Е.И. Маткевич^{1,2}, В.Е. Синицын¹, А.Н. Башков³

СРАВНЕНИЕ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ Однофазной и многофазной компьютерной томографии в многопрофильном лечебном учреждении

E.I. Matkevich^{1,2}, V.E. Sinitsyn¹, A.N. Bashkov³

Comparison of Radiation Dose of Patients During Single-phase and Multiphase Computed Tomography in the Multidisciplinary Treatment Clinic

РЕФЕРАТ

<u>Цель</u>: Определить средние дозы облучения пациентов при многофазных (с контрастированием) и однофазных КТ-сканированиях головы, органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза, а также сравнить частоты этих исследований в практике многопрофильного лечебного учреждения.

Материал и методы: Проанализирована структура однофазных и многофазных КТ-исследований за 2012-2014 гг. в практике многопрофильного лечебно-профилактического учреждения на 450 коек. За указанные годы определены средние эффективные дозы при однофазных и многофазных КТ-исследованиях 1766 пациентов (в возрасте от 17 до 93 лет): головы (369 исследований), органов грудной клетки (661 исследование), комбинации органов брюшной полости и малого таза (557 исследований), комбинации органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза (179 исследований). Отбирали полученные на четырех многосрезовых томографах КТ-изображения хорошего качества, для которых регистрировали объемный компьютерно-томографический индекс дозы (CTDI, мГр) и произведение дозы на длину сканирования (DLP, мГр×см). Эффективные дозы (мЗв) вычисляли согласно приведенным в МУ 2.6.1.2944-11 нормализованным коэффициентам для каждой из указанных областей.

Результаты: При однофазных КТ-исследованиях преобладали исследования органов грудной клетки (27,9–33,1%), а при многофазных – исследования органов брюшной полости (18,9–25,2%). Средние эффективные дозы за одно многофазное исследование составили для областей: головы 3,2–4,6 мЗв, органов грудной клетки 8,41–5,33 мЗв, органов брюшной полости и малого таза 27,3–49,6 мЗв и органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза 31,8–38,6 мЗв. Продемонстрирована возможность снижения дозы облучения пациентов без ухудшения качества исследования путем применения различных вариантов низкодозовых методик: при однофазных КТ-исследованиях органов грудной клетки – в 2,6–3,7 раза, при многофазных КТ-исследованиях органов грудной и брюшной полости и малого таза – в 3,6–6,4 раза.

Выводы: Дозы за одно многофазное КТ-исследование возрастали пропорционально количеству фаз. Уровни доз из расчета на одну фазу при многофазном КТ-исследовании в основном ниже, чем получаемые пациентами при соответствующих однофазных исследованиях. Низкодозовые методы при однофазных КТ-исследованиях и при нативной фазе многофазных КТ-исследований позволяют снизить дозы облучения пациентов при сохранении приемлемого качества КТ-визуализации.

Ключевые слова: компьютерная томография, многофазные исследования, пациенты, средние эффективные дозы облучения, низкодозовые методики, малые дозы, потенциальные негативные эффекты, оценка риска

ABSTRACT

<u>Purpose</u>: Determine mean radiation dose of patients and comparison of frequency of CT-examinations and radiation dose of patients during single-phase and multiphase CT-examinations of the brain, chest, abdomen and pelvis and feasibility of low-dose CT-examinations.

<u>Material and methods</u>: Structure of single-phase and multiphase CT-examinations were analyzed during 2012–2014 in a multiprofile hospital (450 beds). The mean effective dose in single-phase and multiphase CT-examinations were calculated, data were obtained from 1766 records of patients (age range 17–93) scanned with 4 MDCT systems for the years 2012–2014: brain (n = 369), chest (n = 661), abdomen-pelvis (n = 557), chest-abdomen-pelvis (n = 179). CT-examinations of good quality were selected, volumetric CT dose index (CTDI, mGy) and dose-length product (DLP, mGy×cm) were collected for each of them. The effective dose (mSv) was calculated using the normalized coefficients according to Guidelines [7].

<u>Results</u>: Most of single-phase CT is the examination of chest (27.9–33.1%), as for multiphase CT it is the examinations of abdomen and pelvis (18.9–25.2%). The mean effective doses due to one multiphase CT according to anatomical areas were as follows: brain – 3.2–4.6 mSv, chest – 8.4–5.3 mSv, chest-abdomen-pelvis – 31.8–38.6 mSv. Reduction of radiation dose was presented in illustrated routine examples of low-dose CT, for single-phase CT of chest to 2.6–3.7 times, for multiphase CT of chest-abdomen-pelvis to 3.6–6.4 times.

