



Опыт использования низкодозовой компьютерной томографии у детей и подростков с туберкулезом органов дыхания

Петракова И.Ю.¹, Михайлов С.Г.¹, Тюрин И.Е.^{2,3}, Губкина М.Ф.^{1,4}, Измайлов М.Ю.¹

¹ ФГБНУ «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза»,
Яузская аллея, 2, Москва, 107564, Российская Федерация

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России,
ул. Баррикадная, 2/1, Москва, 125993, Российская Федерация

³ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России,
Каширское ш., 23, Москва, 115478, Российская Федерация

⁴ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова»
Минздрава России,
ул. Островитянова, 1, Москва, 117997, Российская Федерация

Петракова Ирина Юрьевна, к. м. н., заведующая детским отделением, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБНУ «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза»;
<http://orcid.org/0000-0001-5644-0687>

Михайлов Станислав Глебович, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБНУ «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза»;
<http://orcid.org/0000-0001-6534-1592>

Тюрин Игорь Евгеньевич, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, вед. науч. сотр. отдела лучевой диагностики ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0003-3931-1431>

Губкина Марина Федоровна, д. м. н., гл. науч. сотр. детско-подросткового отдела ФГБНУ «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза», профессор кафедры фтизиатрии ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0001-9724-9862>

Измайлов Михаил Юрьевич, врач анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии ФГБНУ «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза»
<http://orcid.org/0009-0007-4271-9602>

Резюме

Цель: оценить возможности использования низкодозовой компьютерной томографии (НДКТ) при туберкулезе органов дыхания у детей и подростков.

Материал и методы. Дизайн исследования, включавшего пациентов 2–17 лет с активным туберкулезом органов дыхания и посттуберкулезными изменениями, проходивших лечение в ФГБНУ «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза» в 2021–2023 гг., состоял из двух частей: часть 1 (проспективное выборочное исследование) – определение диагностической точности НДКТ в сравнении с КТ со стандартной дозой (СДКТ) независимо двумя рентгенологами у 44 больных при стабилизации туберкулезного процесса, часть 2 – когортная одномоментная оценка качества изображения при НДКТ у 144 пациентов в процессе лечения. СДКТ проводили на компьютерном томографе Somatom Emotion 16 (Siemens, Германия) с использованием алгоритмов фильтрованных обратных проекций, НДКТ – на компьютерном томографе Somatom go.Up с помощью алгоритмов итеративной реконструкции. У детей в возрасте от 2 до 12 лет применяли педиатрические протоколы, у подростков от 13 до 17 лет – стандартные. Лучевую нагрузку оценивали с помощью эффективной дозы (ЭД).

Результаты. В возрастной группе 13–17 лет уровень шума был ниже, а соотношение сигнал/шум – выше при НДКТ для всех анатомических структур, за исключением легочной паренхимы. У пациентов 2–12 лет соотношение сигнал/шум было одинаковым или несколько выше при СДКТ. При субъективной оценке отмечено хорошее качество изображения с высокой корреляционной связью между оценками рентгенологов. Значения ЭД при НДКТ были ниже, чем при СДКТ, в 2,17 раза у подростков и в 1,91 раза у детей. У пациентов 2–3 лет качество изображения существенно зависело от их неподвижности во время обследования, но при условии седации оно было хорошим в 92% случаев.

Заключение. В условиях достаточной неподвижности пациента НДКТ обеспечивает хорошее качество изображения туберкулезных изменений при снижении ЭД по сравнению с СДКТ в 2,17 раза у подростков и в 1,91 раза у детей.

Ключевые слова: низкодозовая компьютерная томография; НДКТ; качество изображения; туберкулез; дети; подростки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме НИР № 122041100210-4 «Комплексный подход к диагностике и лечению туберкулеза органов дыхания у детей и подростков».

Для цитирования: Петракова И.Ю., Михайлов С.Г., Тюрин И.Е., Губкина М.Ф., Измайлов М.Ю. Опыт использования низкодозовой компьютерной томографии у детей и подростков с туберкулезом органов дыхания. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(2): 75–86. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-2-75-86>

Для корреспонденции: Петракова Ирина Юрьевна, E-mail: irina71petrakova@yandex.ru

Статья поступила 10.05.2024

После доработки 24.07.2024

Принята к печати 25.07.2024

Experience in Using Low-Dose Computed Tomography in Children and Adolescents with Pulmonary Tuberculosis

Irina Yu. Petrakova¹, Stanislav G. Mikhaylov¹, Igor E. Tyurin^{2, 3}, Marina F. Gubkina^{1, 4}, Mikhail Yu. Izmaylov¹

¹ Central Tuberculosis Research Institute, Yauzskaya alleya, 2, Moscow, 107564, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, ul. Barrikadnaya, 2/1, Moscow, 125993, Russian Federation

³ Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Kashirskoe shosse, 23, Moscow, 115478, Russian Federation

⁴ Pirogov Russian National Research Medical University, ul. Ostrovityanova, 1, Moscow, 117997, Russian Federation

Irina Yu. Petrakova, Cand. Med. Sc., Head of Pediatric Department, Radiologist, Radiology Department, Central Tuberculosis Research Institute; <http://orcid.org/0000-0001-5644-0687>

Stanislav G. Mikhaylov, Radiologist, Radiology Department, Central Tuberculosis Research Institute; <http://orcid.org/0000-0001-6534-1592>

Igor E. Tyurin, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Chair of Radiology, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; Leading Researcher, Radiology Department, Blokhin National Medical Research Center of Oncology; <http://orcid.org/0000-0003-3931-1431>

Marina F. Gubkina, Dr. Med. Sc., Chief Researcher, Child and Adolescent Department, Central Tuberculosis Research Institute; Professor, Chair of Phthisiology, Pirogov Russian National Research Medical University; <http://orcid.org/0000-0001-9724-9862>

Mikhail Yu. Izmaylov, Anesthesiologist-Resuscitator, Department of Anesthesiology, Resuscitation and Intensive Care, Central Tuberculosis Research Institute <http://orcid.org/0009-0007-4271-9602>

Abstract

Objective: to assess the possibilities of using low-dose computed tomography (LDCT) in children and adolescents with pulmonary tuberculosis (TB).

