

У.Р. Вэбб
У.Э. Брант
Н.М. Мэйджор

Компьютерная томография

Грудь

Живот и таз

Опорно-двигательный аппарат

Перевод с английского
под редакцией
профессора И.Е. Тюрина

2-е издание



Москва
ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»
2023

W. Richard Webb, William E. Brant, Nancy M. Major

Fundamentals of Body CT
Fifth Edition

Оглавление

Предисловие к изданию на русском языке	7
Предисловие к пятому изданию на английском языке	8
Предисловие к первому изданию на английском языке	9
Список сокращений и условных обозначений	10

■ ЧАСТЬ I

ГРУДЬ

У. Ричард Вэбб

Глава 1. Введение в компьютерную томографию органов груди: методика исследования	13
Глава 2. Средостение: общие сведения и нормальная анатомия	20
Глава 3. Средостение: сосудистые заболевания и тромбоэмболии легочной артерии	34
Глава 4. Средостение: патологические изменения лимфатических узлов и новообразования	62
Глава 5. Корень легкого	95
Глава 6. Заболевания легких	119
Глава 7. Плевра, грудная стенка и диафрагма	172

■ ЧАСТЬ II

ЖИВОТ И ТАЗ

Уильям Э. Брант

Глава 8. Введение в компьютерную томографию органов живота и таза	195
--	-----

Глава 9. Брюшная полость, сосуды, лимфатические узлы и брюшная стенка	203
Глава 10. Травма живота	225
Глава 11. Печень	241
Глава 12. Желчные протоки и желчный пузырь	278
Глава 13. Поджелудочная железа	292
Глава 14. Селезенка	314
Глава 15. Почки и мочеточники	326
Глава 16. Надпочечники	362
Глава 17. Желудочно-кишечный тракт	377
Глава 18. Полость таза	419

■ ЧАСТЬ III

ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ

Нэнси М. Мэйджор

Глава 19. Компьютерная томография в диагностике травм опорно- двигательного аппарата	445
Глава 20. Компьютерная томография в диагностике нетравматических поражений опорно-двигательного аппарата	457
Предметный указатель	481

Введение в компьютерную томографию органов груди: методика исследования

У. Ричард Вэбб

Спиральная компьютерная томография (КТ) позволяет визуализировать органы грудной клетки на одной задержке дыхания с получением отдельных или перекрывающихся срезов. Эти данные в дальнейшем могут быть использованы для получения двух- или трехмерных реформаций. Благодаря высокой скорости сканирования возможно болюсное введение контрастных веществ, обеспечивающее прекрасное контрастирование сосудов, в то же время способствуя уменьшению объемов вводимого контрастного препарата.

Мультidetекторные компьютерные томографы (МДКТ) имеют несколько параллельных рядов рентгеновских детекторов (их число постоянно растет, в некоторых сканерах оно превышает 250 и позволяет одновременно воспроизводить более 500 срезов). При использовании МДКТ каждая из строк детекторов записывает данные независимо от оборотов гентри; следовательно, объем пациента (например, до 16 см вдоль продольной оси, или оси Z, со сканером с 256 детекторами) отображается при каждом обороте гентри. С детекторными сканерами большой площади сканирование объема может выполняться без движения стола; это наиболее полезно для визуализации сердца. Время оборота гентри составляет 0,5 с или меньше.

СПИРАЛЬНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ ПОЛОСТИ: ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Протокол КТ-исследования органов грудной клетки зависит от производителя, типа сканера, и цели исследования. Общие принципы визуа-

лизации органов грудной полости представлены в табл. 1.1.

ТАБЛИЦА 1.1. Компьютерная томография органов грудной клетки: основные принципы

Область сканирования	От верхушек легких до задних реберно-диафрагмальных углов
Положение пациента	На спине; на животе — в отдельных случаях для визуализации легких, плеврального выпота
Легочный объем	Состояние глубокого вдоха, одна задержка дыхания; реже — исследование на выдохе для выявления «воздушных ловушек»
Время оборота гентри	Как правило, около 0,5 с
Время сканирования	Около 2,5 с при быстром сканировании
Ширина детектора	Обычно минимальная (например, 0,625 мм)
Питч (смещение стола)	В зависимости от допустимого уровня отношения сигнал/шум: для изображений с высоким разрешением — небольшой питч
Алгоритм реконструкции	В большинстве случаев — алгоритм высокого разрешения; стандартный или мягкотканый алгоритм — для оценки сосудистых структур
Двух- и трехмерные реконструкции	В особых случаях возможно их использование для исследования легких, дыхательных путей или сосудистых структур
Контрастное усиление	В некоторых ситуациях требуется внутривенное введение контрастного препарата; пероральное контрастирование — только для патологии желудочно-кишечного тракта

Уровень сканирования

Сканирование органов грудной клетки обычно проводят от уровня верхушек легких (яремной

вырезки) до уровня задних реберно-диафрагмальных углов. При этом зона исследования также включает диафрагму и верхние отделы брюшной полости. Размеры области сканирования определяют по предварительным снимкам (так называемым топограммам); протяженность ее варьирует, как правило, от 25 до 30 см.