<u>Conclusion</u>: Radiation doses of one multiphase CT increase in proportion to the number of phases. Dose levels for one phase at a multiphase CT are generally lower than radiation doses in similar single-phase CT. Using low-dose methods in single-phase CT and in the native phase of multiphase CT allows to reduce radiation dose to patients preserving the acceptable quality of CT-imaging.

Key words: computed tomography, multiphase computed tomography, patients, effective radiation dose of patients, low-dose CT-examinations, low doses, potential risk, risk assessment

- Russia
- ³ A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Moscow, Russia

Лечебно-реабилитационный центр, Москва.

E-mail: ei.matkevich@gmail.com

Первый Московский государственный медицинский университет им И М. Сеценова. Москва

университет им. И.М. Сеченова, Москва 3 Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва

Federal Center of Treatment and Rehabilitation, Moscow. Russia. E-mail: ei.matkevich@gmail.com
I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow.

Введение

В настоящее время компьютерно-томографические (КТ) исследования стали одним из ведущих методов медицинской визуализации и применяются для выявления большинства из известных на сегодняшний день патологий. Благодаря этому пациенты получают своевременную диагностику заболеваний и возможность скорейшего лечения. Однако КТ-исследования являются дополнительным источником облучения для пациентов, увеличивающего вероятность негативных эффектов для их здоровья [1-4]. Подсчитано, что в структуре коллективных доз облучения населения России в 2011-2014 гг. дозы от медицинских источников составляли 13-15 %, при этом вклад КТ-исследований в коллективную дозу медицинского облучения пациентов составлял в среднем по России в 2011 г. 22 %, а в 2013 г. уже 35 %, в отдельных же регионах – до 52,6 % [5, 6] с перспективой возрастания в последующие годы.

Установлены референсные значения доз облучения пациентов для однофазных КТ-исследований (проводимых за одно сканирование), однако при ряде заболеваний врачу диагносту необходимы многофазные КТ-исследования с повторным сканированием перед и после введения контрастного препарата. К сожалению, в настоящее время референсные уровни доз для таких обследований не разработаны, что обусловливает актуальность проведения подобного исследования.

Цель работы состояла в сравнении частоты исследований и доз облучения пациентов при многофазных и однофазных КТ-сканированиях головы, органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза в практике многопрофильного лечебного учреждения и в анализе возможных направлений их снижения.

Материал и методы

На первом этапе с использованием радиологической информационной системы (RIS) были конкретизированы общее количество и структура однофазных и многофазных КТ-исследований за 2012–2014 гг. в Центре лучевой диагностики многопрофильного лечебно-профилактического учреждения на 450 коек — Лечебно-реабилитационного центра Минздрава России (ЛРЦ).

На втором этапе были установлены индивидуальные дозы облучения пациентов во время КТ-исследований на четырех компьютерных томографах (3 – в ЛРЦ и 1 – в ГКБ № 23 им. «Медсантруд» г. Москвы), далее рассчитаны средние уровни эффективных доз для однофазных и многофазных КТ-исследований головы, органов грудной клетки (ОГК), органов брюшной полости и малого таза (ОБП+ОМТ), органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза (ОГК+ОБП+ОМТ). Для этого была сформирована ретроспективная рандомизированная выборка из архива указанных выше лечебных учреждений, которая состояла из 1766 пациентов в возрасте от 17 до 93 лет. По выбранным анатомическим областям пациенты распределились следующим образом (всего по данной анатомической области и из них однофазные / многофазные): голова – 369 (329/40) чел., ОГК – 661 (605/56) чел., ОБП+ОМТ – 557 (169/388) чел., ОГК+ОБП+ОМТ – 179 (38/141) чел.

Обследования проводились на двух 64-срезных, одном 80-срезовом и одном 40- срезовом компьютерных томографах при стандартных протоколах сканирования. Для каждого пациента отбирались КТ-исследования с изображениями хорошего качества и регистрировались объемный КТ-индекс дозы (CTDI_v, мГр) и произведение дозы на длину (DLP, мГр×см). Эффективные дозы (мЗв) вычислялись согласно нормализованным коэффициентам для каждой из областей, приведенным в МУ 2.6.1.2944-11 [7]. При статистической обработке с использованием программы Excel 2013 были рассчитаны средние эффективные дозы (СЭД) и их стандартные неопределенности по каждому КТ-сканеру – как суммарно для всех фаз, так и для каждой фазы (СЭД_{1Ф}) при многофазном КТ-исследовании.

