DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-1-47-59 УДК: 616-073.756.8:616.24

Результаты клинической апробации низкодозовых протоколов проведения цифровой линейной томографии органов грудной клетки

И.Г. Камышанская ^{1,2}, В.М. Черемисин ^{1,2}, А.В. Водоватов ³, А.Н. Борискина ¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия ² Городская Мариинская больница, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия

человека, Санкт-Петербург, Россия

Высокий уровень заболеваемости туберкулезом в Российской Федерации обусловливает широкое применение рентгеновских методов для его диагностики и оценки эффективности проводимого лечения. Традиционно для диагностики туберкулеза используются цифровая рентгенография и компьютерная томография. Оба данных метода обладают своими недостатками: низкая специфичность у рентгенографии; высокая стоимость, значительные дозы облучения пациентов и ограниченная доступность у компьютерной томографии. В качестве дополнительного метода для оценки эффективности лечения туберкулеза была предложена линейная томография, выполняемая на цифровых рентгеновских аппаратах. Целью данного исследования являлась оценка возможности использования цифровой линейной томографии для контроля эффективности лечения туберкулеза в рамках специализированного противотуберкулезного учреждения. Исследование было разделено на два этапа. В рамках первого этапа была выполнена оценка диагностического качества цифровых линейных томограмм, выполненных на перспективных низкодозовых протоколах. Данный этап был выполнен с использованием антропоморфного фантома грудной клетки и разработанных имитаторов легочных очагов. Качество изображения оценивалось экспертами по специально разработанным критериям. Было показано, что на всех низкодозовых протоколах обеспечивается как минимум удовлетворительное качество изображения, что позволило использовать низкодозовые протоколы для клинической апробации на базе противотуберкулезного диспансера. На втором этапе исследования были оценены структура исследований, дозы облучения пациентов и качество линейных томограмм в рамках проспективного когортного исследования. Были отобраны две выборки пациентов, однородные по половозрастному составу, антропометрическим характеристикам и структуре диагнозов. Одна из выборок была диагностирована с использованием стандартных протоколов линейной томографии; вторая — с использованием предложенных никодозовых протоколов. Для каждого пациента были определены дозы за одну линейную томограмму и за все исследование (измерено произведение дозы на площадь, рассчитана эффективная доза); выполнена экспертная оценка качества томограмм. Результаты второго этапа исследования показали, что переход на низкодозовые протоколы позволяет снизить эффективные дозы пациентов за все исследование вплоть до 6-8 раз (0,56-5,9 мЗв на стандартных протоколах; 0,2-1,15 мЗв на низкодозовых протоколах), что главным образом обусловливается использованием низких значений экспозиции (126 мАс и 11 мАс соответственно). При этом достоверно снижается диагностическое качество полученных томограмм (с хорошего/отличного до удовлетворительного), что не сказывается на возможности их описания и выявлении патологий. Результаты исследования показали, что цифровую линейную томографию можно применять для оценки динамики патологического процесса в легких в том случае, когда локализация патологии уже известна. Представленные низкодозовые протоколы внедрены в практику противотуберкулезного диспансера. В настоящее время рассматривается возможность проведения более крупномасштабного исследования на базе нескольких медицинских организаций, в том числе многопрофильных стационаров.

Ключевые слова: цифровая линейная томография, туберкулез, эффективная доза, оптимизация, оценка качества диагностического изображения.

Водоватов Александр Валерьевич

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: vodovatoff@gmail.com

Введение

Туберкулез (ТБ) занимает девятое место среди ведущих причин смертности в мире и находится на первом месте среди причин смерти от какого-либо одного возбудителя инфекции, опережая ВИЧ, так как пациенты с ВИЧ-инфекцией чаще погибают именно от ТБ [1]. Около трети населения Земли инфицировано микобактериями туберкулеза (МБТ). По данным Всемирной организации здравоохранения, в мире ежегодно заболевают ТБ 8-10 млн человек (около 140 на 100 тыс. населения), из них 4-5 млн открытыми формами [2-6]. В России на 2015 г. заболеваемость ТБ составила 115 тыс. человек (80 на 100 тыс. населения), при этом по распространённости ТБ с множественной лекарственной устойчивостью и ТБ с устойчивостью к рифампицину среди новых случаев заболевания наша страна вошла в тройку лидеров, наряду с Китаем и Индией. 93% новых случаев и рецидивов – ТБ с легочной локализацией [3-5].

Проблематика диагностики и лечения ТБ усугубляется постоянной мутацией МБТ и распространением штаммов, устойчивых к противотуберкулезной терапии [1–5]. Начальные формы туберкулеза протекают бессимптомно, что приводит к необходимости активного скрининга населения и выявления туберкулеза не только в специализированных диспансерах, но и в других медицинских организациях [1, 2].

В соответствии с Федеральными клиническими рекомендациями по диагностике и лечению туберкулеза органов дыхания¹ от 2014 г. процесс диагностики туберкулеза у взрослых включает несколько этапов:

 Отбор лиц с различными заболеваниями легких среди больных, обратившихся за медицинской помощью в учреждения первичной медико-санитарной помощи. К данной категории относятся лица с рентгенологическими изменениями, подозрительными на туберкулез, при прохождении ежегодной флюорографии (ФГ) и лица с жалобами, подозрительными на туберкулез (кашель более 3 недель, кровохарканье, субфебрильная температура более 2 недель).

2. Дообследование: З-кратное исследование мокроты на наличие кислотоустойчивых микобактерий и обзорная рентгенография органов грудной клетки.

 Обследование в учреждениях противотуберкулезной службы.

Лечение туберкулеза длится от 6 месяцев (I режим противотуберкулёзной химиотерапии) до 18 месяцев (IV, V режимы). Во время интенсивной фазы лечения необходимо выполнять рентгенографию ОГК 1 раз в 2 месяца, в фазе продолжения лечения – каждые 3 месяца². Во время периодических рентгенографий оценивают ответ пациента на лечение: увеличение зон инфильтрации, размеров полостей, появление полостей распада с новыми очагами отсева, гидроторакса говорят о негативной динамике процесса в легких и необходимости смены режима терапии.

В настоящее время для диагностики патологий респираторной системы, в том числе туберкулеза, применяется аналоговая и цифровая рентгенография (РГ) и компьютерная томография (КТ). РГ является наиболее распространенным методом исследования за счет низкой стоимости рентгеновских снимков, особенно цифровых, и широкой доступности. При этом дозы облучения пациентов находятся в диапазоне 0,05–0,5 мЗв за одно исследование [7–9]. Однако ЦРГ обладает недостаточной диагностической эффективностью для поиска мелких очаговых образований либо небольших полостей деструкций в легких [10–13].

КТ позволяет уточнить структуру и распространенность патологического процесса в паренхиме легких. Высокая чувствительность КТ к градациям плотности позволяет отчетливо визуализировать практически все анатомические структуры, а также дифференцировать патологические очаги по плотности, определять наличие включений (жировых, полостей распада, наличие жидкости) [8, 14, 15]. Однако КТ-исследования ассоциированы со значительными дозами облучения пациентов (5–20 мЗв за исследование) [16]. Доступность КТ также может быть ограничена, особенно в регионах и/или небольших медицинских организациях.