Material and methods. The design of the study, which included patients aged 2–17 years with active pulmonary TB and post-TB changes treated in Central Tuberculosis Research Institute in 2021–2023, consisted of two parts as follows: part 1 (a prospective selective study) – independent assessment of LDCT vs standard-dose CT (SDCT) diagnostic accuracy by two radiologists in 44 patients with TB process stabilization; part 2 – cohort one-time assessment of LDCT image quality in 144 patients at different phases of TB treatment. LDCT was performed on the Somatom Emotion 16 CT scanner (Siemens, Germany) by filtered back-projection algorithm; SDCT was conducted on the Somatom go.Up CT scanner by iterative reconstruction algorithm. In patients aged 2–12 years, pediatric protocols, and in patients aged 13–17, standard protocols were used. Radiation exposure was evaluated considering the effective dose (ED).

Results. In patients aged 13–17 years, the noise level was lower and the signal-to-noise ratio was higher with LDCT for all anatomical structures, with the exception of pulmonary parenchyma. In patients aged 2–12 years, the signal-to-noise ratio was the same or slightly higher in SDCT. In the subjective assessment, good image quality was noted with a high correlation between the assessments of radiologists. ED was 2.17 times

lower for LDCT than for SDCT in adolescents and 1.91 times lower in children. In patients aged 2–3 years, the quality essentially depended on their immobility during the procedure, though under sedation it was good in 92% of cases.

Conclusion. In conditions of sufficient immobility of the patient, LDCT provided good image quality of tuberculous changes with a decrease in ED compared to SDCT by 2.17 times in adolescents and by 1.91 times in children.

Keywords: low-dose computed tomography; LDCT; image quality; tuberculosis; TB; children; adolescents.

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

Funding. The study was carried out as part of the State Assignment Research No. 122041100210-4 "The complex approach to diagnosis and treatment of pulmonary tuberculosis in children and adolescents".

For citation: Petrakova IYu, Mikhaylov SG, Tyurin IE, Gubkina MF, Izmaylov MYu. Experience in using low-dose computed tomography in children and adolescents with pulmonary tuberculosis. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(2): 75–86 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-2-75-86>

For corresponding: Irina Yu. Petrakova, E-mail: irina71petrakova@yandex.ru

Received May 10, 2024

Revised July 24, 2024

Accepted July 25, 2024

Введение / Introduction

Компьютерная томография (КТ) является высокоинформативным диагностическим методом и находит широкое применение в различных областях медицины, в том числе во фтизиатрии. У взрослых ее применение рекомендовано нормативными документами для оценки патологических изменений перед началом лечения, а у детей – при обследовании групп риска с целью выявления заболеваний и при определении показаний к хирургическому лечению [1]. В оценке туберкулезного процесса у детей в настоящее время КТ имеет преимущества перед другими диагностическими методами, так как она доступна и позволяет точно оценивать не только легочную ткань, но и внутригрудные лимфатические узлы (ВГЛУ). В то же время рост числа КТ-исследований в мире и Российской Федерации (РФ) приводит к росту коллективной дозы и вызывает беспокойство в отношении повышения риска развития опухолевых заболеваний [2, 3].

Имеются данные, что высокая радиочувствительность тканей организма детей по сравнению со взрослыми и большее время ожидаемой жизни увеличивают риск реализации стохастических эффектов облучения у педиатрических пациентов [4, 5]. Это требует использования различных мер для снижения лучевой нагрузки – как организационных, так и технических. Уменьшение дозы в определенной мере может быть достигнуто оптимизацией протокола исследования: путем подбора напряжения и силы тока на трубке, экспозиции, питч-фактора, коллимации¹. Однако возможности

изменения данных параметров ограничены, что обусловлено физикой процесса и особенностями затухания рентгеновского излучения [6]. В связи с этим идет постоянный поиск новых технических возможностей для минимизации лучевой нагрузки на пациента.

Совершенствование алгебраической обработки данных и разработка алгоритмов итеративной реконструкции изображения позволили добиться значительного снижения дозы без потери качества изображения. Широко применяемые алгоритмы фильтрованной обратной проекции и алгоритмы итеративной реконструкции различаются методикой устранения шума, который возникает в процессе восстановления так называемых сырых данных – матрицы из вокселей, заполненной сведениями о распределении затухания рентгеновского пучка. При использовании алгоритмов фильтрованной обратной проекции вся реконструкция происходит за один шаг, затем шум устраняется с помощью фильтра. При итеративной реконструкции проводится сравнение восстановленного изображения с исходными данными до устранения различий или пока не будет достигнуто максимальное число итераций. Данный способ был разработан раньше метода фильтрованной обратной проекции, но из-за необходимости громоздких вычислений и программных ограничений стал применяться в клинической практике с 2012 г. В настоящее время алгоритмы итеративной реконструкции используются в компьютерных томографах различных производителей. Отечественные и зарубежные исследования продемонстрировали сохранение или улучшение качества изображения при низкодозовой КТ (НДКТ) с применением алгоритмов итеративной реконструкции [7–16].

Однако попытки приблизить дозу к 1 мЗв, то есть к сравнимой с получаемой при рентгенографии, показали различные результаты в зависимости от степени снижения дозы и клинической

¹ МУ 2.6.1.3387-16. 2.6.1 «Гигиена. Радиационная гигиена. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Радиационная защита детей в лучевой диагностике. Методические указания» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 26.07.2016).

ситуации [17, 18]. В настоящее время изучается возможность применения НДКТ в разных сферах медицины. В области пульмонологии наибольшее число работ по использованию НДКТ касается скрининга рака легкого и визуализации проявлений новой коронавирусной инфекции [19–22].

Суммарный срок наблюдения пациентов с туберкулезом в I, а затем III группах диспансерного учета (группы учета для больных с активным и затихающим туберкулезом) – не менее 3,5 лет [23], и многим больным за этот период КТ проводится неоднократно. Поэтому оценка возможности применения НДКТ во фтизиопедиатрии представляет интерес с точки зрения существенного снижения лучевой нагрузки без потери информативности.

Цель – оценить возможности использования НДКТ при туберкулезе органов дыхания у детей и подростков.

Материал и методы / Material and methods

В исследовании участвовали пациенты с различными клиническими формами туберкулеза органов дыхания, проходившие лечение в детском и подростковом отделениях ФГБНУ «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза» в 2021–2023 гг.

Дизайн исследования

Исследование имело комбинированный дизайн: часть 1 (проспективное выборочное исследование) – сравнение качества изображения при НДКТ и КТ со стандартной дозой (СДКТ) независимо двумя рентгенологами у 44 пациентов; часть 2 – когортная одномоментная оценка качества изображения при НДКТ у 144 пациентов разных возрастных групп.

Часть 1. Сравнительная оценка качества изображения при СДКТ и НДКТ

Необходимый минимальный объем выборки (44 человека) был рассчитан по методике К.А. Отдельновой с учетом следующих параметров: уровень точности – ориентировочное знакомство, уровень значимости – 0,05, мощность исследования – 95%, численность генеральной совокупности – 6000 (число впервые выявленных больных туберкулезом детей и подростков в РФ за период 2021–2023 гг.).

Таким образом, в часть 1 исследования включено 44 пациента: 33 подростка (возраст 13–17 лет) и 11 детей (возраст 4–12 лет), которым рентгенологический контроль за течением туберкулеза органов дыхания в процессе основного курса лечения и после его завершения проводился методом КТ. Критерии включения: достижение стабильной рентгенологической картины к моменту включения в исследование, отсутствие от-

рицательной клинико-лабораторной динамики туберкулезного процесса между СДКТ и НДКТ, отсутствие острых респираторных заболеваний в течение 1 мес перед КТ, наличие информированного согласия на участие в исследовании. Критерий исключения: наличие других заболеваний органов дыхания.

Интервал между СДКТ и НДКТ составил от 3 до 12 мес. Анализ качества изображения проводился независимо двумя рентгенологами с последующим подсчетом коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

Часть 2. Когортная одномоментная оценка качества изображения при НДКТ

Проанализированы результаты 144 КТ-исследований органов грудной клетки, проведенных у детей и подростков с различными клиническими формами туберкулеза органов дыхания и посттуберкулезными изменениями. Критерии включения: наличие информированного согласия на участие в исследовании, отсутствие острых респираторных заболеваний в течение месяца перед КТ. Критерий исключения: наличие других заболеваний органов дыхания.

Пациенты были разделены на четыре группы в зависимости от возрастных особенностей (возможность произвольной регуляции акта дыхания, ростовые скачки): 1-я группа – 2–3 года ($n = 38$), 2-я группа – 4–6 лет ($n = 33$), 3-я группа – 7–12 лет ($n = 33$), 4-я группа – 13–17 лет ($n = 40$). С учетом данных особенностей в 1–3-й группах использовали педиатрический протокол, в 4-й группе – стандартный протокол. Оценку качества изображения проводили внутри каждой группы, а сравнительный анализ – только в 1–3-й группах.

Так как на качество изображения влияют не только физические параметры исследования, но и подвижность пациента, у детей раннего возраста (1-я группа) качество изображения оценивали отдельно для исследований, проведенных в состоянии бодрствования при спонтанном дыхании (подгруппа 1а, $n = 26$) и под седацией (подгруппа 1б, $n = 12$). Состояние седации достигалось внутримышечным введением мидазолама в дозе 0,05–0,15 мг/кг. Показанием к проведению седации был возраст менее 3 лет, у детей в возрасте 3 лет – наличие двигательного возбуждения из-за страха перед исследованием или неудовлетворительное качество предыдущей КТ. Во 2–4-й группах седацию не проводили.

Во всех случаях пациентам до поступления в Центр выполняли КТ органов грудной клетки в разных медицинских учреждениях на разных томографах с толщиной среза от 0,6 до 1,3 мм, что давало предварительное представление об объеме и характере патологических изменений.

Диагностические методы

СДКТ проводили на компьютерном томографе Somatom Emotion 16 (Siemens, Германия) с использованием алгоритмов фильтрованных обратных проекций, НДКТ – на компьютерном томографе Somatom go.Up (Siemens, Германия) с помощью алгоритмов итеративной реконструкции.

У детей старшего возраста и подростков применяли стандартный (взрослый) протокол: толщина томографического среза 0,6–0,8 мм, напряжение на трубке 130 кВ, время оборота трубки 0,8 с, питч-фактор 1,1. У детей младшего возраста использовали педиатрические протоколы: для томографа Somatom Emotion 16 – толщина томографического среза 1,5 мм, напряжение на трубке 110 кВ, время оборота трубки 0,8 с, питч-фактор 1,5; для томографа Somatom go.Up – толщина томографического среза 0,8 мм (для достижения идентичных параметров дополнительно проводилась реконструкция с толщиной среза 1,5 мм), напряжение на трубке 110 кВ, время оборота трубки 0,8 с, питч-фактор 1,5. Уровень тока трубки во всех случаях автоматически устанавливался индивидуально.

Анализ качества изображения

Объективным показателем качества изображения считали показатель шума и соотношение сигнал/шум (С/Ш). Объективный шум (ОШ) вычисляли как среднее SD показателя плотности ткани, измеренной в круговой области интереса (40–100 мм²) на уровнях левого желудочка, подлопаточной мышцы, подкожной жировой клетчатки, нисходящей аорты и легочной ткани верхней доли правого легкого. Показатель С/Ш рассчитывали как частное при делении плотности ткани на ОШ.

Субъективными показателями качества изображения были видимость нормальных анатомических структур (субсегментарные бронхи, легочный интерстиций, жировая клетчатка, ВГЛУ, костные структуры) и патологические изменения (консолидация, очаги в легких, повышенная воздушность легочной ткани, ретикулярные изменения, матовое стекло, кальцинация). Видимость нормальных анатомических структур и патологические изменения оценивали в аксиальной проекции, легочном или абдоминальном окне. Для субъективной оценки качества изображения использовали полуколичественную 4-балльную шкалу: 4 – отличное или хорошее качество; 3 – визуализация затруднена, но качество изображения диагностическое; 2 – визуализация существенно затруднена, качество не диагностическое; 1 – структуры не визуализируются.

Отличное или хорошее качество изображения оценивали одинаково ввиду отсутствия различий в диагностической значимости. Выраженность артефактов определяли также по 4-балльной шкале

в порядке возрастания. Изображения анализировали на одном и том же рабочем месте врача-рентгенолога, оснащенном монитором MultiSync PA27w (NEC, Япония) с разрешением 2560 × 1440, с использованием программы RadiAnt DICOM Viewer 2021.1² (Medixant, Польша). Клинические данные были доступны рентгенологам.

Лучевая нагрузка

Лучевую нагрузку оценивали с помощью эффективной дозы (ЭД), рассчитанной как произведение DLP (Dose Length Product – произведение дозы на длину, или поглощенная доза за все КТ-исследование с учетом протяженности области сканирования и количества повторных сканирований), отраженное в индивидуальном протоколе пациента, и возрастного коэффициента в соответствии с МУ 2.6.1.3584-19³: для 2–7 лет – 0,033 мЗв/(мГр · см), для 7–12 лет – 0,026 мЗв/(мГр · см), для 12–17 лет – 0,016 мЗв/(мГр · см).