На третьем этапе были проанализированы изменения дозы облучения пациентов ЛРЦ при применении методик снижения дозовой нагрузки в ходе КТ-исследований ОГК и ОГК+ОБП+ОМТ путем снижения напряжения на трубке со 120 до 80–100 кВ и при использовании алгоритмов итерационной реконструкции ASIR и MBIR.

Результаты и обсуждение

Как видно на рис. 1а и 16 общее количество как однофазных, так и многофазных КТ-исследований в 2013 и 2014 гг. по отношению к 2012 г. в ЛРЦ возросло соответственно в 1,1–1,2 и в 1,4–1,6 раза, при этом однофазные исследования (71,3–64,7%) преобладали над многофазными (28,7–35,3%).

Особенности распределения исследований в изучаемый период времени (рис. 2a—в) свидетельствуют, что при однофазных исследованиях преобладали исследования ОГК (26,0-33,1%), далее в порядке убывания количества следовали области: Другие, Голова, ОБП и Сердце, что прослеживается в каждом из рассмотренных годов. При многофазных КТ-исследованиях наибольшую долю составляли ОБП (18,9-25,2%), затем Сердце (3,6-4,8%) и исследования Головы (1,4-3,7%). Исследования ОГК и области «Другие» во все годы уступали по частоте первым трем областям.



Рис. 1. Количество однофазных (а) и многофазных (б) КТ-исследований, проведенных в ЛРЦ за 2012–2014 гг. К группе Другие* отнесены КТ-исследования шеи, малого таза и конечностей



Рис. 2. Структура однофазных (ОФ) и многофазных (МФ) КТ-исследований, проведенных в ЛРЦ в 2012 (а), 2013 (б) и 2014 (в) гг. К группе Другие* отнесены КТ-исследования сердца, шеи, малого таза и конечностей

Таблица 1

Средняя эффективная доза в зависимости от количества фаз КТ-исследования, М±т

Области	Вид		Компьютерные томографы			
КТ-исследования	КТ-иссле- дования*	Показатель**	Siemens Sensation Open	Siemens Sensation 64	GE Discovery CT750 HD	Toshiba Aquilion Prime
			40-срезовый КТ-1	64-срезовый KT-2	64-срезовый КТ-3	80-срезовый КТ-4
Голова	ОΦ	СЭД, мЗв	2,65±0,03	2,56±0,03	1,83±0,05	2,1±0,0
	МΦ	СЭД, мЗв	-	3,7±0,19	3,21±0,31	4,6±0,3
		СЭД _{1Ф} , мЗв	-	1,42	1,40	1,84
		Ν _Φ	-	2,6±0,1	2,3±0,2	2,5±0,2
ОГК	ОΦ	СЭД, мЗв	4,96±0,39	4,23±0,09	6,04±0,28	2,4±0,2
	МΦ	СЭД, мЗв	15,33±0,11	9,02±0,95	12,81±1,25	8,4±0,7
		СЭД _{1Ф} , мЗв	5,11	3,76	6,41	4,2
		Ν _Φ	3,0±0	2,4±0,1	2,0±0,2	2,0±0,0
ОБП+ОМТ	ОΦ	СЭД, мЗв	9,77±0,64	9,41±0,57	11,47±1,19	8,5±1,9
	МΦ	СЭД, мЗв	38,41±2,79	31,56±1,67	49,57±2,49	27,3±2,4
		СЭД _{1Ф} , мЗв	9,85	7,89	13,04	7,18
		Ν _Φ	3,9±0,1	4,0±0	3,8±0,1	3,8±0,1
ОГК+ОБП+ОМТ	ОΦ	СЭД, мЗв	12,22±1,83	12,53±0,92	12,12±2,03	—
	МΦ	СЭД, мЗв	36,72±2,63	31,79±2,75	38,63±2,91	—
		СЭД _{1Ф} , мЗв	8,74	7,57	11,04	_
		N _Φ	4,2±0,2	4,2±0,1	3,5±0,1	-

Примечания:

* ОΦ – однофазное КТ-исследование без внутривенного контрастирования, МΦ – многофазное КТ-исследование с внутривенным контрастированием; **СЭД – средняя эффективная доза, м3в; СЭД_{1Ф}, м3в – эффективная доза, рассчитанная на одну фазу при МФ КТ-исследовании, м3в; N_Φ – количество фаз при МФ КТ-исследовании

Средние дозы облучения по всем КТ-аппаратам и анатомическим областям представлены в табл. 1. Как видно, средняя эффективная доза за одно полное многофазное исследование (МФ СЭД) превыша-

ет дозу при аналогичных однофазных исследований для головы в 1,5–2,2 раза, для ОГК в 2,1–3,5 раза, для ОБП+ОМТ в 3,2–4,3 раза и для в ОГК+ОБП+ОМТ 2,5–3,2 раза. Эти значения выше, чем дозы, приведен-



в)

Accessio Patient I Exam De	on Numbr D: 587 escription	11 Apr 2011 Discovery CT750 HD			
		Dose R	port		
Series	Туре	Scan Range (mm)	CTDIval (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom
1	Scout				
.2	Helical	\$59.250-1243.250	7.08	259.70	Body 32
5	Scout				
6	Helical	118.000-560.125	3.25 Fram DLP	32.32	Head 16

Рис. 3. Однофазное КТ-исследование легких при сниженном напряжении до 80 кВ и автоматической модуляцией тока на трубке: а – аксиальный срез, б – фронтальный срез, в – дозовый отчет

ные в качестве референсных уровней, например для Европейских стран, Великобритании и Австралии [8, 9], а также в работах других авторов [10, 11]: Голова – 0,9-2,42мЗв, ОГК – 3,5-11,1 мЗв, ОБП+ОМТ – 9,4-22,5 мЗв, ОГК+ОБП+ОМТ – 11,6-33,6 мЗв. Однако в аналогичной работе, где приводятся результаты оценки доз при многофазных исследованиях [12], СЭД при ОГК с контрастным усилением составляла 8 мЗв (интервал 2–19 мЗв), при многофазных исследованиях ОБП+ОМТ – 31 мЗв (интервал 6–90 мЗв). По данным [13], СЭД для протокола 4-хфазного КТ-исследования печени была равна 35,5 мЗв. Таким образом, полученные в нашем исследовании величины средних эффективных доз сопоставимы с этими значениями.

Анализ показывает, что превышение СЭД при многофазных сканированиях по сравнению с однофазными пропорционально количеству фаз исследования, в то же время из расчета на одну фазу значение дозы при многофазных исследованиях для соответствующих областей в основном ниже, чем при аналогичных однофазных и соответствуют рекомендациям МАГАТЭ по референсным уровням дозы при КТ-исследованиях [14]. Подобный анализ целесообразно провести в других лечебных учреждениях для дальнейшего определения референсных диагностических уровней [15], а также для сотрудничества с международным проектом EuroSafe Project [16].

В связи с тем, что за исследуемый период времени доли однофазных КТ-исследований ОГК и много-



a)



Patient Name: Exam no: 11769 Accession Number: 25 Dec 2013 Patient ID: 2681 Discovery CT750 HD Exam Description: CHEST+ABDOMEN Dose Report

Series	Туре	Scan Range (mm)	CTDival (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom cm	
11	Scout					
2	Helical	\$32.250-1319.000	1.05	43.64	Body 32	
200	Axial	1185.250-1185.250	2.12	1.06	Body 32	
5	Helical	1172.500-1447.500	3.66	124.09	Body 32	
8	Helical	1172.500-1612.500	3.71	187.25	Body 32	
		Total	Exam DLP:	356.04		

фазных КТ-исследований ОБП+ОМТ превышал таковые для других областей и возрастали год от года, нами были проанализированы возможности выполненных в ЛРЦ низкодозовых методик КТ для этих областей сканирования.

При однофазной томографии легких (рис. 3) со сниженным до 80 кВ напряжением и автоматической модуляцией тока на трубке DLP составило 259,7 мГр×см, эффективная доза – 4,4 мЗв. Это значение ниже, чем средние значения для ОГК при стандартных условиях на 8,9 %. При этом качество изображений хорошее.

На рис. 4 представлены изображения, полученные при низкодозовой однофазной КТ ОГК, реконструированные с помощью алгоритма MBIR со сниженным напряжением до 80 кB и током на трубке 240 мА. Величина DLP = $94,2 \text{ мГр} \times \text{см}$, эффективная доза – 1,6 мЗв, что меньше, чем средние значения для ОГК при стандартных условиях в 2,6-3,7 раза. Четкость полученного изображения вполне достаточна для диагностических целей.