Положение пациента

В большинстве случаев исследование проводят в положении пациента лежа на спине. В некоторых случаях при проведении высокоразрешающей КТ (ВРКТ) легких или для оценки движения скоплений жидкости в плевральной полости возможно сканирование в положении на животе. Кроме того, подобное положение пациента требуется в случае, если под контролем КТ проводится биопсия расположенного в задних отделах легких новообразования или дренирование плевральной полости.

Дыхание

Исследование обычно проводят на задержке дыхания после глубокого вдоха (то есть при полном расправлении легочной ткани). Для выявления «воздушных ловушек» (главным образом при проведении ВРКТ) может потребоваться сканирование на выдохе.

Толщина среза и питч (смещение стола)

Как правило, сканирование проводят с использованием минимальной величины детектора, а для оценки результатов толщина срезов определяется позже в соответствии с целью исследования. Так, если данные в ходе КТ получены с использованием детекторов величиной 0,625 мм, томограммы для анализа могут быть реконструированы с любой толщиной в пределах от 0,625 мм до 5 мм. В общем случае для ускорения процесса просмотра изображений, а также для экономии пространства на диске оценивают томограммы, реконструированные с относительно большой толщиной среза, прибегая к тонким срезам лишь в особых ситуациях.

Обычно для оценки состояния органов грудной клетки используют изображения с толщиной среза 1–1,25 мм. Если сканирование проводили с использованием детекторов небольшой величины и первичные данные все еще доступ-

ны (обычно они хранятся на диске порядка 1–2 дней), то в случае необходимости тонкие срезы могут быть реконструированы позднее.

Питч (подвижность)

Термином «питч» обозначается расстояние, которое стол проходит во время полного поворота, деленное на ширину всех используемых детекторов (например, ход стола / ширина детектора × количество рядов детекторов). При МДКТ питч обычно находится в диапазоне от 1 до 2. Чем выше питч, тем быстрее сканирование, но изображения обычно более шумные, пространственное разрешение несколько снижается, а эффективная толщина среза (толщина фактически отображаемого изображения) увеличивается.

Необходимо помнить о том, что в спиральной КТ эффективная толщина среза может оказаться больше, чем первоначально выбранная (например, 1,25 мм), поскольку ее величина зависит от индекса питч и смещения стола: чем больше питч, тем больше эффективная толщина среза. Таким образом, при планировании исследования необходимо найти компромисс между скоростью исследования (которая также зависит от питча) и его качеством.

Продолжительность сканирования

При проведении МСКТ изображения органов грудной полости получают за одну задержку дыхания, что, как правило, позволяет избежать двигательных артефактов, за исключением случаев, когда пациент недоступен контакту или страдает дыхательной недостаточностью.

Алгоритм реконструкции

После сканирования объекта полученные данные обрабатывают с помощью специальных алгоритмов, определяющих характеристики конечного изображения. В повседневной практике для лучшей детализации структур легочной ткани используют алгоритм высокого разрешения, однако изображения в этом случае приобретают некоторую зернистость.

Стандартный, или мягкотканый, алгоритм, позволяющий получить более сглаженные изображения, не является оптимальным для визуализации органов грудной полости и подходит

главным образом для оценки сосудистых структур [например, если речь идет о выявлении тромбоза легочной артерии (ТЭЛА), аневризмы, расслоении аорты], а также органов брюшной полости.

Двух- и трехмерные реформации

Поскольку получаемые при спиральной КТ данные имеют непрерывный характер, изображения могут быть реформированы в любой необходимой плоскости при наличии соответствующих возможностей на рабочей станции. Среди множества используемых для исследования органов грудной клетки методов постобработки выделяют многоплоскостные реформации, а также отображения оттененных поверхностей и объемный рендеринг, которые могут использоваться для трехмерной визуализации как наружной, так и внутренней поверхности органа (в последнем случае она носит название виртуальной бронхоскопии).

Двухмерные многоплоскостные реформации обладают высокой диагностической ценностью, при этом их создание не занимает много времени, что, безусловно, является их основным преимуществом. Последующие главы содержат множество примеров двумерных реформаций. Трехмерные методики постобработки, такие как отображение оттененных поверхностей и объемный рендеринг, в отдельных случаях могут оказать существенную помощь в постановке диагноза, однако их расчет занимает длительное время и требует от оператора значительного опыта. Эти методы не относятся к широко используемым в диагностике заболеваний органов грудной клетки; исключения составляют лишь виртуальная бронхоскопия и некоторые особые исследования сосудов.

К методам трехмерной реформации также относят проекции максимальной или минимальной интенсивности, которые в некоторых случаях бывают полезны при оценке патологических изменений легких, дыхательных путей или сосудов.

Настройки электронных окон

Изображения органов грудной клетки должны просматриваться с использованием как минимум трех различных значений электронных окон, обычно уже заложенных в рабочей станции.

К ним относятся «легочное», «мягкотканное» (или «медиастинальное») и «костное» окна, названия которых отражают их основное предназначение. Настройки окна можно изменять в процессе просмотра изображений с целью оптимизации отображения различных анатомических или патологических структур.

