



НИЗКОДОЗОВАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В ПЕДИАТРИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ: РОЛЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ЦИФРОВОГО ТОМОСИНТЕЗА

© Хильда Юрьевна Симоновская

Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова. 107014, Москва, Рубцовско-Дворцовая ул., 1/3

Контактная информация: Хильда Юрьевна Симоновская — ассистент кафедры педиатрии. E-mail: hildas@yandex.ru

Резюме. Вектор профилактической медицины в педиатрии формирует активный запрос на снижение лучевой нагрузки при обследовании несовершеннолетних пациентов без потерь качества визуализации патологических изменений и точности диагностики. Для этой цели уточняют показания к использованию применяемых методик и укладок, сокращают число повторных исследований, оптимизируют маршрутизацию пациентов и т.д. Данный обзор отечественных и зарубежных литературных данных посвящен возможностям применения низкодозовой методики рентгенологической диагностики — цифрового томосинтеза (ТС) — в диагностике широкого спектра заболеваний у детей, а также перспективам дальнейшего развития методики для решения специфических задач, связанных с обследованием пациентов детского возраста.

Ключевые слова: цифровой томосинтез, рентгенография, мультиспиральная компьютерная томография, заболевания костей и суставов, остеология, интерстициальные заболевания легких, пульмонология, грудная клетка, лучевая нагрузка.

LOW-DOSE IMAGING IN PEDIATRIC PRACTICE: THE ROLE AND PERSPECTIVES OF APPLYING THE DIGITAL TOMOSYNTHESIS TECHNIQUE

© Hilda Yu. Simonovskaya

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. 107014, Moscow, Rubtsovsko-Dvortsovaya str., 1/3

Contact information: Hilda Yu. Simonovskaya — Assistant of the Department of Pediatrics. E-mail: hildas@yandex.ru

Abstract. The vector of preventive medicine in Pediatrics creates an active request to reduce the radiation exposure in the children examination without losing the quality of visualization of pathological changes and the accuracy of diagnosis. For this purpose, they clarify the indications for the use of the applied techniques and laying poses, reduce the number of repeated studies, optimize evacuation path for patients, etc. This review of domestic and foreign literature data is devoted to the possibilities of using a low-dose method of x-ray diagnostics — digital tomosynthesis (TS) — in the diagnosis of a wide range of diseases in children, as well as the prospects for further development of the method for solving specific problems associated with the examination of children's patients.

Key words: digital tomosynthesis, radiography, X-ray, multispiral computed tomography, bones and joints diseases, osteology, interstitial lung diseases, pulmonology, chest, radiation load.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Физические явления, лежащие в основе применяемых в настоящее время методов лучевой диагностики, используют в медицинской практике уже более 40 лет, однако до сих пор не удалось достичь междисциплинарного консенсуса по вопросу наиболее целесообразного их использования для решения прикладных диагностических задач в педиатрии. По мере совершенствования службы луче-

вой диагностики в Российской Федерации (РФ) и накопления доказательных данных диагностический принцип «от простого к сложному» (т.е. от доступных и относительно простых исследований к более трудоемким и затратным) уступает место алгоритмизации обследования с учетом предварительного диагноза. Внедрение подобного подхода в педиатрической практике позволяет сократить продолжительность обследования, минимизировать

лучевую нагрузку на пациентов и требует постепенного закрепления в клинических рекомендациях. В настоящее время острая потребность в алгоритмизации диагностического этапа медицинской помощи связана в том числе с ограничениями, вызванными пандемией COVID-19 (лимитированность ресурсов лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ), перегруженность медицинских работников, необходимость соблюдения карантинных мероприятий и т.д.).

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДИКИ ТОМОСИНТЕЗА

При использовании различных вариантов лучевой диагностики изображения можно получить проекционным способом (рентгенография, рентгеноскопия, ангиография, плоскостная сцинтиграфия) либо томографическим, т.е. послойным (КТ, МРТ, УЗИ, ПЭТ). Для снимков, сформированных проекционно, характерен так называемый суммационный эффект, представляющий собой наложение изображений различных органов и тканей, расположенных вдоль прохождения пучка рентгеновского излучения. На рентгенограмме органов грудной клетки в прямой проекции позвоночный столб и медиальные сегменты легочной ткани у детей частично прикрыты тенью сердца, вилочковой железы и сосудистого пучка, что затрудняет распознавание и уточнение локализации патологических изменений, не позволяет исключить их маскировку за рентгенографической тенью других органов.

Проблема недостаточной проекционной визуализации на фоне суммационного эффекта может быть отчасти решена благодаря томосинтезу (ТС) — современной методике рентгенологической диагностики, позволяющей получать определенное количество послойных изображений объемной реконструкцией срезов. Технология позволяет оперативно (за один проход рентгеновской трубки) обследовать обширную анатомическую зону, диагностировать трудноразличимые при цифровой рентгенографии патологические изменения без потери качества получаемых изображений, что особенно актуально в педиатрической практике. В определенных клинических ситуациях такой подход позволяет получить необходимые данные без проведения мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ), что позволяет снизить лучевую нагрузку, по разным данным, в 7–10,5 раз [3, 4].

К настоящему времени в РФ широко распространены цифровые рентгеновские аппараты отечественного и зарубежного производства, по пространственному разрешению, динамическому диапазону и контрастной чувствительности зна-

чительно превосходящие аналоговую методику. Данный класс аппаратов оснащен возможностью создания серии томограмм без суммационного эффекта с низкой лучевой нагрузкой [29]. В литературе описаны возможности и уточнено место методики ТС в диагностике заболеваний опорно-двигательной системы [5], органов грудной клетки [3], а также при обнаружении патологических изменений в тканях молочных желез (в том числе у пациенток подросткового возраста, которым не показана компьютерная маммография) [7]. Исследовательские работы, касающиеся применения ТС в пульмонологической практике, сосредоточены на ранней диагностике очаговых процессов [8, 9] и интерстициальных болезней легких [30], в том числе туберкулеза [6], пневмоний (включая вызванную SARS-CoV-2) [15, 20–22], а также для визуализации изменений, сформировавшихся вследствие хронических процессов (муковисцидоз, хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) и др.). Тем не менее для обследования пациентов детского возраста данную методику до сих пор применяют весьма ограниченно.

ОБСЛЕДОВАНИЕ КОСТЕЙ И СУСТАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОМОСИНТЕЗА

Методику ТС широко применяют для диагностики заболеваний опорно-двигательной системы, особенно патологических изменений в шейном отделе позвоночника, в том числе для оценки соотношения C_1 – C_2 . У детей раннего возраста в указанной области нередко возникает ротационный подвывих, рентгенологическая диагностика которого затруднена необходимостью специальной укладки пациента (с открытым ртом) для устранения суммационного эффекта, проведения функциональных проб, что зачастую требует повторных снимков. При ТС возможно эффективное определение патологических изменений в C_1 – C_2 на единственной серии томограмм без укладки с открытым ртом [5].

Четкость послойной визуализации костно-трабекулярных структур при ТС позволяет оценивать структурные и статические изменения во всех отделах позвоночника (склерозирование и узурация замыкательных пластин, неравномерное снижение высоты межпозвонковых дисков, минимальные краевые костные заострения и т.д.). Ранняя диагностика остеохондропатий значима при планировании консервативно-восстановительного лечения и особенно при разработке режима занятий спортом у детей и подростков. Для исследования грудного и поясничного отделов позвоночника наиболее информативны томограммы в боковой проекции.

Послойная визуализация сложных анатомических структур, входящих в состав скелета стопы и кисти, имеет особенную значимость в педиатрической ортопедии и травматологии с учетом широкой вариабельности возрастной нормы и сроков оссификации костей. Применение ТС способствует ранней диагностике патологических изменений дистальных сегментов конечностей без применения множественных рентгенографических укладок и МСКТ.

В ряде случаев методика ТС позволяет получить необходимую информацию при обследовании пациентов детского возраста с подозрением на доброкачественные опухоли и опухолеподобные заболевания костей [5]. Преимущества ТС над проекционной рентгенографией выражены ярче, если область, подлежащая исследованию, содержит металлические элементы (скобы, импланты, спицы, пластины и др.) [10].

ОБСЛЕДОВАНИЕ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОМОСИНТЕЗА

Для детального изучения патологических изменений органов грудной клетки, не поддающихся рентгенографической фиксации вследствие суммационного эффекта, методом выбора признана МСКТ. Эта методика позволяет детально оценить анатомические и патологические изменения легких, плевры, костных элементов и органов средостения. Подобная диагностическая тактика может быть ограничена относительно высокой лучевой нагрузкой [11] и потребностью в седации у детей раннего возраста (с целью обеспечения неподвижности на время исследования). Применение ТС, как правило, позволяет удовлетворительно визуализировать область, интересующую клинициста, даже на фоне движений бодрствующего пациента. Это особенно значимо при выполнении исследования у детей, неспособных произвольно задерживать дыхание ввиду раннего возраста или в связи с тяжестью состояния. Подобная клиническая ситуация была смоделирована J.T. Rakowski (2018) с использованием 4D-модели ТС легких на фоне движения грудной клетки. Автором был сделан вывод о возможности получения качественного изображения путем технического и программного уменьшения влияния динамических и анатомических артефактов [12].

При ТС тени грудино-ключично-сосцевидных, лестничных, больших и малых грудных мышц, а также молочных желез и сосков, понижающие прозрачность легочных полей и способные имитировать патологический процесс при стандартном рентгенографическом обследовании органов

грудной клетки в прямой проекции, практически не влияют на оценку характеристик органов средостения и легочной ткани. Учитывая значимую вариабельность анатомических характеристик молочных желез (величина, расположение и рентгенологическая плотность), анализ серии томограмм обеспечивает убедительное преимущество при обследовании органов грудной клетки пациенток подросткового возраста [3].