Статистический анализ

Статистическую обработку проводили с помощью пакета программ SPSS Statistics 27.0 (IBM, США). Для сравнения средних величин использовали непараметрические критерии: Уилкоксона – для зависимых совокупностей, Краскела–Уоллиса – для независимых совокупностей. Сравнение процентных долей выполняли при помощи критерия χ^2 Пирсона. Для оценки совпадения мнений рентгенологов применяли коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Результаты / Results

Часть 1. Сравнительная оценка качества изображения при СДКТ и НДКТ

Подростки (стандартные протоколы)

Изображения аорты, левого желудочка, мышечной ткани и клетчатки характеризовались более низким шумом и более высоким С/Ш при НДКТ, легочной ткани – при СДКТ (табл. 1).

Все патологические изменения при СДКТ и НДКТ были идентифицированы обоими рентгенологами. Субъективное качество изображения по всем изученным параметрам оценено как хорошее или отличное в 100% случаев при СДКТ и в 97% при НДКТ. Более подробная информация представлена

² <https://www.radiantviewer.com>.

³ МУ 2.6.1.3584-19. 2.6.1 «Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Изменения в МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований». Методические указания» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 30 октября 2019 г.).

Таблица 1

Объективная сравнительная оценка качества изображения при компьютерной томографии со стандартной (СДКТ) и низкой (НДКТ) дозой

Table 1

Objective comparative assessment of image quality in standard- (SDCT) and low-dose (LDCT) computed tomography

Ткань / Tissue	Возрастная группа / Age group	Средняя плотность, HU / Mean density, HU		Средний шум, HU / Mean noise, HU			Соотношение сигнал/шум // Signal-to-noise ratio		
		СДКТ / SDCT	НДКТ / LDCT	СДКТ / SDCT	НДКТ / LDCT	p	СДКТ / SDCT	НДКТ / LDCT	p
Аорта / Aorta	Подростки / Adolescents	41,8	43,1	15,9	11,0	<0,001	2,9	4,2	<0,001
	Дети / Children	41,6	48,5	13,9	15,9	>0,050	3,3	3,3	>0,050
Левый желудочек / Left ventricle	Подростки / Adolescents	44,9	47,8	16,1	10,3	<0,001	2,9	5,1	<0,001
	Дети / Children	57,2	45,7	14,5	16,3	>0,050	3,1	3,2	>0,050
Легочная ткань / Lung tissue	Подростки / Adolescents	-895,8	-895,1	56,5	74,5	<0,001	16,6	12,1	<0,001
	Дети / Children	-728,3	-816,2	30,5	33,6	>0,050	33,3	25,0	>0,050
Мышцы / Muscular tissue	Подростки / Adolescents	60,2	57,0	15,2	11,6	<0,001	4,1	4,9	<0,001
	Дети / Children	57,7	56,1	10,9	17,3	<0,050	5,6	3,8	<0,050
Клетчатка / Cellular tissue	Подростки / Adolescents	-95,4	-97,3	14,9	11,9	<0,001	6,6	8,2	<0,001
	Дети / Children	-110,5	-109,3	5,6	15,5	<0,050	10,2	7,1	<0,050

в таблице 2. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между оценками рентгенологов для нормальных анатомических структур составил 0,96 при СДКТ (весьма высокая степень связи по шкале Чеддока, $p < 0,05$) и 0,82 при НДКТ (высокая степень связи, $p < 0,05$), для патологических изменений – 1,00 для СДКТ (полная корреляционная связь, $p < 0,05$) и 0,91 для НДКТ (весьма высокая степень связи, $p < 0,05$). Средняя ЭД при СДКТ составила $4,12 \pm 1,10$ мЗв, при НДКТ – $1,89 \pm 0,45$ мЗв ($p < 0,05$).

Дети (педиатрические протоколы)

При объективной оценке качества изображений, полученных с использованием детских протоколов, соотношение С/Ш было идентичным для легочной ткани, аорты, левого желудочка, а для мышечной ткани и жировой клетчатки оказалось несколько выше при СДКТ (см. табл. 1). При этом субъективное качество изображения по всем изученным параметрам оценено как хорошее или отличное в 8 из 10 случаев при СДКТ и в 8 из 10 – при НДКТ. В 2 из 10 случаев как при СДКТ, так и при НДКТ изображение было пригодным для ограни-

ченной интерпретации из-за артефактов, связанных с подвижностью пациента (см. табл. 2). Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между оценками рентгенологов для нормальных анатомических структур составил 0,7 при СДКТ (высокая степень связи по шкале Чеддока, $p < 0,05$) и 0,92 при НДКТ (весьма высокая степень связи, $p < 0,05$), для патологических изменений – 0,95 при СДКТ и 0,78 при НДКТ (высокая степень связи, $p < 0,05$). Средняя ЭД при СДКТ составила $3,25 \pm 0,8$ мЗв, при НДКТ – $1,70 \pm 0,43$ мЗв ($p < 0,05$).

Общие выводы

Таким образом, сравнение качества изображений органов грудной клетки при СДКТ и НДКТ у подростков продемонстрировало более низкий уровень шума и более высокое соотношение С/Ш при НДКТ для всех проанализированных структур (аорта, левый желудочек сердца, мышечная ткань и клетчатки), за исключением легочной паренхимы. При использовании педиатрических протоколов соотношение С/Ш было одинаковым или несколько более высоким при СДКТ. Субъективное качество изображения в большинстве случаев как у детей,

Таблица 2

**Субъективная сравнительная оценка качества изображения при компьютерной томографии
со стандартной (СДКТ) и низкой (НДКТ) дозой**

Table 2

**Subjective comparative assessment of image quality in standard- (SDCT)
and low-dose (LDCT) computed tomography**

Параметр / Parameter	Возрастная группа / Age group	Качество изображения (средний балл) / Image quality (mean score)			
		СДКТ / SDCT		НДКТ / LDCT	
		P1 / R1	P2 / R2	P1 / R1	P2 / R2
Артефакты / Artifacts					
Артефакты движения / Motion artifacts	Подростки / Adolescents	1,2 ±0,48	1,2±0,36	1,3±0,52	1,2±0,36
	Дети / Children	1,6±0,67	1,9±0,70	1,4±0,50	1,4±0,67
Артефакты перехода сред / Media transition artifacts	Подростки / Adolescents	1,2±0,50	1,1±0,33	1,2±0,36	1,2±0,36
	Дети / Children	1,4±0,67	1,7±0,78	1,5±0,82	1,4±0,67
Видимость нормальных анатомических структур / Visibility of normal anatomical structures					
Субсегментарные бронхи / Subsegmentary bronchi	Подростки / Adolescents	4,0	4,0	4,0	4,0
	Дети / Children	3,7±0,47	4,0	4,0	4,0
Легочный интерстиций / Lung interstitium	Подростки / Adolescents	4,0	4,0	3,8±0,36	4,0
	Дети / Children	4,0	3,8±0,40	4,0	4,0
Междолевые щели / Interlobar fissures	Подростки / Adolescents	4,0	4,0	4,0	4,0
	Дети / Children	4,0	4,0	4,0	4,0
Внутригрудные лимфатические узлы / Intrathoracic lymph nodes	Подростки / Adolescents	4,0	4,0	3,9±0,24	3,9±0,24
	Дети / Children	4,0	4,0	4,0	4,0
Костная структура / Bone structure	Подростки / Adolescents	4,0	4,0	4,0	4,0
	Дети / Children	4,0	4,0	4,0	4,0
Клетчатка / Cellular tissue	Подростки / Adolescents	4,0	4,0	4,0	4,0
	Дети / Children	4,0	4,0	4,0	4,0
Видимость патологических изменений / Visibility of pathological changes					
Консолидация / Consolidation	Подростки / Adolescents (n=14)	4,0	4,0	4,0	4,0
	Дети / Children (n=2)	4,0	4,0	4,0	4,0
Паренхиматозные тяжи / Parenchymal strands	Подростки / Adolescents (n=27)	4,0	4,0	4,0	4,0
	Дети / Children (n=9)	4,0	4,0	4,0	4,0
Утолщение плевры / Pleural thickening	Подростки / Adolescents (n=10)	4,0	4,0	4,0	4,0
	Дети / Children (n=2)	4,0	4,0	4,0	4,0
Очаги / Foci	Подростки / Adolescents (n=21)	4,0	4,0	4,0	4,0
	Дети / Children (n=5)	4,0	3,8±0,45	4,0	3,8±0,45
Матовое стекло / Ground glass opacity	Подростки / Adolescents (n=4)	4,0	4,0	3,8±0,50	4,0
	Дети / Children	–	–	–	–
Кальцинаты / Calcinates	Подростки / Adolescents (n=21)	4,0	4,0	4,0	4,0
	Дети / Children (n=9)	3,8±0,33	3,8±0,33	4,0	4,0

Примечание. P1 – рентгенолог 1; P2 – рентгенолог 2.

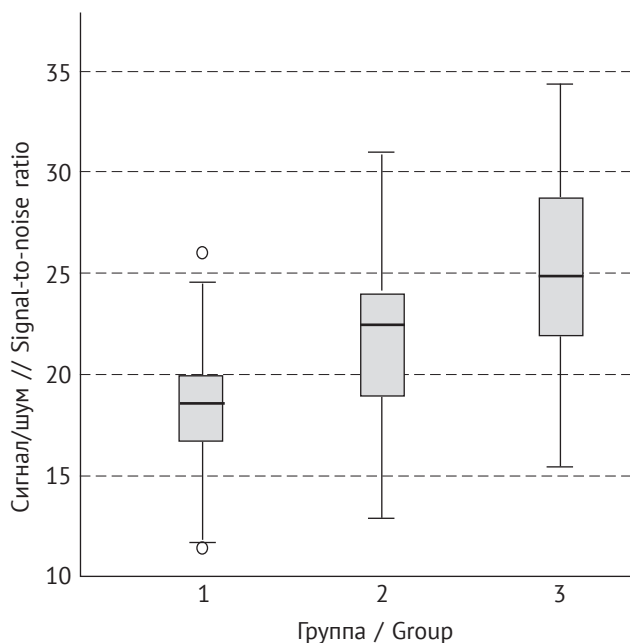
Note. R1 – Radiologist 1; R2 – Radiologist 2.

так и у подростков определено как хорошее или отличное с высокой корреляционной связью между оценками рентгенологов. Визуализация при НДКТ была хуже в единичных случаях для легочного интерстиция и уплотнения легочной ткани по типу матового стекла при использовании как педиатрического, так и взрослого протокола. Однако эти изменения ни в одном случае не являлись единственными у больных туберкулезом, и оценка динамики заболевания проводилась преимущественно по другим КТ-паттернам. При этом уровень лучевой нагрузки при НДКТ был ниже, чем при СДКТ, в 2,17 раза у подростков и в 1,91 раза у детей.

Так как педиатрический протокол при СДКТ изначально характеризовался большей толщиной томографического среза при более высокой лучевой нагрузке, а качество изображения при НДКТ было диагностическим, набор пациентов по этическим соображениям был ограничен рассчитанным минимальным объемом выборки, и в дальнейшем проводилось когортное исследование, результаты которого представлены ниже.

Часть 2. Когортная одномоментная оценка качества изображения при НДКТ в разных возрастных группах

Соотношение С/Ш составило от 3,27 до 25,01 для различных тканей и было максимальным для легочной паренхимы. Для легочной паренхимы в 1–3-й группах показатели увеличивались с возрастом пациентов ($p < 0,05$) (см. рисунок).



Соотношение сигнал/шум для легочной паренхимы в исследуемых группах

Signal-to-noise ratio for pulmonary parenchyma in the study groups

Выраженность артефактов уменьшалась с возрастом в связи с возможностью адекватной задержки дыхания и в 3-й группе в большинстве случаев не превышала 1 балла. Среди пациентов младшего возраста без проведения седации уровень артефактов оценивался в 2–3 балла, в условиях седации он составил 1–2 балла и не отличался от 2-й группы. Худшая визуализация субсегментарных бронхов, ВГЛУ и междолевых щелей в 1-й группе была связана не только с наличием артефактов, но и с возрастными анатомическими особенностями (меньшее развитие жировой клетчатки средостения, меньший размер дыхательных путей, незаконченное формирование листков плевры). Данные приведены в таблице 3.

Из патологических изменений у детей наиболее часто встречались тяжистые уплотнения легочной паренхимы (53,8%), кальцинаты во ВГЛУ и легочной ткани (51,0%), утолщение плевральных листков (40,4%) и консолидация (26,9%). Уплотнение легочной ткани по типу матового стекла определялось реже (15,4% случаев). Полости, участки вздутия легочной ткани и ретикулярные изменения встречались в единичных случаях. У подростков рентгенологические проявления заболевания были более разнообразны: тяжистые уплотнения легочной паренхимы – 31 случай (77,5%), симптом консолидации – 19 (47,5%), очаги – 18 (45,0%), кальцинация в легких или ВГЛУ – 18 (45,0%), утолщение листков плевры различной протяженности – 16 (40,0%), участки уплотнения по типу матового стекла – 11 (27,5%), полости – 7 (17,5%), ретикулярные изменения – 7 (17,5%).

Во всех возрастных группах визуализация участков консолидации, тяжей, плевральных изменений не представляла затруднений. Оценка очагов в легочной ткани и кальцинатов в ряде случаев осложнялась наличием артефактов при недостаточной неподвижности пациента, но при удовлетворительном уровне седации была хорошей. Зоны повышенной воздушности и ретикулярные изменения визуализировались менее отчетливо по сравнению с другими патологическими изменениями, но не являлись единственными или ведущими для оценки патологического процесса. Оценки видимости патологических изменений более подробно представлены в таблице 4.

В целом качество КТ-изображений во 2-й и 3-й группах было оценено как хорошее в большинстве случаев: 27 (82%) и 33 (100%) соответственно. В 1-й группе из 11 исследований, проведенных с седацией (подгруппа 1b), хорошее качество изображения получено в 12 случаях (92%). При отсутствии седации такое качество получали значительно реже – в 12 из 27 исследований (44%) ($\chi^2 = 5,2$; $p < 0,05$). В 13 из 27 случаев (49%) в подгруппе 1a качество было пригодным

Таблица 3

Выраженность артефактов и видимость нормальных анатомических структур в исследуемых группах

Table 3

Manifestation of artifacts and visibility of normal anatomical structures in the studied groups

Параметр / Parameter	Качество изображения (средний балл) / Image quality (mean score)				
	1-я группа / Group 1		2-я группа / Group 2	3-я группа / Group 3	4-я группа / Group 4
	1a	1b			
Артефакты / Artifacts					
Артефакты движения / Motion artifacts	2,2±0,75	1,7±0,78	1,5±0,67	1,1±0,41	1,3±0,5
Артефакты перехода сред / Media transition artifacts	2,2±0,86	1,5±0,69	1,5±0,62	1,1±0,41	1,1±0,3
Видимость нормальных анатомических структур / Visibility of normal anatomical structures					
Субсегментарные бронхи / Subsegmentary bronchi	3,3±0,87	3,2±1,14	3,7±0,46	3,9±0,24	4,00
Легочный интерстиций / Lung interstitium	3,5±0,51	3,7±0,47	3,7±0,48	3,7±0,48	3,9±0,4
Междолевые щели / Interlobar fissures	3,5±0,58	3,4±0,92	4,00	4,00	4,00
Внутригрудные лимфатические узлы / Intrathoracic lymph nodes	3,1±0,81	3,1±1,27	3,6±0,67	3,9±0,33	4,00
Костная структура / Bone structure	3,7±0,47	3,7±0,47	3,9±0,25	3,9±0,24	4,00
Клетчатка / Cellular tissue	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

Таблица 4

Видимость патологических изменений в исследуемых группах

Table 4

Visibility of pathological changes in the studied groups

Параметр / Parameter	Видимость патологических изменений (средний балл) / Visibility of pathological changes (mean score)				
	1-я группа / Group 1		2-я группа / Group 2	3-я группа / Group 3	4-я группа / Group 4
	1a	1b			
Консолидация / Consolidation	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Полости / Cavities	–	–	–	4,00	4,00
Вздутие / Swelling	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00
Тяжи / Strands	4,00	4,00	3,94±0,24	4,00	4,00
Плевра / Pleura	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Очаги / Foci	3,67±0,50	4,00	3,85±0,38	4,00	4,00
Матовое стекло / Ground-glass opacity	4,00	4,00	4,00	3,89±0,33	3,70±0,48
Кальцинаты / Calcinates	3,89±0,32	4,00	4,00	4,00	4,00
Ретикулярные изменения / Reticular changes	–	–	–	4,00	3,71±0,52

для ограниченной интерпретации, так как позволяло исключить прогрессирование туберкулезного процесса при наличии предыдущего КТ-исследования и соответствующих клинических данных.

Неудовлетворительное качество изображения, непригодное для клинической интерпретации за счет артефактов движения, отмечалось в единичных случаях в 1-й и 2-й группах (по 1 случаю).

Средние значения DLP в 1-й группе были равны $28,2 \pm 5,01$ мЗв/(мГр·см), во 2-й группе – $36,95 \pm 6,78$ мЗв/(мГр·см), в 3-й группе – $51,67 \pm 11,96$ мЗв/(мГр·см). Средняя ЭД в 1-й группе составила $1,26 \pm 0,25$ мЗв, во 2-й группе – $1,20 \pm 0,22$ мЗв, в 3-й группе – $1,59 \pm 0,58$ мЗв.

У подростков (4-я группа) качество изображения было расценено как хорошее во всех случаях. Основные для оценки туберкулезного процесса рентгенологические паттерны так же, как и у детей, визуализировались без затруднений. Средний показатель DLP составил $113,80 \pm 21,64$ мЗв/(мГр·см), а средняя ЭД – $2,06 \pm 1,92$ мЗв.

Обсуждение / Discussion

Проведенное исследование в части 1 имеет ограничения, обусловленные способом формирования выборки, так как оценивались формирующиеся посттуберкулезные изменения, представленные преимущественно очагами, тяжистыми уплотнениями легочной паренхимы, кальцинатами в легких и ВГЛУ. Однако оценка изменений, характерных для активного туберкулезного процесса (консолидация, уплотнение по типу матового стекла) в части 2 показала хорошее качество изображений, и у пациентов,

включенных в исследование, при последующем наблюдении не было необходимости проводить СДКТ ни в одном случае.

Наши данные, как и в исследовании E. Strazinger et al. [18], показывают, что получение диагностического качества изображения у детей раннего возраста в большей степени зависит от неподвижности пациента и возрастных анатомических особенностей, нежели от технических параметров.

Заключение / Conclusion

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- НДКТ у детей и подростков с туберкулезом органов дыхания при условии достаточной неподвижности пациента позволяет обеспечить хорошее качество отображения нормальных анатомических структур и патологических изменений, являющихся ведущими в оценке туберкулезного процесса;
- ЭД при НДКТ в исследуемой выборке при НДКТ ниже, чем при СДКТ, в 2,17 раза у подростков и в 1,91 раза у детей;
- при отсутствии КТ-архива у детей в возрасте 2–3 лет необходимо проведение седации во избежание неадекватной оценки кальцинатов во ВГЛУ и очагов в легких.