Центр *легочного окна*, как правило, располагается в пределах от -600 до -700 единиц Хаунсфилда (HU), его ширина варьирует от 1000 до 1500 HU. Настройки легочного окна оптимальны для изучения анатомических особенностей и патологических изменений легких, поскольку подчеркивают мягкотканые структуры на фоне воздухосодержащей легочной ткани.

Медиастинальное, или мягкотканное, окно (центр окна 20–40 HU, ширина 450–500 HU) предназначены для оценки органов средостения и других мягкотканых структур грудной полости, на фоне которых хорошо визуализируются жировая ткань, скопления жидкости, кальцификаты и контрастированные сосуды. Использование этих окон позволяет получить информацию об уплотнениях легкого, патологических изменениях плевры, состоянии корней легких и стенок грудной полости. В последующих главах использование этих окон обсуждается более подробно. При оценке сосудистых структур (например, в случае ТЭЛА или диссекции) часто используют более широкое окно или окно с большим значением центра, что способствует лучшей визуализации сосудистого ствола.

Значение центра *костного окна* находятся в пределах от 300 до 500 HU, а его ширина составляет 2000 HU. Область его применения включает отображение костных структур или структур, обладающих высокой рентгеновской плотностью. Кроме того, в ряде случаев его использование может быть полезно при изучении контрастированных сосудистых структур.

СПИРАЛЬНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ: ПРОТОКОЛ

В большинстве случаев органы грудной полости исследуют в соответствии со стандартным протоколом, позволяющим получить информацию о со-

стоянии легких и их корней, средостения, плевры и стенок грудной клетки, что весьма ценно в диагностике целого ряда заболеваний и различных патологических состояний. Однако в некоторых особых клинических ситуациях, когда речь идет о целенаправленном поиске определенной патологии (например, ТЭЛА, диссекции аорты или интерстициального заболевания легких), может потребоваться модифицированный протокол КТ-исследования. В последующих главах некоторые из этих протоколов рассматриваются детально.

С появлением современных многосрезовых сканеров (с количеством рядов детекторов порядка 64) стало возможно получить изображения тонких срезов с превосходным контрастным разрешением за одну задержку дыхания вне зависимости от показаний к исследованию, что привело к идентичности протоколов, использующихся для выявления различных типов патологии. Поскольку протоколы исследования могут значительно различаться в зависимости от производителя сканера и медицинского учреждения, в котором он установлен, понимать общие принципы получения КТ-изображений значительно важнее, чем знать детали конкретных протоколов.

Использование контрастных препаратов

В зависимости от показаний к проведению КТ исследование органов грудной полости может проводиться как с внутривенным введением контрастного препарата, так и без него. Если целью исследования является исключение метастатического поражения легких или определение характера заболевания легких, то контрастное усиление, как правило, не требуется. Введение контрастного агента необходимо при подозрении на наличие патологических изменений корней легких, средостения, плевры, сосудов. Также контрастное усиление допустимо в случае, если показания к исследованию точно не определены.

При проведении МСКТ введение контрастного препарата начинают со скоростью 3–5 мл/с за 10–30 с до начала сканирования и продолжают на протяжении всего времени сканирования, что обеспечивает превосходное контрастирование сосудистого русла. В рутинной практике, как правило, скорости введения порядка 3 мл/с достаточно, в то время как для оценки патоло-

гических изменений сосудов контрастный агент обычно вводят со скоростью 5 мл/с. Скорость введения и время задержки (временной интервал между моментом начала введения контрастного препарата и моментом начала сканирования) варьируют в зависимости от показаний к исследованию.

Исследование начинают в момент заполнения контрастным препаратом интересующего сосуда. Так, контрастирование легочных артерий с целью диагностики ТЭЛА обычно требует задержки сканирования 10–15 с, хотя отслеживание появления болюса в аорте или левом предсердии позволяет получить более точную информацию. Для диагностики заболеваний аорты обычно требуется задержка порядка 20–30 с. Время задержки варьирует от пациента к пациенту и зависит от множества факторов. Время задержки сканирования обычно рассчитывают с использованием тестового болюса или специального программного обеспечения, которое отслеживает динамику заполнения сосудов контрастным препаратом и запускает сканирование в момент, когда контраст появляется в интересующем рентгенолога сосуде. Пероральное контрастирование, как правило, не используется, если речь не идет о заболеваниях пищевода.

Стандартная компьютерная томография органов грудной полости

В нашей клинике МСКТ органов грудной полости выполняют с использованием 0,625-миллиметровых детекторов, реконструируя изображения с толщиной среза 1,25 мм и с 1,25-миллиметровым интервалом. Это позволяет визуализировать органы грудной полости за 2,5 с. В зависимости от показаний к исследованию могут применяться как алгоритм высокого разрешения, так и мягкотканый алгоритм; также может проводиться внутривенное или пероральное контрастирование (см. выше). В большинстве случаев, за исключением исследований сосудов, отдают предпочтение алгоритму высокого разрешения. Стандартный протокол подходит для оценки органов грудной полости у большинства пациентов, если речь не идет о диагностике сосудистых нарушений (таких как ТