14. National Research Council (US) Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation, BEIR VII phase 2. – Washington DC: National Academy of Sciences. – 2006. – 422 p.
15. Smith-Bindman R., Lipson J., Marcus R. et al. Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer // *Arch. Intern. Med.* – 2009. – Vol. 22. - № 169. – P. 2078-2086.
16. Sodickson A., Baeyens P.F., Andriole K.P., et al. Recurrent CT, cumulative radiation exposure, and associated radiation-induced cancer risks from CT of adults // *Radiology.* – 2009. – Vol. 1. - № 251. – P. 175-184.

Поступила в редакцию 30.10.2015 г.

I.A.Burovik¹, A.V.Mishchenko¹, S.A.Kuleva¹, A.A.Meldo²

Features of contrast enhancement in different methods of multislice computed tomography

¹N.N.Petrov Research Institute of Oncology

²St. Petersburg Clinical Scientific-Practical Center of
Specialized
Types of Medical Care (Oncology)
St. Petersburg

The purpose of this study was a comparison of the X-ray density in certain organs and anatomical structures and the determination of the radiation exposure during venous-arterial MSCT scanning and classical two-phase CT of organs of the abdominal cavity. It has been established that the technique of venous-arterial MSCT scanning provided a significant reduction of radiation dose during CT of organs of the abdominal cavity and could be used as an alternative to two-phase examination in the process of dynamic monitoring of cancer patients.

Key words: radiation exposure in CT, decrease