В качестве альтернативного метода для диагностики патологий респираторной системы может быть использована линейная томография. Линейная томография – метод рентгенологического исследования, с помощью которого можно производить снимок слоя, лежащего на определённой глубине исследуемого объекта [17, 18]. Её выполняют как дополнительный, уточняющий метод лучевой диагностики для более детального исследования легочных полей в тех случаях, когда нет возможности провести компьютерную томографию (КТ) [17, 18]. Линейная томография входит в перечень обязательного диагностического минимума при диагностике туберкулеза легких³.

Достоинством линейной томографии в сравнении с традиционной рентгенографией ОГК является нивелирование эффекта суммации получаемого изображения.

Federal clinical recommendations on the diagnostics and treatment of the tuberculosis of the respiratory organs. 2014. Available from: http://roftb.ru/netcat_files/doks2015/rec3.pdf (Accessed:19.02.2020)]

¹ Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению туберкулеза органов дыхания, 2014 г.: http://roftb.ru/ netcat_files/doks2015/rec3.pdf (Дата обращения: 19.02.2020)

[[]Federal clinical recommendations on the diagnostics and treatment of the tuberculosis of the respiratory organs. 2014. Available from: http://roftb.ru/netcat_files/doks2015/rec3.pdf (Accessed:19.02.2020)]

² Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению туберкулеза органов дыхания с множественной и широкой лекарственной устойчивостью возбудителя, издание 3-е.: http://roftb.ru/netcat_files/doks2015/rec2018.pdf (Дата обращения: 19.02.2020)

[[]Federal clinical recommendations on the diagnostics and treatment of the multi- and extensively drug-resistant tuberculosis of the respiratory organs. 3d edition. Available from: http://roftb.ru/netcat_files/doks2015/rec2018.pdf (Accessed: 19.02.2020)]

³ Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению туберкулеза органов дыхания, 2014 г.: http://roftb.ru/ netcat_files/doks2015/rec3.pdf (Дата обращения:19.02.2020)

Это особенно важно при исследовании органов грудной полости в связи с достаточно трудной скиалогической картиной данной анатомической области. Основным недостатком ЛТ являются низкие пространственное разрешение и контраст изображений за счет артефактов, возникающих при движении рентгеновской трубки [17, 18]. Однако внедрение современных цифровых приемников изображения (плоские панели непрямого преобразования) и современных методов цифровой обработки рентгеновских изображений позволяет существенно повысить диагностическое качество изображения. К сожалению, линейная томография, выполняемая на цифровом рентгеновском оборудовании (ЦЛТ), мало описана в современных отечественных и зарубежных публикациях.

ЦЛТ является широко доступным методом, так как большинство современных отечественных цифровых рентгеновских аппаратов снабжены приставкой для линейной томографии. Целесообразно оценить возможности применения ЦЛТ ОГК для оценки динамики лечения туберкулеза. Данный метод ассоциирован с существенно меньшими дозами облучения пациентов по сравнению с КТ и более высоким качеством изображения по сравнению с рентгенографией. При этом необходимо использовать протоколы проведения ЦЛТ, оптимальные по соотношению доза облучения пациента – диагностическое качество изображения. Цель исследования – оценка возможности использования цифровой линейной томографии для контроля эффективности лечения туберкулеза. Для этого были разработаны низкодозовые протоколы проведения ЦЛТ органов грудной клетки, выполнена оценка их диагностического качества изображения и проведено проспективное исследование на базе туберкулезного диспансера.

Материалы и методы

Исследование проводилось на базе рентгеновских отделений Городской Мариинской больницы и Городского противотуберкулезного диспансера. В Мариинской больнице была выполнена экспериментальная часть работы с использованием антропоморфного фантома грудной клетки. На базе противотуберкулезного диспансера была выполнена клиническая часть работы – проспективный этап исследования по апробации предложенных оптимизированных протоколов ЦЛТ.

В обеих медицинских организациях ЦЛТ проводилась на цифровых рентгенодиагностических аппаратах (ЗАО «НИПК «Электрон», Россия). Основные технические характеристики данных аппаратов представлены в таблице 1.

Для оценки качества изображения были использованы следующие экспериментальные низкодозовые протоколы (табл. 2), разработанные авторами ранее [19, 20].

Таблица 1

Т	ехнические характеристики рентгеновских ап	паратов
		[Table 1
	lechnical data on the X-ray units]	
Характеристика оборудования	Медицинская о [Hospi	рганизация tal]
[Equipment data]	Мариинская больница [Mariinsky hospital]	Противотуберкулезный диспансер [Antitubercular early treatment center]
Марка аппарата [Type of X-ray unit]	«АРЦ – Эксперт» (АРЦ) ["ARC-Expert" (ARC)]	«КРД – Эксперт» (КРД) ["KRD-Expert" (KRD)]
Тип приемника изображения [Type of detector]	Цифровой, плоская панель непрямого преоб- разования (Csl + аморфный Si) [Digital, indirect flat-panel (Csl + amophous Si)]	Цифровой, ПЗС-матрица [Digital, CCD-matrix]
Характеристики растра [Grid characteristics]	90 линий на см; R 12:1; F=100 см [90 lines/cm; R 12:1; F=100 cm]	70 линий на см; R 6:1; F = 100 см [70 lines/cm; R 6:1; F = 100 cm]
Наличие дозиметра [Type of dosimeter]	ДРК-1м (ООО «НПП «ДОЗА», Россия) [DRK-1m (JSC "NPP "DOZA", Russia]	ДРК-1 (ООО «НПП «ДОЗА», Россия) [DRK-1 (JSC "NPP "DOZA", Russia]
Расстояние источник – приемник [Focal-image distance]	100 c [100 c	M m]
Проекция облучения [Projection]	Передне-задняя (ПЗ) [Anterior-posterior (АР)]	Передне-задняя (ПЗ) [Anterior-posterior (AP)]
Толщина и материал использован- ного фильтра [Thickness and material of the filter]	5 мм алюі [5 mm	миния Al]
Размер поля облучения на приемнике [Irradiation field size on the detector]	40×40 [40×40	см cm]

		• •		• •		[Table 2
		Optimized dig	ital linear tomography p	rotocols]		L
Телосложение пациента [Types of constitution]	Анодное напряжение, кВ [Tube volt- age, kV]	Сила тока, мА [Tube current, mA]	Максимальное время экспозиции, мс [Maximum exposure time, ms]	Угол отклонения трубки, ° [Tomographic angle, °]	Время движения трубки, с [Tube move- ment time, s]	Эффективная доза, мЗв [Effective dose, mSv]
Нормостеник	60	10	4000	15°	0,8	0,03
ИМТ 18,5–25 кг/м² [Normosthenic BMI	_	_	-	25°	1,3	0,05
18.5–25 kg/m ²]	_	_	-	40°	2	0,08
Гиперстеник ИМТ >	65	10	4000	15°	0,8	0,04
25 кг/м² [Hypersthenic	-	-	-	25°	1,3	0,08
$BMI > 25 \text{ kg/m}^2$]	-	-	-	40°	2	0,095
Гипостеник	55	10	4000	15°	0,8	0,03
ИМТ < 18,5 кг/м² [Hyposthenic	-	-	-	25°	1,3	0,04
$BMI < 18.5 \text{ kg/m}^2$]	_	_	_	40°	2	0,05

Оптимизированные протоколы цифровой линейной томографии

Таблица 2

pes of constitution]	[Tube volt- age, kV]	mA]	time, ms]	[Tomographic angle, °]	[Tube move- ment time, s]	[Effective dose, mSv
Нормостеник	60	10	4000	15°	0,8	0,03
MT 18,5–25 кг/м² Normosthenic BMI	-	-	-	25°	1,3	0,05
18.5–25 kg/m ²]	-	-	-	40°	2	0,08
перстеник ИМТ >	65	10	4000	15°	0,8	0,04
25 кг/м² [Hypersthenic	-	-	-	25°	1,3	0,08
$BMI > 25 \text{ kg/m}^2$]	-	-	-	40°	2	0,095
Гипостеник	55	10	4000	15°	0,8	0,03
ИМТ < 18,5 кг/м ² [Hyposthenic	-	-	-	25°	1,3	0,04
$3MI < 18.5 \text{ kg/m}^2$	-	-	-	40°	2	0,05

Оценка влияния параметров проведения ЦЛТ ОГК на качество изображения проводили с использованием антропоморфного фантома грудной клетки Kyoto (Kyoto Kagaku Co, Япония): Multipurpose Chest Phantom N1 "Lungman". Данный фантом имитирует бронхиальное дерево, легочную паренхиму и органы средостения. Плотность костных структур и мягких тканей фантома соответствуют органам средостения. В ходе эксперимента антропоморфный фантом располагался

в стандартном для пациента положении на деке стола (рис. 1).

Оценка визуализации патологических изменений в легочной паренхиме на различных режимах исследования ЦЛТ проводилась с использованием специально разработанных имитаторов очагов различной плотности (имитаторов) [21]. Характеристики имитаторов представлены в таблице 3.





б

Рис. 1. Проведение ЦЛТ: а) расположение фантома в ходе проведения ЦЛТ; б) пример цифровой линейной томограммы антропоморфного фантома

[Fig. 1. a) positioning of the phantom on the table for the digital linear tomography; b) an example of the digital linear tomography of the anthropomorphic phantom]

Таблица 3 [Table 3

Характеристики имитаторов очаговых образований

	Characteristi	cs of the imitators of the nodu	ules]		
Характеристика очага [Type of nodule]	Плотность*, ед. Хаунсфилда [Density*, Hounsfield units]	Материал [Material]	Размер, мм [Nodule size, mm]	Контур [Contour]	№ п/п
Солидный [Solid]	+50 +90	Силикон [Silicone]	4, 10	Ровный, четкий [smooth, sharp]	2, 5
Полусолидный [Semi-solid]	-650800	Бинт, пропитанный клеем ПВА [Compressed medical ban- dage stained with PVA glue]	7, 10	Неровный, нечеткий [Rough, unsharp]	1, 8
«Матовое стекло» ["Ground-glass" opacity]	-600800	Медицинский бинт [Compressed medical bandage]	5, 9	Неровный, нечеткий [Rough, unsharp]	3,6
Обызвествленный [Calcinated]	+250 +400	Мел [Chalk]	5, 6	Неровный, четкий [Rough, sharp]	4,7

* Оценка плотности проводилась для очагов, уже размещенных внутри легочной паренхимы антропоморфного фантома грудной клетки [Assessment of the density was performed for the imitators positioned inside the lung parenchyma of the anthropomorphic chest phantom].

На рисунке 2 представлен внешний вид очагов и их рентгеновское изображение, полученное при следующих параметрах исследования: напряжение – 70 кВ, экспозиция – 19 мАс.



Рис. 2. Внешний вид и рентгеновское изображение имитаторов очагов

[Fig. 2. Layout and conventional X-ray image of the imitators of the nodules]

В ходе эксперимента 8 имитаторов различной плотности были размещены в среднем отделе грудной клетки антропоморфного фантома на расстоянии 10 ± 2 см от задней стенки фантома таким образом, что каждый вид очага аналогичной плотности был размещен в правом и левом легочном поле. На рисунке 3 представлен пример линейной томограммы фантома с отмеченными очаговыми образованиями в легочной паренхиме.

Проспективный сбор данных осуществлялся с февраля по апрель 2019 г. на базе рентгеновского кабинета противотуберкулезного диспансера (см. табл. 1). Всем пациентам с установленным и подтвержденным диагно-



Рис. 3. Расположение имитаторов очагов в фантоме: 1, 8– полусолидные очаги, 2, 5 – солидные очаги, 3, 6 – очаги по типу «матового стекла», 4, 7 – кальцинированные очаги [Fig. 3. Localization of the imitators in the phantom. № 1, 8– semi-solid nodules, № 2, 5 – solid nodules, № 3, 6 – "ground glass" nodules, № 4, 7 – calcinated nodules]

зом «туберкулез» выполнялась ЦЛТ с периодичностью 1 раз в 2 месяца для оценки динамики заболевания.

Всего в выборку вошло 74 пациента в возрасте от 22 до 84 лет (средний возраст 45 ± 13 лет), которые были разделены на 2 группы:

– первая группа – 44 пациента, которым была выполнена ЦЛТ на стандартных (табл. 4) протоколах исследования (4 гипостеника, 12 гиперстеников, 28 нормостеников);

Антропометрические характеристики для выборок пациентов представлены в таблице 5.

– вторая группа – 30 человек, которым была выполнена ЦЛТ на предложенных низкодозовых протоколах (4 гипостеника, 8 гиперстеников, 18 нормостеников). Для каждого пациента фиксировались: структура исследования (число выполненных рентгеновских снимков и ЦЛТ), параметры проведения рентгеногра-Таблица 4

Параметры проведения исследования для двух выборок пациентов. Данные представлены в формате: среднее ± стандартное квадратичное отклонение, диапазон выборки
[Table 4]

Imaging protocols and patient doses f	or both patient samples. Data is prese	ented as: mean ± SD. min-max1