На рис. 5 отражены результаты многофазного КТ-исследования ОГК+ОБП+ОМТ при сниженном напряжении в нативную фазу (ОГК+ОБП) до 80 кВ и силе тока на трубке до 80 мА с применением алгоритма итерационной реконструкции, а в артериальную (ОБП) и венозную фазы (ОБП+ОМТ) – при напряжении до 100 кВ и постоянной силе тока на трубке 150 мА. При этих параметрах сканирования DLP составило 356,0 мГр×см, эффективная доза – 6,0 мЗв, что ниже, чем средние значения дозы при стандарт-



Рис. 5. Многофазное КТ-исследование ОГК+ОБП+ОМТ с применением низкодозовых методик: а – серия 2 – ОГК+ОБП при сниженном напряжении до 80 кВ, сила тока на трубке 80 мА, с применением алгоритма итерационной реконструкции; б – серия 5 – ОБП при сниженном напряжении до 100 кВ, сила тока на трубке 150 мА; в – серия 8 – ОБП+ОМТ – при сниженном напряжении до 100 кВ, сила тока на трубке 150 мА; г – дозовый отчет

ных условиях в 5,3-6,4 раза. Качество изображения позволяет отчетливо визуализировать аденомы над-почечников с обеих сторон.

При многофазном КТ-исследовании ОГК+ОБП+ ОМТ, результаты которого приведены на рис. 6 в нативную фазу (ОГК+ОБП), напряжение было снижено до 80 кВ, сила тока на трубке – до 120 мА и был применен алгоритм итерационной реконструкции. В артериальную (ОБП) и венозную фазы (ОБП+ОМТ) напряжение было снижено до 100 кВ при силе тока на трубке 150 мА. При использовании таких параметров протокола DLP составило 530,2 мГр×см, эффективная доза – 9,0 мЗв, что ниже, чем средние значения дозы при стандартных условиях в 3,6–4,3 раза. Качество изображения достаточное для достоверной диагностики простой кисты правой почки.

Таким образом, было показано, что возможно существенное снижение дозовой нагрузки на пациентов при нативной фазе сканирования с применением алгоритма итерационной реконструкции. Качество изображения в нативной фазе несколько снижается (повышается зернистость), но в целом исследование остается информативным за счет проведения дополнительных фаз (артериальной и венозной) КТ-сканирования.

В исследовании [17] при анализе результатов было высказано мнение о том, что достаточно часто врачи-диагносты используют избыточное количество фаз сканирования, повышая тем самым дозы облучения пациентов при исследовании ОБП и ОМТ до 36,5 мЗв (95 %-ный интервал 34,0–39,2 мЗв), при



б)

этом на необходимое количество фаз сканирования приходилось всего 18,4 мЗв (95 %, интервал 17,0-19,9 мЗв), а на избыточное количество фаз – 16,8 мЗв (95 %, интервал 15,5–18,3 мЗв).

Однако в рутинной практике врача-рентгенолога нередко бывают случаи, когда приходится проводить все фазы, так как первоначально невозможно выбрать определенные фазы сканирования, от которых можно отказаться, что приводит к многократному увеличению дозовой нагрузки на пациентов. В таких случаях многофазных исследований, а также при необходимости однофазных, но многократных (повторных) сканирований целесообразно, на наш взгляд, применение низкодозовых методик КТ-сканирования. Это позволит снизить получаемую пациентом дозу облучения и, тем самым, уменьшить риск потенциальных негативных эффектов малых доз ионизирующего излучения без ухудшения качества диагностики.

Выводы

a)

1. Частота однофазных и многофазных (с внутривенным контрастированием) КТ-исследований в 2012-2014 гг. в повседневной практике многопрофильного лечебного учреждения составила: 71,3-64,7 % и 28,7-35,3 % соответственно.

2. При однофазных КТ-сканированиях преобладали исследования органов грудной клетки (27,9-33,1 %), при многофазных – исследования органов брюшной полости (18,9-25,2 %).

в)

Рис. 6. Многофазное КТ-исследование ОГК+ОБП+ОМТ с применением низкодозовых методик: а – 0 серия 2 – ОГК+ОБП при сниженном напряжении до 80 кВ, сила тока на трубке 120 мА, с применением алгоритма итерационной реконструкции; б – серия 6 – ОБП при сниженном напряжении до 100 кВ, постоянная сила тока на трубке 150 мА; в – серия 9 – ОБП+ОМТ при сниженном напряжении до 100 кВ, постоянная сила тока на трубке 150 мА; г – дозовый отчет

3. Средние эффективные дозы при однофазных КТ-исследованиях в порядке возрастания составляли: головы 1,8-2,7 мЗв, ОГК 2,4-6,0 мЗв, ОБП+ОМТ 8,5-11,5 мЗв и ОГК+ОБП+ОМТ 12,1-12,5 мЗв.

4. Средние эффективные дозы за одно многофазное исследование возрастали пропорционально количеству фаз (нативная, артериальная, венозная и отсроченная) и составили для областей: головы 3,2-4,6 мЗв, ОГК 8,4–15,3 мЗв, ОБП+ОМТ 27,3–49,6 мЗв и ОГК+ОБП+ОМТ 31,8-38,6 мЗв.

5. Дозы облучения пациента при многофазных сканированиях исследованных областей из расчета на одну фазу имеют незначительные отличия при использовании разных КТ-аппаратов, в основном ниже, чем получаемые пациентами при соответствующих однофазных исследованиях, а также не превышают рекомендации МАГАТЭ по референсным уровням дозы при КТ-исследовании.

6. Для снижения суммарной дозы облучения пациентов при КТ-исследованиях целесообразно применять различные варианты низкодозовых методик, которые в нашей работе позволили без ухудшения качества исследования снизить дозы облучения пациентов при однофазных КТ-исследованиях органов грудной клетки в 2,6-3,7 раза, а при многофазных КТ-исследованиях органов грудной и брюшной полости – в 3,6-6,4 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Morin R.L., Seibert J.A., Boone J.M. Radiation dose and safety: informatics standards and tools // J. Amer. Coll. Radiol. 2014. Vol. 11. № 12. Pt. B., P.1286–1297.
- Иванов И.В. Критериальные показатели воздействия ионизирующих излучений в сублетальных и летальных дозах. Методическое пособие. – М.: РМАПО. 2005. 56 с.
- 3. Иванов И.В. Исходная реактивность организма и радиационные воздействия в малых дозах. Научно-методическое руководство. — М.: РМАПО. 2010. 272 с.
- 4. Smith-Bindman R. Environmental causes of breast cancer and radiation from medical imaging: findings from the Institute of Medicine report // Arch. Intern. Med. 2012. Vol. 172. № 13. P. 1023–1027.
- О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2011 году. Государственный доклад Роспотребнадзора — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2012.
- 6. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году. Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2015. С. 56–65.
- МУ 2.6.1.2944—11. 2.6.1. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований. Методические указания. 2011.
- European Guidelines on Quality Criteria for CT: EUR 16262. Brussels, Belgium: European Commission, 1999. Available at: http://w3.tue.nl/fileadmin/sbd/ Documenten/Leergang/BSM/European_Guidelines_ Quality_Criteria_Computed_Tomography_ Eur_16252.pdf.
- Hayton A., Wallace A., Marks P. et al. Australian diagnostic reference levels for multi detector computed tomography // Australas. Phys. Eng. Sci. Med. 2013. Vol. 36. № 1. P. 19–26.

- Van der Molen A.J., Schilham A., Stoop P. et al. National survey on radiation dose in CT in The Netherlands // Insights Imaging. 2013. Vol. 4. № 3. P. 383–390.
- 11. Tsapaki V., Aldrich J.E., Sharma R. et al. Dose reduction in CT while maintaining diagnostic confidence: diagnostic reference levels at routine head, chest, and abdominal CT-IAEA-coordinated research project // Radiology. 2006. Vol. 240. № 3. P. 828–834.
- 12. 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. 169. № 22. P. 2078–2086.
- 13. Luke F.E., Allen B.C., Moshiri S.T. et al. Multiphase multi-detector row computed tomography in the setting of chronic liver disease and orthotopic liver transplantation: can a series be eliminated in order to reduce radiation dose? // J. Comput. Assist. Tomogr. 2013. Vol. 37. № 3. P. 408–414.
- IAEA. Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation Safety Guide. IAEA safety Standartm Series No. RS-G-1.5. – Vienna, Austria: IAEA, 2002.
- 15. МР 2.6.1.0066—12. Применение референсных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения. Методические рекомендации. 2012.
- Goldschmidt F., De Gelder P., Beraha D. An approach to knowledge management for EUROSAFE projects. EUROSAFE 2005 Safety Improvements – Reasons, Strategies, Implementation. – Brussels. 2005. Sem. 2.
- Guite K.M., Hinshaw J.L., Ranallo F.N. et al. Ionizing radiation in abdominal CT: unindicated multiphase scans are an important source of medically unnecessary exposure // J. Amer. Coll Radiol. 2011. Vol. 11. P. 756– 761.

Поступила: 10.12.2015 Принята к публикации: 16.11.2016