Томосинтез в обследовании тканей молочных желез

До настоящего времени методике ТС свойствен ряд технических ограничений (сложность обнаружения патологических образований в субплевральной области, появление на изображении артефактов от присутствия несъемных медицинских устройств, дыхания и движения пациента и т.д.). После внедрения усовершенствований, позволяющих устранить лимитирующее влияние указанных ограничений, ТС, по всей видимости, займет место исследования первой линии в обследовании пациентов с риском опухолей легких [8].

Y. Zhang и соавт. (2017) в рамках клинического исследования применили различные варианты методики ТС для определения локализации опухолевых процессов в грудной клетке. Авторы пришли к выводу, что ортогональный фазовый ТС позволяет наиболее точно решить поставленную задачу даже на фоне дыхательных движений пациента (погрешность составила $1,8 \pm 0,7$ мм) [9].

Потенциал сочетанного применения ТС с ультразвуковым исследованием и цифровой маммографией для обследования тканей молочных желез хорошо изучен [7, 13]. Диагностические возможности указанных подходов анализируют с применением антропоморфных модульных фантомов грудной клетки и молочных желез, позволяющих стандартизировать методику по отдельным ключевым параметрам (обнаружение кальцификатов, мелкоочаговых поражений и т.д.) [14].

Томосинтез в диагностике интерстициальных болезней легких

Благодаря отсутствию суммационного эффекта диагностическая ценность ТС для выявления интерстициальных болезней легких достоверно выше, чем при стандартной рентгенографии грудной клетки ($p < 0,05$). По данным контролируемого исследования чувствительность ТС в определении указанной группы состояний составила 83,3%, а отрицательная прогностическая ценность — 89% (рентгенография — 43,9 и 70,9% соответственно). Межэкспертная согласованность и достоверность

диагноза, сформулированного с учетом результатов ТС, оказались значительно лучше, чем у рентгенографии ($p < 0,001$). По мнению авторов, преимущества ТС перед рентгенографией позволяют рассматривать вопрос об использовании методики в качестве стартовой в группе пациентов с подозрением на интерстициальные болезни легких [30, 31].

Комплексное клинико-рентгеноморфологическое обследование 170 пациентов с очагово-инфильтративными изменениями на рентгенограммах, которые позволили заподозрить туберкулез легких, подтвердило диагноз у 121 пациента. При этом чувствительность ТС в выявлении специфических патологических изменений составила 74,9% (показатель больше, чем при рентгенографии, на 17,7% и меньше, чем при МСКТ, на 18,6%). Судя по всему, использование ТС в качестве уточняющей методики целесообразно для обследования пациентов с подозрением на туберкулез легких, поскольку позволяет выявлять, достоверно оценивать распространенность и детально характеризовать очагово-инфильтративные изменения в ткани органа [6].

Согласно рекомендациям, сформулированным в Национальном руководстве по диагностике и лечению внебольничной пневмонии у детей Соединенного Королевства и Соединенных Штатов, «рентгенологам следует улучшить рентгенографическую диагностику пневмонии, достичь терминологического консенсуса и менять метод визуализации, если это повышает точность или надежность» [15]. В отечественных клинических рекомендациях, разработанных Российским респираторным обществом и Межрегиональной ассоциацией по клинической микробиологии и антимикробной химиотерапии (2018) [20], сделан акцент на том, что «у части больных рентгенологическая картина нетипична или клинические проявления, сходные с пневмонией, обусловлены другим патологическим процессом. В этих случаях полезными могут быть другие методы лучевой диагностики».

На роль обсуждаемой альтернативы, помимо УЗИ легких, МСКТ и МРТ соответствующего сегмента тела, может претендовать в том числе и ТС органов грудной клетки. По данным Н.Н. Боголеповой и соавт. (2010) [22], впервые давших оценку роли методики в детском ЛПУ по итогам анализа результатов 57 исследований, информативность ТС выше, чем при цифровой рентгенографии и линейной томографии, но ниже, чем при МСКТ. В то же время низкая доза облучения при ТС, сопоставимая с латеральной рентгенографией легких, под-

тверждает целесообразность применения методики в педиатрической практике.

В исследовании, описанном В.А. Нечаевым и А.Ю. Васильевым (2016) [21], при обследовании 128 пациентов было показано, что ТС превосходит цифровую рентгенографию в обнаружении многих рентгеносемиотических признаков, в связи с чем может быть полезен для повышения эффективности диагностики. Несмотря на то, что ТС несколько уступает МСКТ в точности распознавания симптомов, в 67,2% наблюдений включение методики в план обследования позволило получить дополнительную информацию. Заслуживает внимания то, что у 39,8% обследованных данные, полученные при ТС, оказались клинически значимыми и повлияли на дальнейшую тактику ведения этих пациентов.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОМОСИНТЕЗА ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ДЕТЕЙ

Одно из очевидных преимуществ ТС над другими вариантами лучевой диагностики с возможностью объемной реконструкции изображения состоит в достоверном уменьшении лучевой нагрузки. В клинической практике это позволяет повторно обследовать пациента для оценки эффективности проводимого лечения в динамике. К. Vult von Steyern и соавт. (2014) по итогам ТС-обследования 38 детей с муковисцидозом и 36 детей с узловыми новообразованиями легких рассчитали усредненные параметры эффективной дозы как ориентировочные для обследования детей. Всего ими было выполнено 17 исследований в переднезадней проекции и 169 исследований в заднепередней проекции (40 мальчиков и 34 девочки от 7 до 20 лет) [17].

В расчетах авторы использовали данные о конверсии ТС грудной клетки у детей с поправкой на возраст; средняя задняя эффективная доза на одну процедуру составила 0,17 мЗв. Предложены к использованию упрощенные коэффициенты пересчета на возраст пациента:

- 0,6 мЗв $\text{Гр} \cdot \text{см}^{-2}$ у 8–10-летних;
- 0,4 мЗв $\text{Гр} \cdot \text{см}^{-2}$ у 11–14-летних;
- 0,3 мЗв $\text{Гр} \cdot \text{см}^{-2}$ у 15–17-летних детей.

При таком варианте определения расчетная средняя задняя эффективная доза составила 0,15 мЗв. Погрешность в случае использования перечисленных упрощенных коэффициентов, адаптированных для педиатрической практики, авторы называют незначительной.

По данным А. Blum и соавт. (2018), эффективная доза облучения для пациента при выполнении ТС превышает показатель при цифровой

рентгенографии с плоской детекторной панелью не более чем в 2–3 раза [10]. Работы, выполненные в 2014–2017-х годах, демонстрируют резерв дальнейшего снижения лучевой нагрузки без потери качества получаемого изображения [23, 24]. Данный факт особенно значим при сопоставлении клинической ценности методики ТС и новых протоколов МСКТ с очень низкой дозой: например, использование ТС для оценки динамики восстановления запястья после травматического повреждения позволило добиться 28-кратного снижения дозы облучения [25].

Выполнение ТС у детей возможно в положении стоя или лежа в зависимости от исследуемой области, возраста, индивидуальных физических особенностей и тяжести состояния пациента. Для исследования позвоночника, органов грудной клетки, в том числе с функциональными пробами, следует отдавать предпочтение исследованию пациента в положении стоя, ТС костей конечностей целесообразно выполнять в положении лежа. С исследуемой области следует снять одежду и украшения, также необходимо обеспечить защиту органов репродуктивной системы от рентгеновского излучения (надеть экранирующий фартук спереди, если предстоит укладка «на спине» или «стоя лицом к излучателю», и сзади, если выбрано положение «спиной к излучателю»). Если ребенок ввиду возраста или тяжести состояния не может самостоятельно поддерживать необходимое положение тела, экранирующий фартук также надевает ассистирующий (удерживающий ребенка в нужном положении) законный представитель. При необходимости обследовать в положении стоя ребенка ниже 120 см целесообразно применять устойчивые подставки с регулируемой высотой; в этом случае ассистирующий при исследовании взрослый фиксирует ребенка на подставке во избежание падения [2].

ПРИМЕНЕНИЕ ТОМОСИНТЕЗА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. НОРМАТИВНАЯ БАЗА

Авторство и правообладание на изобретение «Способ проведения томосинтеза органов грудной полости», зарегистрированное 18.04.2017 под охранным документом (патентом) № 0002616583, принадлежат Г.В. Ратобильскому и М.М. Никитину. Выполнение ТС пациентам детского возраста имеет технические и организационные особенности, подробно описанные в главе 6 монографии «Томосинтез» под ред. А.Ю. Васильева [2].

В настоящее время методика ТС не фигурирует среди основных или дополнительных методов обследования, рекомендуемых методическими [1] или клиническими рекомендациями [20, 32, 33],

регламентирующими педиатрическую практику на территории Российской Федерации. Проведение ТС возможно при выполнении одного из следующих условий:

- проведение ТС запланировано лечащим врачом (с оформлением соответствующих показаний к исследованию в карте амбулаторного пациента или истории болезни);
- проведение ТС рекомендовано врачом лучевой диагностики в рамках дообследования (о чем содержатся сведения в протоколе ранее выполненного исследования);
- конкретная клиническая ситуация соответствует критериям включения в исследовательскую работу, имеющую положительное заключение Межвузовского комитета по этике, а от законных представителей несовершеннолетнего (либо самого несовершеннолетнего старше 15 лет), получивших необходимые разъяснения, получено информированное добровольное согласие на проведение ТС [2]. При этом к медицинской документации пациента должны быть приобщены копия заключения Межвузовского комитета по этике, копия информированного добровольного согласия, электронный носитель с неанонимизированной записью исследования и копия протокола описания.

ОБНОВЛЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ТОМОСИНТЕЗА

В ретроспективном наблюдательном исследовании, посвященном оценке деятельности отделения торакальной радиологии многопрофильного ЛПУ, было установлено, что в перспективе ТС может частично заменить цифровую рентгенографию как менее информативную методику и МСКТ как высокодозовую. По мнению авторов, перспективы экспансивного внедрения ТС в алгоритмы диагностики могут снизить потребность в цифровой рентгенографии как минимум на 20% (преимущественно за счет сокращения снимков в боковой проекции) и МСКТ на 25% [18].

Согласно опубликованным экспертным оценкам, широкое внедрение ТС в алгоритмы обследования органов грудной клетки у пациентов детского возраста (с учетом результатов рентгенографии) способно обеспечить клинициста необходимой информацией и снизить потребность в МСКТ на 70–80% [11, 19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ТС представляет собой эффективную и щадящую методику лучевой диагностики, позволяющую выявить либо уточнить характер патологических

изменений костно-суставной системы или органов грудной клетки у детей старше 3 лет без потребности в седации и привлечения высокодозовых технологий. Требуется дальнейшего детального изучения возможности применения ТС в следующих клинических ситуациях: необходимость дообследования при наличии очаговых теней в ткани легких и молочных желез, потребность в детальной визуализации пороков развития органов грудной клетки и других анатомических особенностей, подозрение на внебольничную пневмонию и т.д. По мере накопления данных доказательной медицины, подтверждающих целесообразность внедрения ТС в алгоритм обследования при тех или иных патологических состояниях, целесообразно выносить соответствующий вопрос на междисциплинарное обсуждение экспертных групп и профессиональных сообществ, регулярно пересматривающих клинические рекомендации по тем или иным состояниям.

ФИНАНСИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов С.П., Бурмистров Д.С., Босин В.Ю., Шаповал О.А., Лайпан А.Ш. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 8. Лучевая диагностика травм, заболеваний и других патологических состояний у детей. Методические рекомендации № 68. Рекомендовано экспертным союзом по науке Департамента здравоохранения города Москвы 16 июля 2018 года.
2. Томосинтез. Под ред. А.Ю. Васильева. М.: Икар; 2020.
3. Васильев А.Ю., Нечаев В.А., Блинов Н.Н., Садиков П.Н., Новоселова Е.В. Томосинтез в диагностике заболеваний органов грудной клетки. Учебное пособие. М.: 2017.
4. Боголепова Н.Н., Ростовцев М.В. Использование томосинтеза в детском лечебном учреждении. Педиатрический вестник Южного Урала. 2013; 2: 49–56.
5. Шолохова Н.А., Кульгускин И.Ю., Ганиева А.М., Попов В.В., Скопина А.А., Карпов С.С. Томосинтез в диагностике заболеваний костно-суставной системы у детей. М.: Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова; 2018.
6. Никитин М.М. Возможности цифрового томосинтеза в диагностике различных форм туберкулеза легких. Russian Electronic Journal of Radiology (REJR). 2016; 6 (1): 35–47. DOI 10.18411/a-2016-004.
7. Lee J.M., Partridge S.C., Liao G.J., Hippe D.S. et al. Double reading of automated breast ultrasound with digital mammography or digital breast tomosynthesis for breast cancer screening. Clin Imaging. 2019; 55: 119–25. DOI: 10.1016/j.clinimag.2019.01.019. Epub 2019 Jan 23. [PMID: 30807927]
8. Ferrari A., Bertolaccini L., Solli P., Di Salvia P.O., Scaradozzi D. Digital chest tomosynthesis: the 2017 updated review of an emerging application. Ann Transl Med. 2018; 6(5): 91. [PMID: 29666814]
9. Zhang Y., Ren L., Vergalasova I., Yin F.F. Clinical Study of Orthogonal-View Phase-Matched Digital Tomosynthesis for Lung Tumor Localization. Technol Cancer Res Treat. 2017; 1: 1533034617705716. DOI: 10.1177/1533034617705716. [PMID: 28449625]
10. Blum A., Noël A., Regent D., Villani N. et al. Tomosynthesis in musculoskeletal pathology. Diagn Interv Imaging. 2018; 99(7–8): 423–41. DOI: 10.1016/j.diii.2018.05.001. Epub 2018 May 30. [PMID: 29859831]
11. Johnsson Å.A., Vikgren J., Båth M. A retrospective study of chest tomosynthesis as a tool for optimizing the use of computed tomography resources and reducing patient radiation exposure. Acad. Radiol. 2014; 21: 1427–33. [25097012]
12. Rakowski J.T. Model evaluation of rapid 4-dimensional lung tomosynthesis. Adv Radiat Oncol. 2018; 3(3): 431–8. DOI: 10.1016/j.adro.2018.03.001. [PMID: 30202810]
13. Hadjipanteli A., Kontos M., Constantinidou A. The role of digital breast tomosynthesis in breast cancer screening: a manufacturer- and metrics-specific analysis. Cancer Manag Res. 2019; 11: 9277–96. DOI: 10.2147/CMAR.S210979. eCollection 2019. Review. [PMID: 31802947]
14. Rossman A.H., Catenacci M., Zhao C., Sikaria D. et al. Three-dimensionally-printed anthropomorphic physical phantom for mammography and digital breast tomosynthesis with custom materials, lesions, and uniform quality control region. J Med Imaging (Bellingham). 2019; 6(2): 021604. DOI: 10.1117/1.JMI.6.2.021604. Epub 2019 Mar 22. [PMID: 30915385]
15. Andronikou S., Lambert E., Halton J., Hilder L. et al. Guidelines for the use of chest radiographs in community-acquired pneumonia in children and adolescents. Pediatr Radiol. 2017; 47(11): 1405–11. [PMID: 29043422]
16. Elemraïd M.A., Muller M., Spencer D.A., Rushton S.P.; North East of England Paediatric Respiratory Infection Study Group. Accuracy of the interpretation of chest radiographs for the diagnosis of paediatric pneumonia. PLoS One. 2014; 9(8): e106051. DOI: 10.1371/journal.pone.0106051. eCollection 2014. [PMID: 25148361]
17. Vult von Steyrn K., Björkman-Burtscher I.M., Weber L., Höglund P., Geijer M. Effective dose from chest tomosynthe-

- sis in children. *Radiat Prot Dosimetry*. 2014; 158(3): 290–8. [PMID: 24026899]
18. Petersson C., Båth M., Vikgren J., Johnsson Å.A. An analysis of the potential role of chest tomosynthesis in optimising imaging resources in thoracic radiology. *Radiat Prot Dosimetry*. 2016; 169(1–4): 165–70. [PMID: 26979807]
 19. Quaia E., Baratella E., Cernic S., Lorusso A., Casagrande F., Cioffi V., Cova M.A. Analysis of the impact of digital tomosynthesis on the radiological investigation of patients with suspected pulmonary lesions on chest radiography. *Eur. Radiol*. 2012; 22: 1912–22.
 20. Внебольничная пневмония. Клинические рекомендации. Российское респираторное общество и Межрегиональная ассоциация по клинической микробиологии и антимикробной химиотерапии. 2018.
 21. Nechaev V.A., Vasiliev A.Yu. Capabilities of tomosynthesis in diagnosing chest diseases and injuries. *Современные технологии в медицине (СТМ)*. 2016; 8(2): 59–64.
 22. Боголепова Н.Н., Ростовцев М.В. Опыт использования томосинтеза в детском лечебном учреждении. *Медицинская визуализация*. 2010; 2: 67.
 23. Miyata K., Nagatani Y., Ikeda M., Takahashi M. et al. A phantom study for ground-glass nodule detectability using chest digital tomosynthesis with iterative reconstruction algorithm by ten observers: association with radiation dose and nodular characteristics. *Br J Radiol*. 2017; 90. [PMID: 28102693]
 24. Asplund S.A., Johnsson A.A., Vikgren J., Svallkvist A. et al. Effect of radiation dose level on the detectability of pulmonary nodules in chest tomosynthesis. *Eur Radiol*. 2014; 24: 1529–36. [PMID: 24792590]
 25. Noel A., Ottenin M.A., Germain C., Soler M., Villani N., Grospretre O. et al. Comparison of irradiation for tomosynthesis and CT of the wrist. *J Radiol*. 2011; 92: 32–9. [PMID: 21352724]
 26. Мазуров А.И. Последние достижения в цифровой рентгенотехнике. *Медицинская техника*. 2010; 5: 10–3.
 27. Grant D.G. Tomosynthesis: a three-dimensional radiographic imaging technique. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 1972; 19(1): 20–8.
 28. Cynthia E., Keen D.R. Pumps new life into tomosynthesis-based radiography. *Annt. Minnie Job. Classifieds*. 2007; 1: 58–62.
 29. Никитин М.М., Ратобильский Г.В. Цифровой томосинтез в диагностике и контроле эффективности лечения туберкулеза органов дыхания (обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2016; 3: 95–102.
 30. Kruamak T., Edwards R., Cheng S., Hippe D.S. et al. Accuracy of Digital Tomosynthesis of the Chest in Detection of Interstitial Lung Disease Comparison With Digital Chest Radiography. *Comparative Study. J Comput Assist Tomogr*. 2019; 43(1): 109–14. [PMID: 30119061]
 31. Kim J.H., Lee K.H., Kim K.-T., Kim H.J. et al. Comparison of Digital Tomosynthesis and Chest Radiography for the Detection of Pulmonary Nodules: Systematic Review and Meta-Analysis. *Br J Radiol*. 2016; 89(1068): 20160421. [PMID: 27759428]
 32. Туберкулез у детей. Клинические рекомендации Российского общества фтизиатров. 2020.
 33. Кистозный фиброз (муковисцидоз). Возрастная группа: дети/взрослые. Клинические рекомендации Союза педиатров России, Ассоциации медицинских генетиков, Российского респираторного общества. 2019.

REFERENCES

1. Morozov S.P., Burmistrov D.S., Bosin V.Yu., Shapoval O.A., Laypan A.Sh. Informativnost' metodov luchevoy diagnostiki pri razlichnykh patologicheskikh sostoyaniyakh organizma. [Informativeness of methods of radiation diagnostics for various pathological conditions of the body]. *Razdel 8. Luchevaya diagnostika travm, zabolevaniy i drugikh patologicheskikh sostoyaniy u detey. Metodicheskiye rekomendatsii № 68. Rekomendovano ekspertnym soyuzom po nauke Departamenta zdravookhraneniya goroda Moskvyy 16 iyulya 2018 goda. (in Russian)*.
2. Tomosintez. [Tomosynthesis]. Pod red. A.Yu. Vasil'yeva. Moscow: Ikar Publ.; 2020. (in Russian).
3. Vasil'yev A. Yu., Nechayev V.A., Blinov N.N., Sadikov P.N., Novoselova Ye.V. Tomosintez v diagnostike zabolevaniy organov grudnoy kletki. [Tomosynthesis in the diagnosis of diseases of the chest organs]. *Uchebnoye posobiye. Moscow: 2017. (in Russian)*.
4. Bogolepova N.N., Rostovtsev M.V. Ispol'zovaniya tomosinteza v detskom lechebnoy uchrezhdenii. [The use of tomosynthesis in a children's hospital]. *Pediatricheskii vestnik Yuzhnogo Urala*. 2013; 2: 49–56. (in Russian).
5. Sholokhova N.A., Kul'guskin I.Yu., Ganiyeva A.M., Popov V.V., Skopina A.A., Karpov S.S. Tomosintez v diagnostike zabolevaniy kostno-sustavnoy sistemy u detey. [Tomosynthesis in the diagnosis of diseases of the osteoarticular system in children]. Moscow: Moskovskiy gosudarstvennyy mediko-stomatologicheskii universitet im. A.I. Yevdokimova; 2018. (in Russian).
6. Nikitin M.M. Vozmozhnosti tsifrovogo tomosinteza v diagnostike razlichnykh form tuberkuloza logkikh. [Possibilities of digital tomosynthesis in the diagnosis of various forms of pulmonary tuberculosis]. *Russian Electronic Journal of Radiology (REJR)*. 2016; 6 (1): 35–47. DOI 10.18411/a-2016-004. (in Russian).
7. Lee J.M., Partridge S.C., Liao G.J., Hippe D.S. et al. Double reading of automated breast ultrasound with digital mammography or digital breast tomosynthesis for breast cancer screening. *Clin Imaging*. 2019; 55: 119–25. DOI:

- 10.1016/j.clinimag.2019.01.019. Epub 2019 Jan 23. [PMID: 30807927]
8. Ferrari A., Bertolaccini L., Solli P., Di Salvia P.O., Scaradozzi D. Digital chest tomosynthesis: the 2017 updated review of an emerging application. *Ann Transl Med.* 2018; 6(5): 91. [PMID: 29666814]
9. Zhang Y., Ren L., Vergalasova I., Yin F.F. Clinical Study of Orthogonal-View Phase-Matched Digital Tomosynthesis for Lung Tumor Localization. *Technol Cancer Res Treat.* 2017; 1: 1533034617705716. DOI: 10.1177/1533034617705716. [PMID: 28449625]
10. Blum A., Noël A., Regent D., Villani N. et al. Tomosynthesis in musculoskeletal pathology. *Diagn Interv Imaging.* 2018; 99(7–8): 423–41. DOI: 10.1016/j.diii.2018.05.001. Epub 2018 May 30. [PMID: 29859831]
11. Johnsson Å.A., Vikgren J., Båth M. A retrospective study of chest tomosynthesis as a tool for optimizing the use of computed tomography resources and reducing patient radiation exposure. *Acad. Radiol.* 2014; 21: 1427–33. [25097012]
12. Rakowski J.T. Model evaluation of rapid 4-dimensional lung tomosynthesis. *Adv Radiat Oncol.* 2018; 3(3): 431–8. DOI: 10.1016/j.adro.2018.03.001. [PMID: 30202810]
13. Hadjipanteli A., Kontos M., Constantinidou A. The role of digital breast tomosynthesis in breast cancer screening: a manufacturer- and metrics-specific analysis. *Cancer Manag Res.* 2019; 11: 9277–96. DOI: 10.2147/CMAR.S210979. eCollection 2019. Review. [PMID: 31802947]
14. Rossman A.H., Catenacci M., Zhao C., Sikaria D. et al. Three-dimensionally-printed anthropomorphic physical phantom for mammography and digital breast tomosynthesis with custom materials, lesions, and uniform quality control region. *J Med Imaging (Bellingham).* 2019; 6(2): 021604. DOI: 10.1117/1.JMI.6.2.021604. Epub 2019 Mar 22. [PMID: 30915385]
15. Andronikou S., Lambert E., Halton J., Hilder L. et al. Guidelines for the use of chest radiographs in community-acquired pneumonia in children and adolescents. *Pediatr Radiol.* 2017; 47(11): 1405–11. [PMID: 29043422]
16. Elemraid M.A., Muller M., Spencer D.A., Rushton S.P.; North East of England Paediatric Respiratory Infection Study Group. Accuracy of the interpretation of chest radiographs for the diagnosis of paediatric pneumonia. *PLoS One.* 2014; 9(8): e106051. DOI: 10.1371/journal.pone.0106051. eCollection 2014. [PMID: 25148361]
17. Vult von Steyern K., Björkman-Burtscher I.M., Weber L., Höglund P., Geijer M. Effective dose from chest tomosynthesis in children. *Radiat Prot Dosimetry.* 2014; 158(3): 290–8. [PMID: 24026899]
18. Petersson C., Båth M., Vikgren J., Johnsson Å.A. An analysis of the potential role of chest tomosynthesis in optimising imaging resources in thoracic radiology. *Radiat Prot Dosimetry.* 2016; 169(1–4): 165–70. [PMID: 26979807]
19. Quaia E., Baratella E., Cernic S., Lorusso A., Casagrande F., Cioffi V., Cova M. A. Analysis of the impact of digital tomosynthesis on the radiological investigation of patients with suspected pulmonary lesions on chest radiography. *Eur. Radiol.* 2012; 22: 1912–22
20. Vnebol'nichnaya pnevmoniya. [Community-acquired pneumonia]. *Klinicheskiye rekomendatsii. Rossiyskoye respiratornoye obshchestvo i Mezhhregional'naya assotsiatsiya po klinicheskoy mikrobiologii i antimikrobnoy khimioterapii.* 2018. (in Russian).
21. Nechaev V.A., Vasiliev A.Yu. Capabilities of tomosynthesis in diagnosing chest diseases and injuries. *Sovremennyye tekhnologii v meditsine (CTM).* [Modern technologies in medicine (CTM)]. 2016; 8(2): 59–64. (in Russian).
22. Bogolepova N.N., Rostovtsev M.V. Opyt ispol'zovaniya tomosinteza v detskom lechebnom uchrezhdenii. [Experience of using tomosynthesis in a children's medical institution]. *Medsinskaya vizualizatsiya.* 2010; 2: 67. (in Russian).
23. Miyata K., Nagatani Y., Ikeda M., Takahashi M. et al. A phantom study for ground-glass nodule detectability using chest digital tomosynthesis with iterative reconstruction algorithm by ten observers: association with radiation dose and nodular characteristics. *Br J Radiol.* 2017; 90. [PMID: 28102693]
24. Asplund S.A., Johnsson A.A., Vikgren J., Svåkvist A. et al. Effect of radiation dose level on the detectability of pulmonary nodules in chest tomosynthesis. *Eur Radiol.* 2014; 24: 1529–36. [PMID: 24792590]
25. Noel A., Ottenin M.A., Germain C., Soler M., Villani N., Grospretre O. et al. Comparison of irradiation for tomosynthesis and CT of the wrist. *J Radiol.* 2011; 92: 32–9. [PMID: 21352724]
26. Mazurov A.I. Posledniye dostizheniya v tsifrovoy rentgenotekhnike. [Recent advances in digital X-ray technology]. *Medsinskaya tekhnika.* 2010; 5: 10–3. (in Russian).
27. Grant D.G. Tomosynthesis: a three-dimensional radiographic imaging technique. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 1972; 19(1): 20–8.
28. Cynthia E., Keen D.R. Pumps new life into tomosynthesis-based radiography. *Annt. Minnie Job. Classifieds.* 2007; 1: 58–62.
29. Nikitin M.M., Ratobyl'skiy G.V. Tsifrovoy tomosintez v diagnostike i kontrole effektivnosti lecheniya tuberkuleza organov dykhaniya [Digital tomosynthesis in the diagnosis and control of the effectiveness of treatment of respiratory tuberculosis] (obzor literatury). *Medsinskaya vizualizatsiya.* 2016; 3: 95–102. (in Russian).
30. Kruamak T., Edwards R., Cheng S., Hippe D.S. et al. Accuracy of Digital Tomosynthesis of the Chest in Detection

- of Interstitial Lung Disease Comparison With Digital Chest Radiography. Comparative Study. *J Comput Assist Tomogr.* 2019; 43(1): 109–14. [PMID: 30119061]
31. Kim J.H., Lee K.H., Kim K.-T., Kim H.J. et al. Comparison of Digital Tomosynthesis and Chest Radiography for the Detection of Pulmonary Nodules: Systematic Review and Meta-Analysis. *Br J Radiol.* 2016; 89(1068): 20160421. [PMID: 27759428]
32. Tuberkulez u detey. [Tuberculosis in children]. *Klinicheskiye rekomendatsii Rossiyskogo obshchestva ftiziatrov.* 2020. (in Russian).
33. Kistoznyy fibroz (mukovistsidoz). [Cystic fibrosis (cystic fibrosis)]. *Vozrastnaya gruppy: deti/vzroslyye. Klinicheskiye rekomendatsii Soyuz a pediatrov Rossii, Assotsiatsii meditsinskikh genetikov, Rossiyskogo respiratornogo obshchestva.* 2019. (in Russian).