

Сравнительный анализ доз облучения пациентов при компьютерной томографии в федеральном лечебном учреждении

Е.И. Маткевич^{1, 2}, врач-рентгенолог, преподаватель кафедры авиационной и космической медицины;

В.Е. Синицын¹, д. м. н., профессор, руководитель Центра лучевой диагностики ЛРЦ;

Е.А. Мершина¹, к. м. н., заведующая отделением функциональных методов лучевой диагностики Центра лучевой диагностики ЛРЦ

¹ ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Министерства здравоохранения РФ,
Иваньковское шоссе, 3, Москва, 125367, Российская Федерация;

² ГБОУ ВПО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова»
Министерства здравоохранения РФ,
ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, 119991, Российская Федерация

Comparative survey of radiation doses to patients in computed tomography in a federal hospital

E.I. Matkevich^{1,2}, Radiologist, Teacher of Chair Aviation and Space Medicine;

V.E. Sinitsyn¹, MD, PhD, DSc, Professor, Head of Center of Radiology of Federal Center of Treatment and Rehabilitation;

E.A. Meršina¹, MD, PhD, Head of Department of Functional Tomography of Center of Radiology of Federal Center of Treatment and Rehabilitation

¹ Federal Center of Treatment and Rehabilitation, Ministry of Health of the RF,
Ivan'kovskoe shosse, 3, Moscow, 125367, Russian Federation;

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

Цель исследования – проанализировать дозы облучения пациентов во время рутинных компьютерно-томографических (КТ) исследований головы, органов грудной клетки (ОГК), брюшной полости (ОБП) и малого таза (ОМТ) в многопрофильном лечебном учреждении и возможные направления их снижения.

Материал и методы. Была составлена ретроспективная рандомизированная выборка из электронного архива лечебно-профилактического учреждения «Система передачи и архивации изображений» (PACS) в количестве 1626 исследований (794 мужчины и 832 женщины в возрасте от 17 до 93 лет), проведенных на трех современных мультиспиральных томографах в течение одного года. Были выбраны КТ-исследования с изображениями хорошего качества, для них регистрировались доза на один срез (CTDI, мР) и произведение дозы на длину (DLP, мР*см). Эффективные дозы (мЗв) вычисляли согласно приведенным в МУ 2.6.1.2944-11 нормализованным коэффициентам для каждой из областей.

Результаты. Оценена структура КТ-исследований в многопрофильном лечебном учреждении за 2012–2014 гг. Средние дозы облучения (мЗв) пациентов ($M \pm m$) по трем КТ-сканерам в сформированной выборке составили соответственно без контраста / с контрастом: голова – $2,34 \pm 0,03 / 3,52 \pm 0,23$, ОГК – $4,83 \pm 0,11 / 11,02 \pm 0,82$, ОБП + ОМТ – $9,81 \pm 0,40 / 36,6 \pm 1,17$, ОГК + ОБП + ОМТ – $12,41 \pm 0,79 / 35,63 \pm 1,81$. Приведены примеры, иллюстрирующие возможность дальнейшего снижения лучевой нагрузки на пациентов с применением КТ с итеративной реконструкцией.

Заключение. Средние дозы облучения пациентов при КТ-исследованиях головы, ОГК, ОБП + ОМТ, ОГК + ОБП + ОМТ в многопрофильном лечебном учреждении сопоставимы с данными, приведенными в исследованиях зарубежных авторов. Подобный анализ целесообразно провести в других лечебных учреждениях для дальнейшего определения референтных

Objective – to analyze radiation exposure due to computed tomography (CT) of brain, chest, abdomen and pelvis in a large multi-field hospital and feasibility of low-dose CT-examinations.

Material and methods. Retrospective analysis was performed using data from electronic patient records and PACS from a single multi-field hospital. Data were obtained from 1626 records of patients (794 men, 832 women; age range 17–93) scanned with 3 MDCT during one year. CT-examinations of good quality were selected, volumetric CT dose index (CTDI) and dose-length product (DLP) were collected for each of them. The effective doses (ED) were calculated using the normalized coefficients according to Russian Guidance.

Results. Number and structure of CT-examinations for the years 2012–2014 in a multi-field hospital were analyzed. The mean effective dose ($M \pm m$) values with/without contrast medium (respectively), according to anatomical areas were as follows: brain – $2,34 \pm 0,03 / 3,52 \pm 0,23$, chest – $4,83 \pm 0,11 / 11,02 \pm 0,82$, abdomen-pelvis – $9,81 \pm 0,40 / 36,6 \pm 1,17$, chest-abdomen-pelvis – $12,41 \pm 0,79 / 35,63 \pm 1,81$ mSv.

Conclusion. Results of this study give an example of CT dose values and distribution in a multi-field hospital. They are comparable with reference levels published of other authors. This experience should be expanded for creation of CT national reference values and for co-operation with international initiatives (EUROSAFE projects).

Index terms: computed tomography; radiation safety; mean radiation dose of patients; diagnostic reference levels; low-dose CT-examinations.

For citation: Matkevich E.I., Sinitsyn V.E., Meršina E.A. Comparative survey of radiation doses to patients in computed tomography in a federal hospital. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii (Journal of Roentgenology and Radiology, Russian journal)*. 2016; 97 (1): 33–39 (in Russ.). DOI: 10.20862/0042-4676-2016-97-1-33-39

диагностических уровней, а также для сотрудничества с международным проектом EUROSAFE projects.

Ключевые слова: компьютерная томография; радиационная безопасность; средние дозы облучения пациентов; референтные диагностические уровни; снижение дозовой нагрузки.

Для цитирования: Маткевич Е.И., Синицын В.Е., Мершина Е.А. Сравнительный анализ доз облучения пациентов при компьютерной томографии в федеральном лечебном учреждении. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2016; 97 (1): 33–39. DOI: 10.20862/0042-4676-2016-97-1-33-39

Для корреспонденции: Маткевич Елена Ивановна, E-mail: pencil_red@mail.ru

For correspondence: Elena I. Matkevich; E-mail: pencil_red@mail.ru

Information about authors:

Matkevich E.I., <http://orcid.org/0000-0003-4337-0055>

Sinityn V.E., <http://orcid.org/0000-0002-5649-2193>

Merzhina E.A., <http://orcid.org/0000-0002-1266-4926>

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

Funding. The study had no sponsorship.

Received 23 November 2015

Accepted 14 December 2015

Введение

В настоящее время дозы облучения населения при проведении медицинских диагностических процедур вносят существенный вклад в общепопуляционное радиационное воздействие [1]. Среднее по России значение вклада в коллективную дозу за счет медицинского облучения составляет 15%, при этом наибольший вклад в коллективную дозу медицинского облучения пациентов внесли рентгенографические исследования и компьютерная томография (КТ) – 22% [2].

Анализ доз облучения пациентов при КТ в отдельных лечебно-диагностических учреждениях и сравнение полученных данных с национальными и международными референтными диагностическими уровнями важны для контроля доз от медицинского облучения. До настоящего времени в России не разработаны референтные диагностические уровни для КТ, что обуславливает актуальность проведения подобного исследования.

Цель нашей работы состояла в оценке доз облучения пациентов во время рутинных КТ-исследований головы, органов грудной клетки (ОГК), брюшной полости (ОБП) и малого таза (ОМТ) в многопрофильном лечебном учреждении и возможных направлений их снижения.

Материал и методы

На первом этапе с использованием радиологической информационной системы (RIS) было подсчитано общее количество

и изучена структура КТ-исследований за 2012–2014 гг. в многопрофильном лечебно-профилактическом учреждении (количество коек 450) – Центр лучевой диагностики ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России (ЛРЦ).

На втором этапе были проанализированы индивидуальные дозы облучения во время КТ-исследований в ЛРЦ и рассчитаны средние уровни эффективных доз для КТ-исследований головы, ОГК, ОБП + ОМТ, ОГК + ОБП + ОМТ. Для этого сформирована ретроспективная рандомизированная выборка из электронного архива «Система передачи и архивации изображений» (PACS), которая состояла из результатов обследований 1626 пациентов (794 мужчины и 832 женщины в возрасте от 17 до 93 лет). По выбранному анатомическим областям пациенты распределились следующим образом (из них без контраста / с контрастом): голова – 329 (297/32), ОГК – 596 (567/29), ОБП + ОМТ – 529 (165/364), ОГК + ОБП + ОМТ – 172 (38/134) человека.

Обследования проводились на трех компьютерных томографах (два из них 64-рядные, один 40-рядный) при стандартных протоколах сканирования. Для каждого пациента отбирались КТ-исследования с изображениями хорошего качества и регистрировались доза на один срез (CTDI, мГр) и произведение дозы на длину (DLP, мГр*см). Эффективные дозы вычислялись согласно нормализованным коэффициентам для каждой из об-

ластей, приведенным в МУ 2.6.1.2944-11 [3]. При статистической обработке с использованием программы Excel 2013 были рассчитаны средние значения и их стандартные ошибки для изученных показателей по каждому сканеру и в среднем по трем сканерам.

Проанализированы применяющиеся в практике ЛРЦ варианты снижения дозовой нагрузки на пациентов – снижение напряжения до 80–100 кВ и модуляция тока на трубке, а также применение алгоритмов итеративной реконструкции (ASIR, MBIR).

Результаты

Общее количество КТ-исследований в ЛРЦ составило: в 2012 г. – 11 697, в 2013 г. – 14 088 и в 2014 г. – 15 557, то есть к 2014 г. выросло по сравнению с 2012 г. на 33,0% (рис. 1).

Согласно данным, представленным на рисунке 2, суммарная доля анализируемых областей (голова, ОГК, ОБП) в 2012 и 2013 гг. несколько варьировала (73,8 и 72,1% соответственно) и к 2014 г. возросла до 81,7% от общего количества КТ-исследований. При этом структура КТ-исследований менялась незначительно: ОБП 31,3–32,8%, ОГК 29,6–35,2%, головы 12,9–13,7%, сердца 5,2–3,9%.

Данные о средних эффективных дозах облучения пациентов за одно КТ-исследование на каждом из трех томографов приведены на рисунке 3.

При однофазных исследованиях (без контрастного препарата) значения средних эффективных

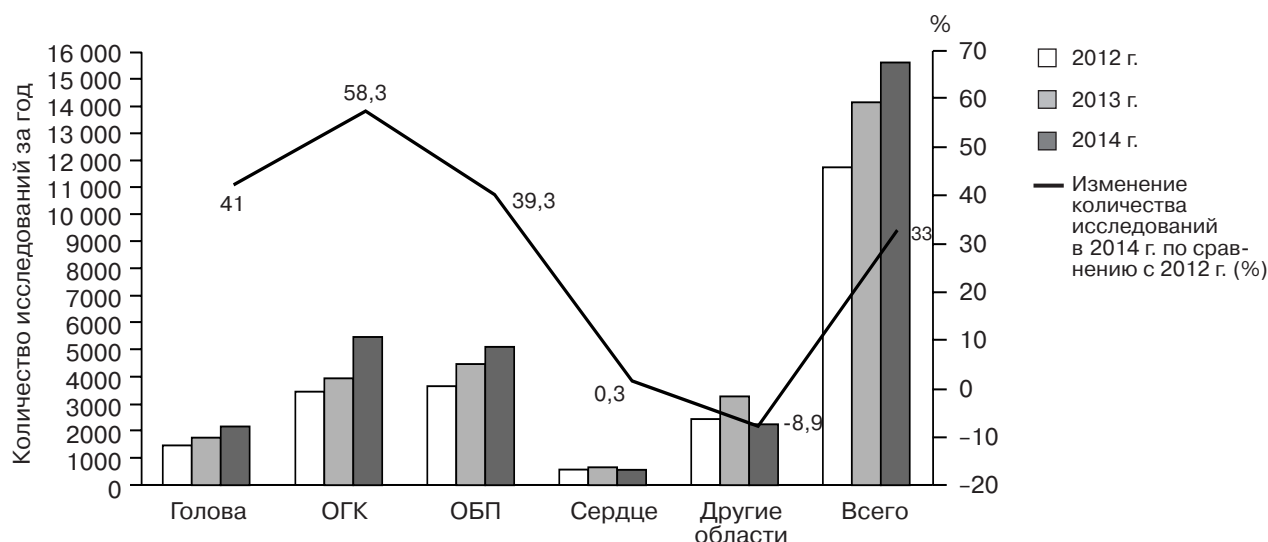


Рис. 1. Объем КТ-исследований головы, ОГК, ОБП, сердца и других областей (шеи, малого таза и конечностей), проведенных в ЛРЦ в 2012–2014 гг.

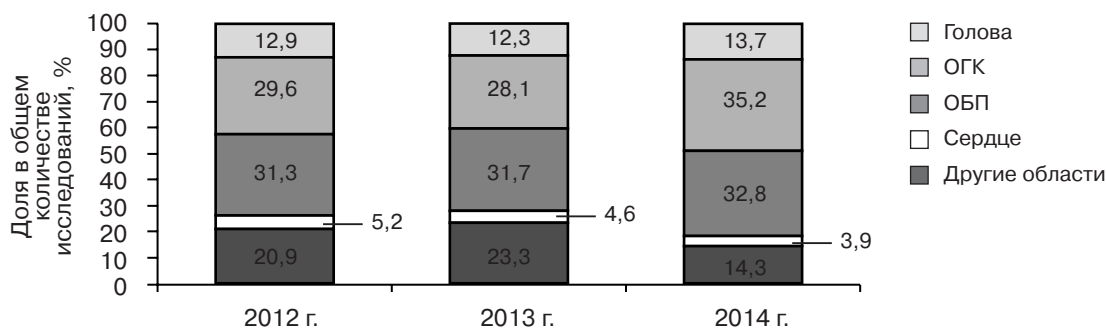


Рис. 2. Соотношение КТ-исследований головы, ОГК, ОБП, сердца и других областей (шеи, малого таза и конечностей) в общей структуре КТ-исследований, проведенных в ЛРЦ в 2012–2014 гг.

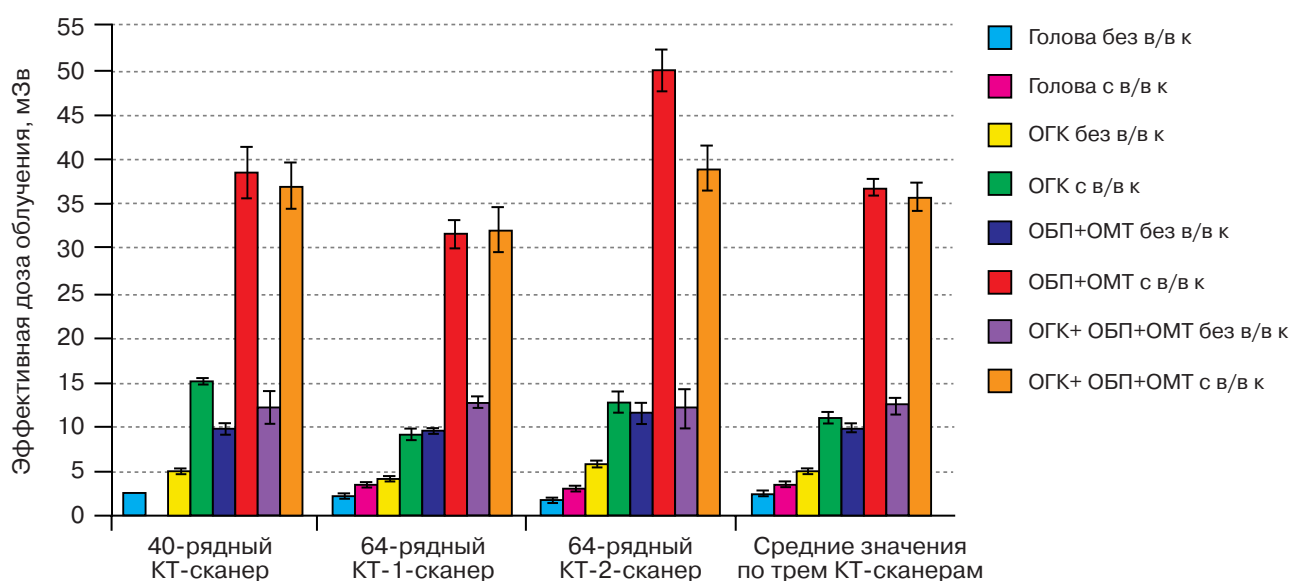


Рис. 3. Средние значения эффективной дозы облучения за одно КТ-исследование ($M \pm m$) без внутривенного введения контрастного препарата (без в/в к) и с внутривенным введением контрастного препарата (с в/в к)

Сравнение средних эффективных доз облучения (Е, мЗв) при КТ-исследованиях головы, ОГК, ОБП и ОМТ, выполненных в ЛРЦ, с данными других авторов*

Области КТ-сканирования	Референтные диагностические уровни			Средние дозы в исследованиях							
	European DRLs**	Australian National DRL	UK DRLs	NSRD 2010***	Canada	Greece	India	Poland	Thailand	UK	ЛРЦ
Голова	2,42	2,3	2,14	1,5				1,21	0,89	1,66	2,34
ОГК	11,05	7,65	9,86	4,6	5,0	9,18	6,04	7,6	4,2	3,45	4,83
ОБП	11,7			8,0	10,44	11,1	6,89	8,25	6,03	6,69	
ОБП+ОМТ	11,7+10,83	11,77	9,41								9,81
ОГК+ОБП+ОМТ	11,05+11,7+10,83	20,3	15,9	11,6****							12,41

* Коэффициент пересчета по МУ [3]: голова – 0,0023, ОГК – 0,017, ОБП – 0,015, ОМТ – 0,019.

** Даны значения по отдельным областям.

*** Коэффициент пересчета согласно источнику [9] по ICRP-103: голова – 0,0019, ОГК – 0,0145, ОБП – 0,0153, ОМТ – 0,0129.

**** Только для ОГК и ОБП.

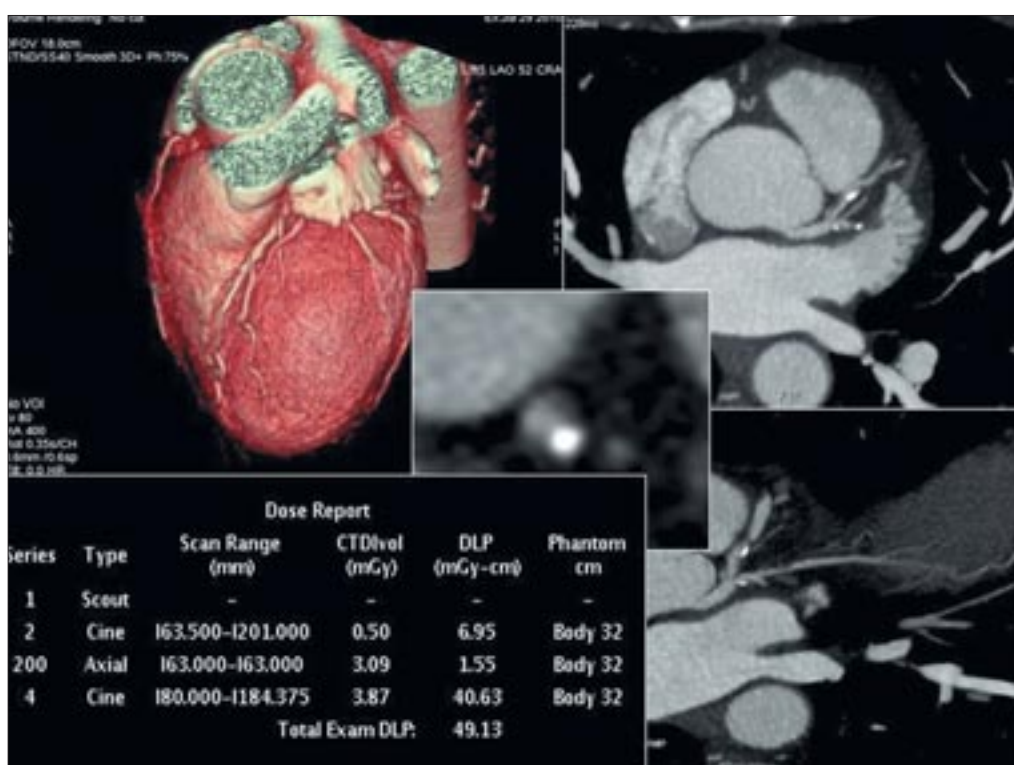


Рис. 4. Низкодозовая КТ-коронарография при сниженном до 80 кВ напряжении и автоматической модуляции тока на трубке

доз составили: для головного мозга и шеи – $2,34 \pm 0,03$ мЗв, ОГК – $4,83 \pm 0,11$ мЗв, ОБП + + ОМТ – $9,81 \pm 0,40$ мЗв, ОГК + + ОБП + ОМТ – $12,41 \pm 0,79$ мЗв. Эти значения при многофазных исследованиях (с контрастным препаратом) увеличивались: для головы – в 1,5 раза, для ОГК – в 2,3 раза, для ОБП + ОМТ – в 3,7 раза, для ОГК + ОБП + ОМТ – в 2,9 раза.

Сравнение собственных результатов при однофазных КТ-исследованиях с данными других авторов приведены в таблице.

Благодаря прогрессу в области КТ в настоящее время появились возможности снижения лучевой нагрузки на пациентов. Нами были проанализированы варианты выполнения низкодозовой КТ с оценкой их качества и уровней снижения доз для трех областей (сердце и коронарные артерии, грудная клетка и сонные артерии).

Так, в настоящее время одним из ведущих направлений является КТ сердца и коронарных артерий, при которой большое внимание уделяется снижению дозо-

вых нагрузок на пациента [4]. Пример низкодозовой КТ-коронарографии (напряжение на трубке 80 кВ, автоматическая модуляция тока) приведен на рисунке 4. Общее DLP составило 49,13 мГр*см, эффективная доза – 0,84 мЗв. Качество изображения высокое, отчетливо визуализируются смешанные атеросклеротические бляшки в передней нисходящей артерии, приводящие к сужению ее просвета до 50%.

При бесконтрастной томографии легких (рис. 5) со сниженным

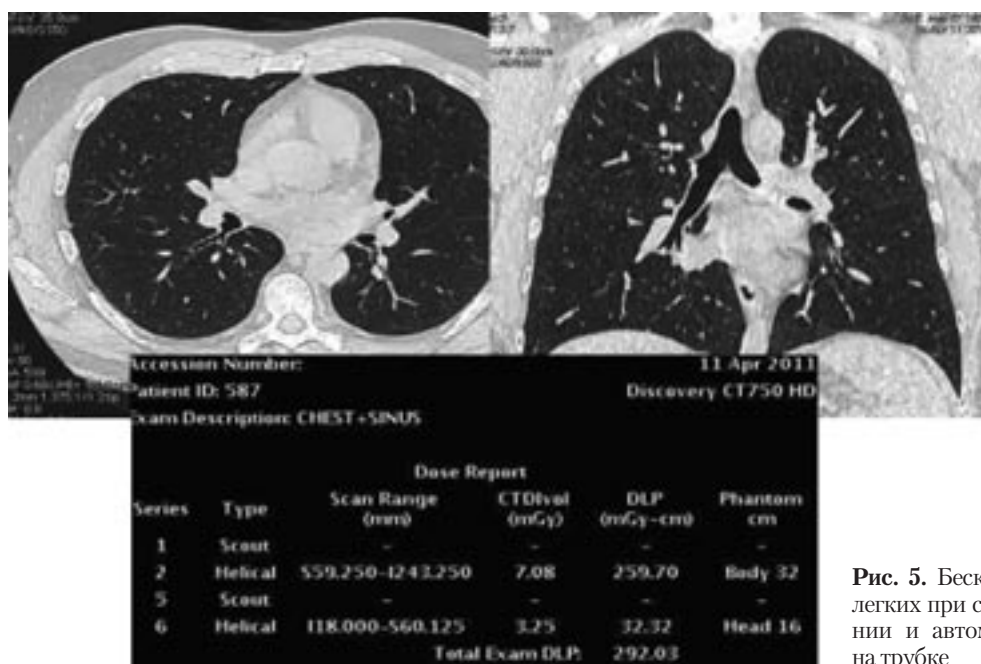


Рис. 5. Бесконтрастное КТ-исследование легких при сниженном до 80 кВ напряжении и автоматической модуляции тока на трубке

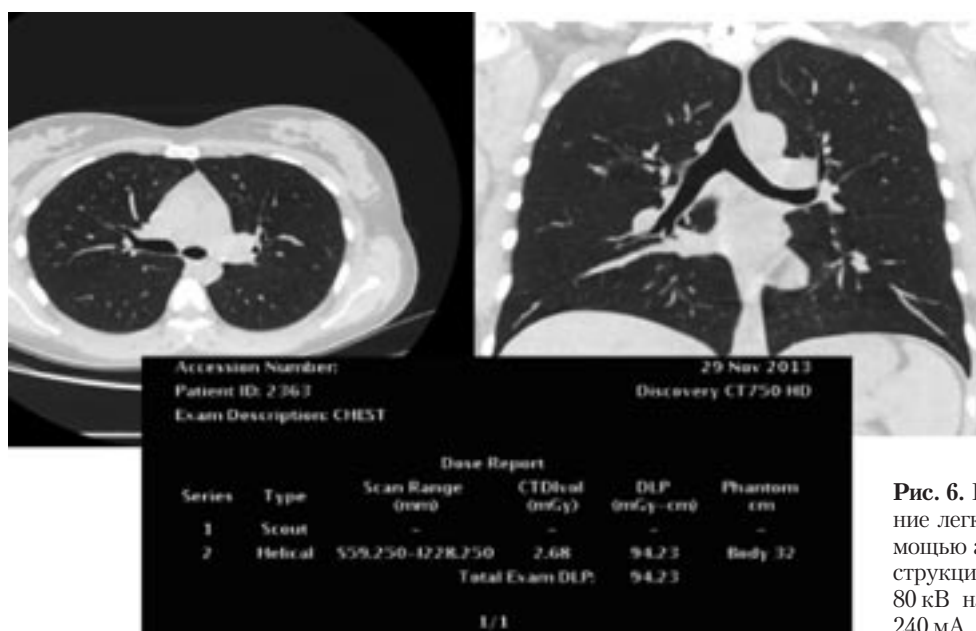


Рис. 6. Бесконтрастное КТ-исследование легких, реконструированное с помощью алгоритма итеративной реконструкции MBIR при сниженном до 80 кВ напряжении и токе на трубке 240 мА

до 80 кВ напряжением и автоматической модуляцией тока на трубке DLP составило 259,7 мГр*см, эффективная доза – 4,41 мЗв. Это значение ниже, чем средние значения для ОГК при стандартных условиях, на 8,9%. При этом качество изображений хорошее.

На рисунке 6 представлены изображения низкодозовой КТ ОГК, реконструированные с помощью алгоритма MBIR, со сниженным до 80 кВ напряжением и током на трубке 240 мА. Величина DLP составила 94,23 мГр*см,

эффективная доза – 1,6 мЗв, что меньше средних значений для ОГК при стандартных условиях в 3,0 раза. Четкость полученного изображения достаточна для диагностических целей.

Снижение напряжения на трубке до 80 кВ в ходе КТ-ангиографии сонных артерий с контрастным усилением (рис. 7) привело к снижению общего DLP за исследование до 210,2 мГр*см, эффективной дозы – до 1,14 мЗв. Качество изображений хорошее, отчетливо визуализируется бляш-

ка смешанной структуры в устье левой внутренней сонной артерии, приводящая к ее стенозу более 50%. Достигнутая дозовая нагрузка при этом ниже величины средних доз, установленных в исследовании А.В. Вишневской, Е.В. Кондратьева, в 1,8 раза [5].

Обсуждение

Можно заключить, что увеличение количества КТ-исследований в 2014 г. по отношению к 2012 г. в ЛРЦ соответствует общей тенденции по стране. Эти

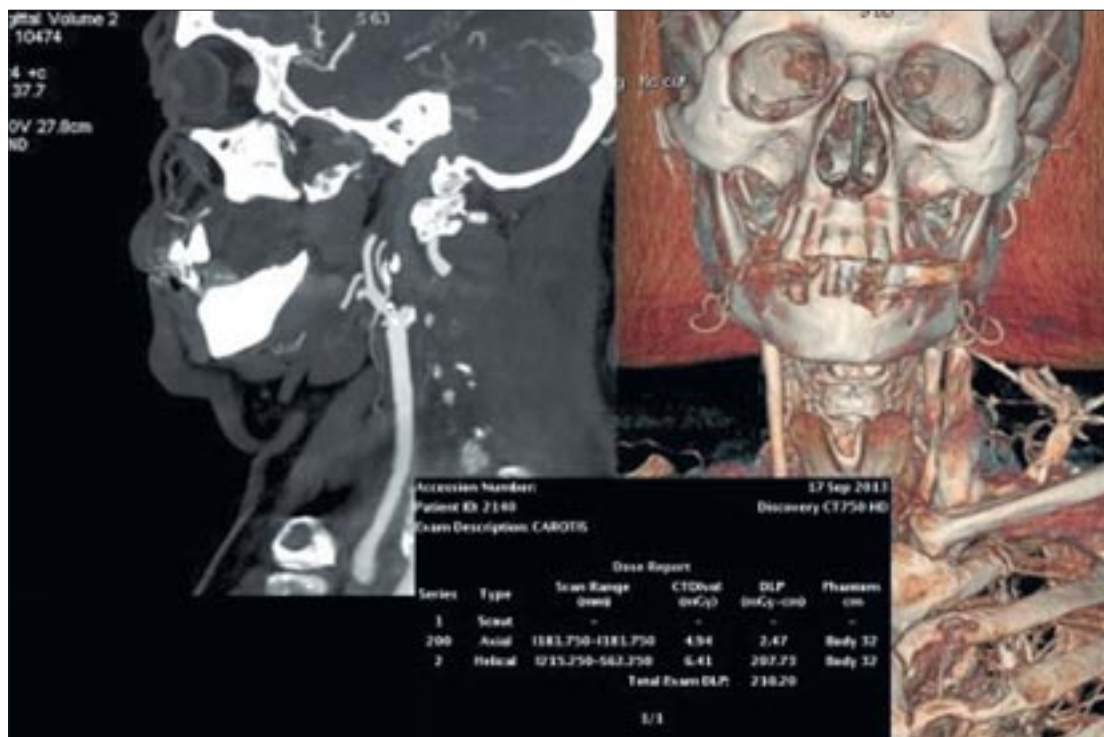


Рис. 7. КТ-ангиография сонных артерий с контрастным усилением при сниженном до 80 кВ напряжении и автоматической модуляции тока на трубке

данные подтверждают мировые тенденции увеличения общего количества КТ-исследований, что приводит к значительному возрастанию популяционной дозовой нагрузки и может способствовать росту потенциального риска развития онкологической и другой патологии [6].

Дозы для всех изученных в данном исследовании областей сопоставимы с дозами, указанными в European DRLs [7]. В основном они были ниже, чем референтные диагностические уровни, приводимые для Австралии и Великобритании [8]: для ОГК – в 1,6–2,0 раза, для ОГК + ОБП + ОМТ – в 1,3–1,6 раза.

По сравнению со средними эффективными дозами облучения в исследованиях авторов из других стран [9, 10] значения эффективных доз, полученные нами, для головы были выше в 1,3–2,6 раза. Это было связано с тем, что в нашей работе в эту анатомическую область входила и шея, что увеличивало протяженность зоны сканирования и, соответственно, DLP и дозу. Для

других областей КТ-сканирования (ОГК и ОБП+ОМТ) эффективные дозы значимо не различались. Также наши результаты не превышают нормы безопасности МАГАТЭ по медицинскому ионизирующему облучению [11].

Использованные в ЛРЦ в ходе данного исследования варианты малодозовых методик показали возможность снижения дозовой нагрузки на пациента до 3 раз по сравнению со стандартными протоколами КТ-исследований, без ухудшения качества исследования.

Выводы

1. Средние дозы облучения пациентов при КТ-исследованиях головы, ОГК, ОБП+ОМТ, ОГК+ОБП+ОМТ в многопрофильном лечебном учреждении сопоставимы с данными, приведенными в исследованиях зарубежных авторов.

2. Результаты, полученные в нашей работе, представляют собой первый опыт анализа дозовых уровней облучения пациентов при КТ-исследованиях в многопрофильном лечебном учрежде-

нии в России. Подобный анализ целесообразно провести в других лечебных учреждениях для дальнейшего определения референтных диагностических уровней [12], а также для сотрудничества с международным проектом EUROSAFE projects [13].

3. Продемонстрированные направления использования низкодозовой КТ, в том числе с применением алгоритмов итеративной реконструкции, свидетельствуют о возможности снижения дозовой нагрузки на пациентов при приемлемом качестве визуализации. Это позволит существенно снизить дозовые уровни облучения пациентов при КТ и уменьшить потенциальные негативные последствия воздействия ионизирующего излучения на пациентов при медицинских обследованиях.

Конфликт интересов

Конфликт интересов не заявляется.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Morin R.L., Seibert J.A., Boone J.M. Radiation dose and safety: Informatics standards and tools. *J. Am. Coll. Radiol.* 2014; 11 (12 Pt B): 1286–97.
2. Государственный доклад Роспотребнадзора «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2011 году». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2012: 268–9.
3. МУ 2.6.1.2944-11. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований. Методические указания (утв. Роспотребнадзором 19.07.2011). М.; 2011.
4. Синицын В.Е., Глазкова М.А., Мершина Е.А., Архипова И.М. Возможности снижения лучевой нагрузки при проведении МСКТ-коронарографии: использование адаптивной статистической итеративной реконструкции. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2012; 18 (3): 44–9.
5. Вишнева А.В., Кондратьев Е.В. Снижение эффективной дозы облучения при МСКТ-перфузии головного мозга с использованием итеративных реконструкций. *Медицинская визуализация*. 2013; 3: 41–51.
6. Smith-Bindman R. Environmental causes of breast cancer and radiation from medical imaging: findings from the Institute of Medicine report. *Arch. Intern. Med.* 2012; 172 (13): 1023–7.
7. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262. Brussels, Belgium: European Commission; 1999.
8. Hayton A., Wallace A., Marks P. et al. Australian diagnostic reference levels for multi detector computed tomography. *Australas Phys. Eng. Sci. Med.* 2013; 36 (1): 19–26.
9. Van der Molen A.J., Schilham A., Stoop P. et al. National survey on radiation dose in CT in the Netherlands. *Insights Imaging*. 2013; 4 (3): 383–90.
10. 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; 240 (3): 828–34.
11. International Atomic Energy Agency. Radiological protection for medical exposure to ionizing radiation safety guide. IAEA safety Standards Series No. RS-G-1.5, Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency; 2002.
12. МР 2.6.1.0066-12. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения: Методические рекомендации (утв. Роспотребнадзором 23.07.2012). М.; 2012.
13. Goldschmidt F., De Gelder P., Beraha D. An approach to knowledge management for EUROSAFE projects: EUROSAFE 2005 «Safety Improvements – Reasons, Strategies, Implementation». Brussels, November 7-8, 2005, Seminar 2. Available at http://www.eurosafe-forum.org/sites/default/files/pe_390_24_1_seminar2_10_2005.pdf.
5. Vishnevskaya A.V., Kondrat'ev E.V. The reduction of the effective dose due to MSCT-perfusion of the brain using iterative reconstruction. *Meditinskaya vizualizatsiya*. 2013; 3: 41–51 (in Russian).
6. Smith-Bindman R. Environmental causes of breast cancer and radiation from medical imaging: findings from the Institute of Medicine report. *Arch. Intern. Med.* 2012; 172 (13): 1023–7.
7. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262. Brussels, Belgium: European Commission; 1999.
8. Hayton A., Wallace A., Marks P. et al. Australian diagnostic reference levels for multi detector computed tomography. *Australas Phys. Eng. Sci. Med.* 2013; 36 (1): 19–26.
9. Van der Molen A.J., Schilham A., Stoop P. et al. National survey on radiation dose in CT in the Netherlands. *Insights Imaging*. 2013; 4 (3): 383–90.
10. 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; 240 (3): 828–34.
11. International Atomic Energy Agency. Radiological protection for medical exposure to ionizing radiation safety guide. IAEA safety Standards Series No. RS-G-1.5, Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency; 2002.
12. МР 2.6.1.0066-12. 2.6.1. Ionizing radiation, radiation safety. The application of reference diagnostic levels for optimization of patient's radiation protection during x-ray examinations of general purpose. Guidelines. Moscow; 2012 (in Russian).
13. Goldschmidt F., De Gelder P., Beraha D. An approach to knowledge management for EUROSAFE projects: EUROSAFE 2005 «Safety Improvements – Reasons, Strategies, Implementation». Brussels, November 7-8, 2005, Seminar 2. Available at http://www.eurosafe-forum.org/sites/default/files/pe_390_24_1_seminar2_10_2005.pdf.

References

1. Morin R.L., Seibert J.A., Boone J.M. Radiation dose and safety: Informatics standards and tools. *J. Am. Coll. Radiol.* 2014; 11 (12 Pt B): 1286–97.
2. Rospotrebnadzor State report «About the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2011». Moscow; 2012: 268–9 (in Russian).
3. МУ 2.6.1.2944-11. 2.6.1. Ionizing radiation, radiation safety. Monitoring of the effective doses of patient due to medical x-ray examinations. Guidelines. Moscow; 2011 (in Russian).
4. Sinitsyn V.E., Glazkova M.A., Meršina E.A., Arkhipova I.M. The possibility of reducing radiation exposure due to CT coronary angiography: the use of adaptive statistical iterative reconstruction. *Angiologiya i sosudistaya khirurgiya*. 2012; 18 (3): 44–9 (in Russian).
5. Vishnevskaya A.V., Kondrat'ev E.V. The reduction of the effective dose due to MSCT-perfusion of the brain using iterative reconstruction. *Meditinskaya vizualizatsiya*. 2013; 3: 41–51 (in Russian).
6. Smith-Bindman R. Environmental causes of breast cancer and radiation from medical imaging: findings from the Institute of Medicine report. *Arch. Intern. Med.* 2012; 172 (13): 1023–7.
7. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262. Brussels, Belgium: European Commission; 1999.
8. Hayton A., Wallace A., Marks P. et al. Australian diagnostic reference levels for multi detector computed tomography. *Australas Phys. Eng. Sci. Med.* 2013; 36 (1): 19–26.
9. Van der Molen A.J., Schilham A., Stoop P. et al. National survey on radiation dose in CT in the Netherlands. *Insights Imaging*. 2013; 4 (3): 383–90.
10. 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; 240 (3): 828–34.
11. International Atomic Energy Agency. Radiological protection for medical exposure to ionizing radiation safety guide. IAEA safety Standards Series No. RS-G-1.5, Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency; 2002.
12. МР 2.6.1.0066-12. 2.6.1. Ionizing radiation, radiation safety. The application of reference diagnostic levels for optimization of patient's radiation protection during x-ray examinations of general purpose. Guidelines. Moscow; 2012 (in Russian).
13. Goldschmidt F., De Gelder P., Beraha D. An approach to knowledge management for EUROSAFE projects: EUROSAFE 2005 «Safety Improvements – Reasons, Strategies, Implementation». Brussels, November 7-8, 2005, Seminar 2. Available at http://www.eurosafe-forum.org/sites/default/files/pe_390_24_1_seminar2_10_2005.pdf.

Поступила 23.11.2015

Принята к печати 14.12.2015