Параметр	Стандартные режимы ЦЛТ [Standard protocols of digital linear tomography]			Оптимизированные режимы ЦЛТ [Optimized protocols of digital linear tomography]		
[Parameter]	Мужчины [male]	Женщины [female]	Мужчины [male]	Женщины [female]	Мужчины [male]	Женщины [female]
Напряжение, кВ [Tube voltage, kV]	56,9±2 (50–63)	56,9±2,6 (51–62)	56,9±2 (50–63)	56,5±3,9 (50–60)	58,7±4 (54–65)	57,2±3,9 (50–65)
Экспозиция, мАс [Tube current-time product, mAs]	114,8±27,7 (49–127)	118±24,3 (49–127)	115,5±26,7 (49–127)	13,9±11,6 (7–48)	10,2±2,9 (7–17)	12,7±9,8 (7–48)
Время движения трубки, с [Tube movement time, s]	1,8±0,4 (0,8–3)	1,8±0,4 (0,8–2)	1±0,4 (0,8–3)	1,2±0,4 (0,8–1,2)	1,2±0,4 (0,8–1,2)	1,2±0,4 (0,8–1,2)
Количество ЛТ [Number of linear tomograms]	6±2 (1-9)	7±2 (3–9)	6±2 (1-9)	7±2 (6–11)	6±1 (6-8)	7±1 (6–11)
ПДП за 1 ЦЛТ, cГр×см² [DAP per 1 tomogram, cGy×cm²]	231±88 (134–483)	217±83 (103–365)	228±86 (103-483)	33±19 (20–106)	33±16 (18–75)	33±18 (18–107)
ПДП за исследование, cГp×см² [DAP per examination, cGy×cm²]	1275±452 (339–2190)	1627±918 (310–3285)	1355±596 (310–3285)	219±108 (120–639)	211,9±119 (108–525)	217±110 (108-639)
ЭД за 1 ЦЛТ, мЗв [Effective dose per 1 tomo- gram, mSv]	0,4±0,2 (0,2–0,9)	0,39±0,15 (0,19–0,66)	0,4±0,15 (0,18–0,87)	0,05±0,03 (0,03-0,2)	0,06±0,03 (0,03-0,14)	0,05±0,03 (0,03-0,19)
ЭД за исследование, мЗв [Effective dose per examina- tion, mSv]	2,3±0,8 (0,6-3,9)	2,9±1,6 (0,5-5,9)	2,4±1 (0,56–5,9)	0,4±0,2 (0,2-1,2)	0,4±0,2 (0,2-0,9)	0,4±0,2 (0,2–1,15)

Антропометрические характеристики для выборки пациентов. Данные представлены в формате: среднее \pm стандартное квадратичное отклонение, диапазон выборки

[Table 5

Таблица 5

Anthropometric characteristics of the patient samples. Data is presented as: mean ± SD, min-max]

Параметр	Стан,	дартные режимы	ЦЛТ	Оптимизированные режимы ЦЛТ		
	[Standard proto	cols of digital line	ar tomography]	[Optimized protocols of digital linear tomography]		
[Parameter]	Мужчины	Женщины	Вся выборка	Мужчины	Женщины	Вся выборка
	[male]	[female]	[total sample]	[male]	[female]	[total sample]
Количество пациентов, чел. [Number of patients]	34 (77%)	10 (23%)	44 (59%)	21 (68%)	10 (32%)	30 (41%)
Возраст, лет	41,6±9,6	50,4±15,3	44±11	47,9±11	47±21	48±15
[Age, years]	(22–62)	(32–82)	(22–82)	(35–72)	(27–84)	(27–84)
Рост, см	173±4	158±2	169±8	173±5	163±7	170±7
[Height, cm]	(170–178)	(156–160)	(156–178)	(162–182)	(150–170)	(150–182)
Macca тела, кг	73±13	78±14,5	72±11	63±11	70±16,6	65±13
[Body mass, kg]	(52–85)	(64–93)	(52–85)	(40-88)	(49–95)	(40–95)
ИМТ, кг/м²	24±4,5	31,2±5	25,5±4,5	21±3,6	26,4±6,9	22,8±5,5
[BMI, kg/m²]	(17,3–27,7)	(26,3–36,3)	(17,4–30,8)	(13,8–27,7)	(19–39)	(13,8–39,1)

фии и ЦЛТ ОГК, ПДП за каждый рентгеновский снимок и ЛТ. ПДП измерялось с использованием поверенного клинического дозиметра ДРК-1, интегрированного в рентгеновский аппарат. Глубина томографического слоя определялась рентгенолаборантом индивидуально для каждого пациента с учетом предыдущих томографических исследований.

Параметры проведения ЦЛТ и измеренное ПДП для каждого пациента фиксировали вручную с использованием специальных анкет. Оценка ЭД пациентов при ЦЛТ производилась с использованием следующих специально разработанных коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе (мкЗв/сГр×см²): 50 кВ – 1,5; 55 кВ – 1,6; 60 кВ – 1,8; 65 кВ – 1,9; 70 кВ – 2,0. Методика определения коэффициентов перехода представлена в [19]. Цифровые рентгенограммы и ЦЛТ для каждого пациента записывались в формате DICOM и после предварительной анонимизации использовались для экспертной оценки качества изображения и верификации собранных данных.

Для экспертной оценки качества полученных ЦЛТ фантома и пациентов были привлечены 6 экспертоврентгенологов с опытом работы с ЦЛТ от 3 до 15 лет. Врачи были проинформированы о том, как выглядят структура антропоморфного фантома и имитаторы очагов на ЦЛТ и что режимы отличаются напряжением на рентгеновской трубке, углом отклонения трубки и временем сканирования. Экспертами оценивалась возможность визуализировать патологические очаги в легочной паренхиме и оценка изображения по шкале Лайкерта (5-балльная шкала) и субъективно оценить изображения (табл. 6) [21]. Итоговая оценка изобра-

Таблица 6

[Table 6

Критерии оценки качества	томографических изображений
--------------------------	-----------------------------

Criteria for the assessment of the tomographic image quality]

Образец томо- графического изображения [Example of the image]	Балл оцен- ки качества изображения [Image quality points]	Качество изображения [Descriptive characteristic]	Визуализация нормаль- ной анатомии фантома [Display of the normal anatomy of the phantom]	Визуализация патологических изменений [Display of the pathologies]	Наличие артефактов [Presence of the artifacts]
	5	Отличное [Excellent]	Максимально четко отображена [Maximally sharp display]	Выявление не вызывает затруднений [Easy detection of the pathologies]	Отсутствуют [Absent]
	4	Хорошее [Good]	Нормальное отображение [Normal display]	Отчетливая визуализация [Sharp and con- trast display]	Минимальный уровень (1 на снимок) [Minimal level (1 per image)]
	3	Удовлетворительное [Acceptable]	Визуализация доста- точно отчетлива [Acceptably sharp display]	Визуализация достаточно отчетлива [Acceptably sharp display]	Допустимый уровень (2–3 на снимок) [Acceptable level (2–3 per image)]
	2	Неудовлетворительное [Unsatisfactory]	Невозможно визуали- зировать отдельные мелкие структуры [Impossible to depict single small structures]	Выявление затруднительно [Complicated detection of the pathologies]	Высокий уровень шума; больше 3 артефактов на снимок [High level of noise, more than 3 artifacts per image]
	1	Плохое [Bad]	Невозможно визуали- зировать крупные ана- томические структуры [Impossible to de- pict large anatomical structures]	Выявление невозможно [Impossible detection of the pathologies]	Выраженные ар- тефакты, высокий уровень шума [High level of noise, multiple major artifacts 1

Радиационная гигиена Том 13 № 1 2020

жения производилась по самой низкой оценке для каждого из представленных критериев. Результаты экспертной оценки фиксировались в специально разработанные анкеты и в дальнейшем подвергались статистической обработке.

Работа с изображениями проводилась на стандартной рабочей станции врача-рентгенолога на каждом из рентгеновских аппаратов. Оценка качества изображения проводилась на диагностических мониторах (NEC MD21GS-2MP-BB, диагональ 21 дюйм, разрешение 3000×3000 пикселей), откалиброванных поставщиком рентгеновского оборудования. Работа с изображениями производилась в стандартных для данного рентгеновского кабинета условиях. Экспертам разрешалось использовать стандартные программы цифровой постобработки изображений.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программного обеспечения Statistica X. Для описания выборок пациентов использовали методы параметрической и непараметрической статистики. Для описания категориальных данных считали абсолютные частоты и проценты от общего количества наблюдений. Для сравнения выборок данных использовали непараметрический критерий Манна – Уитни (для сравнения двух независимых, ненормально распределенных выборок), причём различия считались статистически достоверными при р <0,05.

Результаты и обсуждение

Оценка качества изображений антропоморфного фантома

На рисунке 4 представлены результаты оценки качества изображений с использованием протоколов ЦЛТ для нормостеников (см. табл. 2), в связи с тем, что антропоморфный фантом соответствует нормально-



Рис. 4. Распределение балльной оценки качества изображений антропоморфного фантома с использованием низкодозовых протоколов для нормостеников

[Fig. 4. Distribution of the image quality scores for the low-dose protocols for the normosthenic constitution. Results are presented for the anthropomorphic phantom]

му среднему телосложению пациента. Как следует из рисунка 4, все полученные ЛТ обладали как минимум удовлетворительным качеством изображения и были пригодны для визуализации и описания патологии, то есть пригодны для использования в клинической практике. Отсутствие максимальных оценок обусловлено тем, что никто из экспертов не смог определить на ЛТ очаги по типу «матовое стекло» и полусолидный очаг диаметром 4 мм (очаги 1, 3 и 6 на рисунке 3). Тенденция к улучшению качества изображения с увеличением угла отклонения рентгеновской трубки объясняется увеличением пространственного разрешения и контрастности изображений [22, 23].

По результатам оценки качества изображений антропоморфного фантома представленные в таблице 2 протоколы были переданы для клинической апробации в противотуберкулезный диспансер.

Сравнительная оценка доз облучения пациентов, структуры ЦЛТ и диагностического качества изображения для выборки пациентов

Общие сведения о параметрах проведения ЦЛТ для выборок пациентов, обследованных на стандартных и низкодозовых протоколах (см. табл. 2), представлены в таблице 4. Распределение рентгенологических заключений представлено в таблице 7.

Как следует из таблицы 7, обе выборки пациентов однородны по структуре проявления ТБ; достоверные различия отсутствуют.

При использовании низкодозовых протоколов проведения ЦЛТ наблюдается значимое снижение ПДП (см. табл. 4) вплоть до 6 раз, как за 1 ЦЛТ, так и за серию томограмм (все исследование). ЭД за все исследование на стандартных протоколах исследования сопоставима с дозами при КТ органов грудной клетки [21]. Переход на использование низкодозовых режимов приводит к снижению ЭД за исследование вплоть до 6 раз по сравнению со стандартными режимами; за 1 ЦЛТ – до 8 раз. Для таких протоколов ЭД за исследование составила 0,4 ± 0,2 мЗв, что сопоставимо с ЭД при рентгенографии ОГК в двух проекциях [7].

Следует отметить, что в отдельных случаях использование низкодозовых протоколов ЦЛТ приводило к увеличению количества серий числа ЦЛТ в исследовании с 6 до 9–11 (см. табл. 4) при снижении ПДП и ЭД, как за 1 томограмму, так и за исследование.

Данное увеличение числа ЦЛТ в исследовании обусловлено двумя факторами. Во-первых, достигнутое снижение доз облучения пациентов за исследование позволяло выполнять большее количество томограмм без дополнительного облучения пациента. Во-вторых, часть томограмм, полученных на новых протоколах, не всегда устраивали врачей-рентгенологов, привыкших к переэкспонированным изображениям, что обусловливало повторное проведение ЦЛТ на стандартных для диспансера, более высокодозовых режимах.

Результаты оценки качества клинических изображений представлены на рисунках 5 и 6.

Таблица 7

Распределения рентгенологических заключений пациентов

[Table 7

			- CONCIUSION		uenii sann	neo]	
	Ρουτεομοποεινμοο		Стандартный протокол [Standard protocol]			Оптимизированный протоко [Optimized protocol]	
	[radiological	conclusion]	Количе чело [Number o	ество век f patients]	%	Количество человек [Number of patients]	%
Инфиль [.] [In	тративные затемнені оча filtrative shadows, Foc	ия, фокусы, множественные ги uses, Multiple nodules]	16	6	36	12	40
иброзн <i>I</i> ïbrous c	о-кавернозный ТБ: по деформация легочно avernous tuberculosis	олости деструкции, тяжистая го рисунка (фиброз) , Destruction cavities, Fibrosis]	16	6	36	11	37
Оча	аговые изменения [М	lultiple nodule changes]	3		7	2	7
	Диссеминир [Disseminated	ованный ТБ tuberculosis]	2		5	2	7
	Цирротич [Cirrhotic tu	еский ТБ berculosis]	3		7	2	6
	Посттуберкулез [Post-tubercu	ные изменения lar changes]	4		9	1	3
3	¢	□ Медиана [Median]	1,2 Sumulation 1,0	□ Медиана [Median] c. [Min-max] Outliers]	ŧ	
;			8,0 bel ex				
			- 6,0 Effectvie				
			85 м Эйнеас				_
2			уда и с след				
a	4 Балл оценки качества	изображени(#mage quality score]	F 0,0	б 2		3	4

[Fig. 5. Distribution of the image quality scores by the effective dose per examination: a) for standard protocols; b) for low-dose protocols]





[Fig. 6. Distribution of image scores: a) for standard protocols; b) for low-dose protocols]

Результаты оценки всех ЦЛТ проверялись на наличие статистически значимых различий с использованием критерия Краскелла – Уоллиса. Статистически достоверных различий между оценками ЦЛТ, выполненными различными экспертами, получено не было; результаты оценки были однородными. Таким образом, для сравнения выборок ЦЛТ, выполненных на стандартных и оптимизированных протоколах, использовались средневзвешенные оценки для всех экспертов.

Как следует из данных, представленных на рисунках 7 и 8, на стандартных протоколах экспертная оценка качества изображений находится в диапазоне 4–5 баллов, на низкодозовых протоколах – 2–4 балла. Таким образом, снижение ЭД приводит также к достоверному снижению диагностического качества полученных изображений. Тем не менее, все исследования, за исключением одного, получили оценки 3–4 балла (удовлетворительное/хорошее изображение, см. табл. 6) и были пригодны для описания.

Пример клинического случая, в котором были использованы одновременно стандартные и оптимизированные протоколы исследования, представлен на рисунке 7. Пациент К., 49 лет, вес 52 кг, рост 173 см. На томограммах в бифуркационном срезе (90 мм), выполненных в разных режимах, в верхней доле правого и левого лёгкого одинаково чётко дифференцируются инфильтративные изменения с участками деструкции обоих легких в области верхушек легких. Однако ЭД на стандартных режимах исследования составила 2,72 мЗв, а на оптимизированных – 0,56 мЗв (в 5 раз ниже). Как следует из рисунка 7, достоверные различия в диагностическом качестве изображений между стандартными и низкодозовыми протоколами отсутствуют; патологические изменения одинаково четко визуализируются.

Практически все изображения, полученные на предложенных низкодозовых протоколах, были приемлемы для описания, постановки диагноза и оценки динамики процесса в легких. Врачам-рентгенологам противотуберкулёзного диспансера было рекомендовано проводить дополнительную постобработку томограмм, полученных в низкодозовом режиме. Использование оптимизации динамического диапазона, подчёркивание контуров, гамма-коррекция позволяют значительно улучшить качество изображений. Представленные низкодозовые протоколы внедрены в практику противотуберкулезного диспансера.

Следует отметить, что представленные результаты были получены при использовании ЦЛТ для оценки динамики уже установленного патологического процесса в легких. Использование ЦЛТ для постановки первичного диагноза будет приводить к необходимости проводить поиск патологического очага путем изменения глубины томографического слоя. Данный поиск приводит к увеличению (до 12–15) числа серий томограмм, что негативно сказывается на времени проведения исследования, дозах облучения пациента (ЭД может увеличиться до 0,75–1,2 мЗв) и вероятности получения ложноотрицательно диагноза.



 ЦЛТ в режиме: U – 50кВ, Э – 11мАс, УОТ 25°, ВДТ 1,2 с, УТС – 110 мм, ЭД – 0,07 мЗв;
 (a) tube voltage 50 kV, exposure – 11 mAs, tomographic angle – 25°, tube movement time 1.2 s, depth of the tomographic layer 110 mm. Effective dose 0.07 mSv]



2) ЦЛТ в режиме: U – 50кВ, Э – 11мАс, УОТ 25°, ВДТ 1,2 с, УТС – 140 мм, ЭД – 0,07 мЗв; [(b) tube voltage 50 kV, exposure – 11 mAs, tomographic angle – 25°, tube movement time 1.2 s, depth of the tomographic layer 110 mm. Effective dose 0.07 mSv]



3) ЦЛТ в режиме: U – 50 кВ, Э – 125 мАс, УОТ 25°, ВДТ 1,2 с, УТС – 90 мм, ЭД – 0,34 мЗв [(c) tube voltage 50 kV, exposure – 125 mAs, tomographic angle – 25°, tube movement time 1.2 s, depth of the tomographic layer 90 mm. Effective dose 0.34 mSv]

Рис. 7. Примеры диагностических изображений, выполненных на низкодозовом (1, 3) и стандартном протоколах (2): 1 и 3 – инфильтративные изменения с участками деструкции, дренируемые субсегментарными бронхами в окружении мелких полиморфных очагов с обеих сторон в сегментах I, II, III (стрелки); 2 – в III сегменте правого легкого визуализируется очаг с просветлением в центре (стрелка)

[Fig. 7. Examples of the diagnostic images obtained at low-dose (1,3) and standard (2) protocols. 1) and 3): infiltrative changes with the areas of destruction, drained by the subsegmental bronchi, surrounded by the small polymorph lesions from both sides in segments I, II, III (see corresponding arrows); 2) localization of the lesion in segment III of the right lung (indicated by arrow)]

Заключение

Результаты экспертной оценки качества ЦЛТ антропоморфного фантома, полученных с использованием низкодозовых протоколов, показали, что все рентгеновские изображения обладали как минимум удовлетворительным качеством изображения и были пригодны для описания и дифференцировки патологии. Следует отметить, что на ЦЛТ крайне затруднительно выявить и идентифицировать низкоконтрастные очаги по типу «матового стекла», что является недостатком всех методов лучевой диагностики, позволяющих получать двумерные изображения без использования контрастных средств.

Предложенные низкодозовые режимы проведения ЦЛТ были клинически апробированы на базе противотуберкулезного диспансера. Сравнительная оценка доз облучения пациентов показала, что при использовании стандартных протоколов ЦЛТЭД находились в диапазоне 0,56–5,9 мЗв; низкодозовых протоколов – 0,2–1,15 мЗв. Переход на низкодозовые протоколы позволил снизить ЭД за исследование вплоть до 8 раз по сравнению со стандартными протоколами. Высокие ЭД пациентов в первую очередь обусловлены использованием высоких значений экспозиции – 126 мАс в стандартном режиме по сравнению с 7–11 мАс – в оптимизированном.

Проведенная экспертная оценка качества изображений с использованием разработанных критериев оценки качества показала, что использование оптимизированных протоколов приводит к достоверному снижению качества томограмм. При этом изображения выглядят более «шумными», появляются артефакты движения. Тем не менее, на всех полученных изображениях патологические симптомы в паренхиме легких были выявлены, измерены, оценены и описаны. Переход на новые режимы в отдельных случаях приводил к увеличению числа ЦЛТ в рамках одного исследования, что объясняется отсутствием у персонала опыта работы на новых протоколах и с субъективной возможностью проведения большего количества ЦЛТ без значимого увеличения доз облучения пациентов.

Результаты исследования показали, что ЦЛТ можно применять для оценки динамики патологического процесса в легких в том случае, когда локализация патологии уже известна. Преимуществами ЦЛТ являются широкая доступность метода, так как большинство отечественных рентгеновских аппаратов снабжено приставкой для линейной томографии, а ЭД за исследование относительно мала (в среднем 0,4 ± 0,2 мЗв) и сопоставима с дозами при рентгенографии ОГК в двух проекциях. Представленные низкодозовые протоколы внедрены в практику противотуберкулезного диспансера. В настоящее время рассматривается возможность проведения более крупномасштабного исследования на базе нескольких медицинских организаций, в том числе многопрофильных стационаров.

Литература

 Васильева И.А., Белиловский Е.М. Туберкулез, сочетанный с ВИЧ инфекцией, в странах мира и в Российской Федерации // Туберкулёз и болезни лёгких. 2017. Т. 95, № 9. С. 8-12.

- Аналитический обзор статистических показателей по туберкулезу, используемых в Российской Федерации 2011 г.: Туберкулез в Российской Федерации. М., 2010. 223 с.
- Всемирная организация здравоохранения. Доклад о глобальной борьбе с туберкулезом 2016 г.: www.who.int/tb/ publications/global_report/gtbr2016_executive_summary_ ru.pdf (Дата обращения: 03.02.2020)
- World Health Organization. Systematic screening for active tuberculosis. Principles and recommendations. WHO/HTM/ TB/2013.04. Geneva, World Health Organization, 2013. P. 137.
- World Health Organization. Tuberculosis Fact Sheet № 104. 2017. Available from: www.who.int/mediacentre/factsheets/ fs104/en. (Дата обращения: 03.02.2020)
- Здравоохранение в России. 2015: Стат. сб. М.: Росстат, 2015. 174 с.
- Vodovatov A.V., Drozdov A.A., Telnova A.Yu., Bernhardsson C. Management of patient doses from digital X-ray chest screening examinations // Rad. Prot. Dosim. 2016. Vol. 169, No 1-4. P. 232-239.
- Balonov M., Golikov V.Yu, Zvonova I. et al. Patient doses from medical examinations in Russia: 2009–2015 // J. Radiol. Prot. Vol. 38. P. 121-140. DOI: https://doi. org/10.1088/1361-6498/aa9b99
- Балонов М.И. Голиков В.Ю., Звонова И.А. и др. Современные уровни медицинского облучения в России // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 3. С. 67-79.
- Тюрин И.Е. Одиночные очаги в легких: возможности лучевой диагностики // Практическая пульмонология. 2008. № 2. С. 15-22.
- Тюрин И.Е. Скрининг заболеваний органов дыхания: современные тенденции // Практическая пульмонология. 2011. № 2. С. 12-16.
- Aviram G. Chest radiography for tuberculosis screening: a valuable tool // Isr. Med. Assoc. J. 2015. Vol. 17, No 1. P. 50-51.
- Li Q. Fan L., Cao E.T. et al. Quantitative CT analysis of pulmonary pure ground-glass nodule predicts histological invasiveness // European Journal of Radiology. 2017. Vol. 89. P. 67–71.
- Lee S.W., Jang Y.S., Park C.M. et al. The role of chest CT scanning in TB outbreak investigation // Chest. 2010. Vol. 137, No 5. P. 1057–1064.
- Nakanishi M., Demura Y., Ameshima S. et al. Utility of highresolution tomography for predicting risk of sputum smearnegative pulmonary tuberculosis // Eur. J. Radiol. 2010. Vol. 73. P. 545–550.
- Chipiga L.A., Bernhardsson C. Patient doses in Computed Tomography examinations in two regions of the Russian Federation // Rad. Prot. Dos. 2016. Vol. 169, (1-4). P. 240-244.
- 17. Помозгов А.И., Терновой С.К. Томография грудной клетки. Киев: Здоровья, 1992. 188 с.
- Уваров В.В. Классическая (аналоговая) томография история, современный статус. Российская ассоциация радиологов. М., 2016. С. 136-142.
- Водоватов А.В., Камышанская И.Г., Борискина А.Н. Оценка эффективных доз при цифровой линейной томографии органов грудной клетки. Материалы Невского Радиологического Форума 2019. Лучевая диагностика и терапия. 2019. №1(9). С. 160-161.
- Водоватов А.В., Камышанская И.Г., Борискина А.Н. Методика малодозовой цифровой линейной томографии органов грудной клетки. Материалы Невского Радиологического Форума 2019. Лучевая диагностика и терапия. 2019. №1(9). С. 161-162.
- 21. Беркович Г.В., Чипига Л.А., Водоватов А.В. и др. Оптимизация низкодозового протокола сканиро-

вания органов грудной клетки в диагностике очагов по типу «матового стекла» с применением алгоритмов итеративных реконструкций // Лучевая диагностика и терапия. 2019. № 4. С. 20–32. DOI: http:// dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-4-20-32

22. Aichinger H. Radiation exposure and image quality in x-ray diagnostic radiology: physical principles and clinical

applications. Heidelberg: New York: Springer, 2012. 2nd ed – XIV, 307 p. $\,$

 Dance D.R., Chrostofides S., Maidment A.D.A. Diagnostic radiology physics: A Handbook for teachers and students. Ng, Techn. Ed. – Vienna, IAEA: 2014.

Поступила: 30.01.2020 г.

Камышанская Ирина Григорьевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры онкологии Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

Черемисин Владимир Максимович – доктор медицинских наук, профессор кафедры онкологии Санкт-Петербургского государственного университета, заведующий отделом лучевой диагностики Городской Мариинской больницы, Санкт-Петербург, Россия

Водоватов Александр Валерьевич – заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: vodovatoff@gmail.com

Борискина Алена Николаевна – ординатор по специальности «Рентгенология» и старший лаборант кафедры онкологии Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Камышанская И.Г., Черемисин В.М., Водоватов А.В., Борискина А.Н. Результаты клинической апробации низкодозовых протоколов проведения цифровой линейной томографии органов грудной клетки // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 1. С. 47-59. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-1-47-59

Results of the clinical evaluation of the low-dose protocols of the digital linear tomography of the chest

Irina G. Kamyshanskaya ^{1,2}, Vladimir M. Cheremisin ^{1,2}, Aleksandr V. Vodovatov ³, Alena N. Boriskina ¹

¹Saint-Petersburg state University, Department of Oncology, Saint-Petersburg, Russia

² Urban Mariinsky hospital, Saint-Petersburg, Russia

³ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

High levels of tuberculosis morbidity in the Russian Federation lead to the extensive use of X-ray diagnostics for the tuberculosis screening and assessment of the effectiveness of treatment. Digital radiography and computed tomography are traditionally used for the diagnostics of tuberculosis. These methods are associated with significant drawbacks: low specificity for radiography, high costs per examination, significant patient doses, and limited availability for computed tomography. As an additional method for the assessment of the effectiveness of the tuberculosis treatment it is possible to use linear tomography performed on the digital X-ray units. The aim of the current study was to evaluate the possibility of utilization of the digital linear tomography for the control of the effectiveness of tuberculosis treatment in a dedicated antitubercular medical facility. The study was divided in two stages. The first stage was aimed at the assessment of the diagnostic image quality of the digital linear tomograms obtained using the previously developed low-dose imaging protocols. Image quality assessment was performed using an anthropomorphic chest phantom and dedicated imitators of the lung lesions. Image quality was assessed by the experts (radiologists) based on the developed image quality criteria. Results of the first stage of the study indicate that all low-dose protocols allow obtaining images with at least acceptable image quality. Hence it was possible to propose low-dose protocols for clinical evaluations. The second stage of the study was performed as a prospective cohort survey aimed at the evaluation of the structure of X-ray examinations, patient doses and clinical image quality of the digital linear tomograms in antitubercular early treatment center. The cohort survey included two patient samples, uniform by age and gender composition, anthropometric characteristics and structure of diagnosis. One of the samples was imaged using standard (vendor) digital linear protocols, other – using the proposed low-dose protocols. Dose data collection (measurement of dose-area product and subsequent calculation of effective dose) and expert image quality assessment was performed for each patient. The results of the second stage of the study indicate that the use of the low-dose protocols allow reducing the patient effective doses per examination up to a factor of 6-8 (0.56 - 5.9 mSv for standard protocols; 0.2 - 1.15 mSv for low-dose protocols) due to the reduction in tube current-time product (126 mean mAs and 11 mean mAs, respectively). The dose reduction

Aleksandr V. Vodovatov

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovatoff@gmail.com

is accompanied by the reduction in the image quality of the linear tomograms (from "excellent" or "good" for standard protocols to "acceptable" for low-dose protocols). However, that dose not hinder the conclusion decision and identification of pathologies. Results of the study indicate that digital linear tomography can be used for the evaluation of the dynamics of the pathological process in the lungs with the previously defined localization of the pathology. The presented low-dose protocols were implemented into radiological practice of the antitubercular early treatment center. Currently, the proposed low-dose protocols are under evaluation for the large-scale study on the base of general practice hospitals.

Key words: digital linear tomography, tuberculosis, effective dose, optimization, diagnostic image quality assessment.

References

- Vasilieva IA, Belilovsky EM. Tuberculosis combined with HIV infection in the countries of the world and in the Russian Federation. *Tuberkulez i bolezni legkikh=Tuberculosis and lung diseases*. 2017;95(9): 8-12. (In Russian)
- The analytical review of the statistical indicators for tuberculosis used in the Russian Federation in 2011: Tuberculosis in the Russian Federation. Moscow; 2010. 223 p. (In Russian)
- World Health Organization. 2016 Global Tuberculosis Control Report / World Health Organization. Available from: www. who.int/tb/publications/global_report/gtbr2016_executive_ summary_en.pdf [Accessed 3 February 2020] (In Russian)
- World Health Organization. Systematic screening for active tuberculosis. Principles and recommendations. WHO/HTM/ TB/2013.04. Geneva, World Health Organization. 2013: 137.
- World Health Organization. Tuberculosis Fact Sheet No. 104. 2017 / World Health Organization: Available from: www.who. int/mediacentre/factsheets/fs104/en. [Accessed 2 March 2020]
- 6. Health care in Russian Federation. 2015: Stat. Sat. Moscow: Rosstat; 2015. 174 p. (In Russian)
- Vodovatov AV, Drozdov AA, Telnova AYu, Bernhardsson C. Management of patient doses from digital X-ray chest screening examinations. *Rad. Prot. Dosim.* 2016;169(1-4): 232-239.
- Balonov M, Golikov V, Zvonova I, Chipiga L, Kalnitsky S, Sarycheva S, et al. Patient doses from medical examinations in Russia: 2009–2015. *J. Radiol. Prot.*; 38: 121-140. DOI: https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa9b99
- Balonov MI, Golikov VYu, Zvonova IA, Kalnitsky SA, Repin VS, Sarycheva SS, et al. Current levels of medical exposure in Russia. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation hygiene*. 2015;8(3): 67-79. (In Russian)
- Tyurin IE. Single nodules in lungs: the possibility of radiation diagnostics. *Prakticheskaya pulmonologiya= Practical pulmonology*. 2008;(2): 15-22. (In Russian)
- 11. Tyurin IE. Screening of respiratory diseases: current trends. *Prakticheskaya pulmonologiya= Practical pulmonology*. 2011; (2): 12-16. (In Russian)
- 12. Aviram G. Chest radiography for tuberculosis screening: a valuable tool. *Isr. Med. Assoc. J.* 2015;17(1): 50-51.

- Li Q, Fan L, Cao ET, Li QC, Gu YF, & Liu SY. Quantitative CT analysis of pulmonary pure ground-glass nodule predicts histological invasiveness. *European Journal of Radiology*. 2017;89: 67–71.
- Lee SW, Jang YS, Park CM, et al. The role of chest CT scanning in TB outbreak investigation. *Chest*. 2010;137(5): 1057-1064.
- Nakanishi M, Demura Y, Ameshima S, et al. Utility of highresolution tomography for predicting risk of spu-tum smearnegative pulmonary tuberculosis. *Eur. J. Radiol.* 2010;73: 545-550.
- Chipiga LA, Bernhardsson C. Patient doses in Computed Tomography examinations in two regions of the Russian Federation. *Rad. Prot. Dos.* 2016; 169(1-4): 240-244.
- 17. Pomozgov AI, Ternova SK. Tomography of chest. Kiev: Health; 1992: 188. (In Russian)
- Uvarov VV. Classical (analogue) tomography history, current status. Russian Association of Radiologists. Moscow; 2016: 136-142. (In Russian)
- Vodovatov AV, Kamyshanskaya IG, Boriskina AN. Evaluation of effective doses in digital linear tomography for chest. Proceedings of Nevsky Radiological Forum 2019. Radiation diagnostics and therapy. 2019;1(9): 160-161. (In Russian)
- 20. Vodovatov AV, Kamyshanskaya IG, Boriskina AN. The technique of low-dose digital linear tomography for chest. Proceedings of Nevsky Radiological Forum 2019. Radiation diagnostics and therapy. 2019;1(9): 161-162. (In Russian)
- Berkovich GV, Chipiga LA, Vodovatov AV, Silin AY, Karatetskiy AA, Trufanov GE. Optimization of low-dose chest CT protocols for the evaluation of the ground glass nodules using different iterative reconstruction algorithms. *Luchevaya diagnostika i terapiya= Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2019;(4): 20-32. (In Russian) https://doi. org/10.22328/2079-5343-2019-10-4-20-32
- Aichinger H. Radiation exposure and image quality in x-ray diagnostic radiology: physical principles and clinical applications. Heidelberg: New York: Springer, 2012. 2nd ed – XIV. 307 p.
- Dance DR, Chrostofides S, Maidment ADA, McJean ID. Diagnostic radiology physics: A Handbook for teachers and students. Ng, Techn. Ed. – Vienna, IAEA: 2014.

Received: January 30, 2020

Irina G. Kamyshanskaya – Ph. D. Med., Docent of Radiation Diagnostics and Radiotherapy of Oncology Department of Medical Faculty of St. Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

Vladimir M. Cheremisin – M.D. Med., Professor of Radiation Diagnostics and Radiotherapy of Oncology Department of Medical Faculty of St. Petersburg State University, radiologist of the highest category, Head of Radoilogy Department SPb GBUZ «Mariinsky City Hospital», Saint-Petersburg, Russia

For correspondence: Aleksandr V. Vodovatov – Head of Protection Laboratory, Leading Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, St. Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovatoff@gmail.com)

Alena N. Boriskina – Resident in "X-ray diagnostics"; chief departmental assistant, department of oncology, Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Kamyshanskaya I.G., Cheremysin V.M., Vodovatov A.V., Boriskina A.N. Results of the clinical evaluation of the low-dose protocols of the digital linear tomography of the chest. *Radiatsionnaya gygiena* = *Radiation Hgiene.* 2020. Vol. 13, No. 1. P. 47-59. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-1-47-59