Литература

1. Туберкулез у взрослых. Клинические рекомендации. 2020. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/16_1 (дата обращения 14.02.2024).
2. Communicating radiation risks in paediatric imaging: Information to support healthcare discussions about benefit and risk. 2016. World Health Organization. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/978924151034> (дата обращения 14.02.2024).
3. Барковский А.Н., Ахматдинов Р.Р., Барышков Н.К. и др. (сост.) Дозы облучения населения Российской Федерации в 2019 году. Информационный сборник. СПб.: Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева; 2020: 70 с.
4. Meulepas JM, Ronckers CM, Smets AMJB, et al. Radiation exposure from pediatric CT scans and subsequent cancer risk in the Netherlands. *J Natl Cancer Inst.* 2019; 111(3): 256–63. <https://doi.org/10.1093/jnci/djy104>.
5. Nikkilä A, Raitanen J, Lohi O, Auvinen A. Radiation exposure from computerized tomography and risk of childhood leukemia: Finnish register-based case-control study of childhood leukemia (FRECCLE). *Haematologica.* 2018; 103(11): 1873–80. <https://doi.org/10.3324/haematol.2018.187716>.
6. Strauss KJ, Goske MJ, Kaste SC, et al. Image gently: ten steps you can take to optimize image quality and lower CT dose for pediatric patients. *AJR Am J Roentgenol.* 2010; 194(4): 868–73. <https://doi.org/10.2214/AJR.09.4091>.
7. Силин А.Ю., Груздев И.С., Морозов С.П. Влияние модельной итеративной реконструкции на качество изображения при стандартной и низкодозной компьютерной томографии органов грудной клетки. Экспериментальное исследование. Клиническая практика. 2020; 11(4): 49–54. <https://doi.org/10.17816/clinpract34900>.
8. Ichikawa Y, Kitagawa K, Nagasawa N, et al. CT of the chest with model-based, fully iterative reconstruction: comparison with adaptive statistical iterative reconstruction. *BMC Med Imaging.* 2013; 13: 27. <https://doi.org/10.1186/1471-2342-13-27>.
9. den Harder AM, Willemink MJ, Budde RP, et al. Hybrid and model-based iterative reconstruction techniques for pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2015; 204(3): 645–53. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.12590>.
10. Thapaliya S, Gilligan LA, Brady SL, et al. Comparison of 0.3-mSv CT to standard-dose CT for detection of lung nodules in children and young adults with cancer. *AJR Am J Roentgenol.* 2021; 217(6): 1444–51. <https://doi.org/10.2214/AJR.21.26183>.
11. Беркович Г.В., Чипига Л.А., Водоватов А.В. и др. Оптимизация низкодозового протокола сканирования органов грудной клетки в диагностике очагов по типу «матового стекла» с применением алгоритмов итеративных реконструкций. Лучевая диагностика и терапия. 2019; 4: 20–32. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-4-20-32>.
12. Вишневская А.В., Кондратьев Е.В. Снижение эффективной дозы облучения при МСКТ-перфузии головного мозга с использованием итеративных реконструкций. Медицинская визуализация. 2013; 3: 41–51.
13. Rampinelli C, Origgi D, Vecchi V, et al. Ultra-low-dose CT with model-based iterative reconstruction (MBIR): detection of ground-glass nodules in an anthropomorphic phantom study. *Radiol Med.* 2015; 120(7): 611–7. <https://doi.org/10.1007/s11547-015-0505-5>.

14. Nakajo C, Heinzer S, Montandon S, et al. Chest CT at a dose below 0.3 mSv: impact of iterative reconstruction on image quality and lung analysis. *Acta Radiol.* 2016; 57(3): 311–7. <https://doi.org/10.1177/0284185115578469>.
15. Padole A, Singh S, Ackman JB, et al. Submillisievert chest CT with filtered back projection and iterative reconstruction techniques. *AJR Am J Roentgenol.* 2014; 203(4): 772–81. <https://doi.org/10.2214/AJR.13.12312>.
16. Sun J, Zhang Q, Hu D, et al. Feasibility study of using one-tenth mSv radiation dose in young children chest CT with 80 kVp and model-based iterative reconstruction. *Sci Rep.* 2019; 9(1): 12481. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48946-z>.
17. Villanueva-Meyer JE, Naeger DM, Courtier JL, et al. Pediatric chest CT at chest radiograph doses: when is the ultralow-dose chest CT clinically appropriate? *Emerg Radiol.* 2017; 24(4): 369–76. <https://doi.org/10.1007/s10140-017-1487-5>.
18. Stranzinger E, Schindera S, Cullmann J, et al. Pediatric CT of the Lung: influences on image quality. *Open J Radiol.* 2013; 3(1): 45–50. <https://doi.org/10.4236/ojrad.2013.31007>.
19. Гомболевский В.А., Барчук А.А., Лайпан А.Ш. и др. Организация и эффективность скрининга злокачественных новообразований легких методом низкодозной компьютерной томографии. *Радиология – практика.* 2018; 1: 28–36.
20. Гусамова Н.В. и др. Скрининг рака легкого методом НДКТ. Результаты за 2015–2017 годы КГБУЗ «Красноярский краевой клинический онкологический диспансер им. А.И. Крыжановского». В кн.: Современные достижения онкологии в клинической практике: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск: РПФ «СМиК»; 2017: 210.
21. Морозов С.П., Гомболевский В.А., Владзимирский А.В. и др. Результаты первого года скрининга рака легкого с помощью низкодозной компьютерной томографии в Москве. *Вопросы онкологии.* 2019; 65(2): 224–33.
22. Беркович Г.В., Водоватов А.В., Чипига Л.А., Труфанов Г.Е. Результаты апробации комплексной экспертной оценки качества КТ-изображений органов грудной клетки, полученных на низкодозовых протоколах сканирования с применением методов итеративных реконструкций. В кн.: Конгресс российского общества рентгенологов и радиологов: сборник тезисов конференции. СПб.: Санкт-Петербургская общественная организация «Человек и его здоровье»; 2021: 36–7.
23. Приказ Минздрава России от 13.03.2019 № 127н «Об утверждении порядка диспансерного наблюдения за больными туберкулезом, лицами, находящимися в контакте с источниками туберкулеза, а также лицами с подозрением на туберкулез и излеченными от туберкулеза и признании утратившими силу пунктов 16–17 Порядка оказания медицинской помощи больным туберкулезом, утвержденного приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 15 ноября 2012 г. № 932н». URL: <https://base.garant.ru/72725106/> (дата обращения 14.02.2024).

References

1. Tuberculosis in adults. Clinical guidelines. 2020. Available at: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/16_1 (in Russ.) (accessed February 14, 2024).
2. Communicating radiation risks in paediatric imaging: Information to support healthcare discussions about benefit and risk. 2016. World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/978924151034> (accessed February 14, 2024).
3. Barkovsky AN, Akhmatdinov RR, Baryshkov NK, et al. (Comp) Radiation doses of the population of the Russian Federation in 2019. Information collection. Saint Petersburg; Ramzaev Saint Petersburg Scientific Research Institute of Radiation Hygiene: 2020: 70 pp (in Russ).
4. Meulepas JM, Ronckers CM, Smets AMJB, et al. Radiation exposure from pediatric CT scans and subsequent cancer risk in the Netherlands. *J Natl Cancer Inst.* 2019; 111(3): 256–63. <https://doi.org/10.1093/jnci/djy104>.
5. Nikkilä A, Raitanen J, Lohi O, Auvinen A. Radiation exposure from computerized tomography and risk of childhood leukemia: Finnish register-based case-control study of childhood leukemia (FRECCLE). *Haematologica.* 2018; 103(11): 1873–80. <https://doi.org/10.3324/haematol.2018.187716>.
6. Strauss KJ, Goske MJ, Kaste SC, et al. Image gently: ten steps you can take to optimize image quality and lower CT dose for pediatric patients. *AJR Am J Roentgenol.* 2010; 194(4): 868–73. <https://doi.org/10.2214/AJR.09.4091>.
7. Silin AY, Gruzdev IS, Morozov SP. The influence of model iterative reconstruction on the image quality in standard and low-dose computer tomography of the chest. *Experimental study. Journal of Clinical Practice.* 2020; 11(4): 49–54 (in Russ). <https://doi.org/10.17816/clinpract34900>.
8. Ichikawa Y, Kitagawa K, Nagasawa N, et al. CT of the chest with model-based, fully iterative reconstruction: comparison with adaptive statistical iterative reconstruction. *BMC Med Imaging.* 2013; 13: 27. <https://doi.org/10.1186/1471-2342-13-27>.
9. den Harder AM, Willemink MJ, Budde RP, et al. Hybrid and model-based iterative reconstruction techniques for pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2015; 204(3): 645–53. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.12590>.
10. Thapaliya S, Gilligan LA, Brady SL, et al. Comparison of 0.3-mSv CT to standard-dose CT for detection of lung nodules in children and young adults with cancer. *AJR Am J Roentgenol.* 2021; 217(6): 1444–51. <https://doi.org/10.2214/AJR.21.26183>.
11. Berkovich GV, Chipiga LA, Vodovатов AV, et al. Optimization of low-dose chest CT protocols for the evaluation of the ground glass nodules using different iterative reconstruction algorithms. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy.* 2019; 4: 20–32 (in Russ). <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-4-20-32>.
12. Vishnevskaya AV, Kondratyev EV. Effective dose reduction in MSCT brain perfusion by using iterative reconstruction. *Medical Visualization.* 2013; 3: 41–51 (in Russ).
13. Rampinelli C, Origgi D, Vecchi V, et al. Ultra-low-dose CT with model-based iterative reconstruction (MBIR): detection of ground-glass nodules in an anthropomorphic phantom study. *Radiol Med.* 2015; 120(7): 611–7. <https://doi.org/10.1007/s11547-015-0505-5>.
14. Nakajo C, Heinzer S, Montandon S, et al. Chest CT at a dose below 0.3 mSv: impact of iterative reconstruction on image quality and lung analysis. *Acta Radiol.* 2016; 57(3): 311–7. <https://doi.org/10.1177/0284185115578469>.

15. Padole A, Singh S, Ackman JB, et al. Submillisievert chest CT with filtered back projection and iterative reconstruction techniques. *AJR Am J Roentgenol*. 2014; 203(4): 772–81. <https://doi.org/10.2214/AJR.13.12312>.
16. Sun J, Zhang Q, Hu D, et al. Feasibility study of using one-tenth mSv radiation dose in young children chest CT with 80 kVp and model-based iterative reconstruction. *Sci Rep*. 2019; 9(1): 12481. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48946-z>.
17. Villanueva-Meyer JE, Naeger DM, Courtier JL, et al. Pediatric chest CT at chest radiograph doses: when is the ultralow-dose chest CT clinically appropriate? *Emerg Radiol*. 2017; 24(4): 369–76. <https://doi.org/10.1007/s10140-017-1487-5>.
18. Stranzinger E, Schindera S, Cullmann J, et al. Pediatric CT of the Lung: influences on image quality. *Open J Radiol*. 2013; 3(1): 45–50. <https://doi.org/10.4236/ojrad.2013.31007>.
19. Gombolevsky VA, Barchuk AA, Laipan AS, et al. Lung cancer screening with low-dose computed tomography: management and efficiency. *Radiology – Practice*. 2018; 1: 28–36 (in Russ).
20. Gusamova NV, et al. Lung cancer screening by NDCT. Results for 2015–2017 in Kryzhanovsky Krasnoyarsk Regional Clinical Oncological Dispensary. In: Current achievements of oncology in clinical practice: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Krasnoyarsk; 2017: 210 (in Russ).
21. Morozov SP, Gombolevsky VA, Vladzimirskiy AV, et al. Low-dose computed tomography in Moscow for lung cancer screening (LDCT-MLCS): baseline results. *Voprosy onkologii*. 2019; 65(2): 224–33 (in Russ).
22. Berkovich GV, Vodovатов AV, Chipiga LA, Trufanov GE. Results of approbation of a comprehensive expert assessment of chest CT images quality obtained using low-dose scanning protocols with iterative reconstruction methods. In: Congress of the Russian Society of Radiologists and Radiologists: collection of conference abstracts. Saint Petersburg: Saint Petersburg Public Organization “Human and Health”; 2021: 36–7 (in Russ).
23. Order of the Ministry of Health of the RF dated March 13, 2019, No. 127n “On approval of the procedure for dispensary monitoring of tuberculosis patients, persons in contact with tuberculosis sources, as well as persons suspected of tuberculosis and cured of tuberculosis and invalidation of paragraphs 16-17 of the Procedure for providing medical care to tuberculosis patients, approved by the Order of the Ministry of Health of the RF dated November 15, 2012, No. 932n”. Available at: <https://base.garant.ru/72275106/> (in Russ.) (accessed February 14, 2024).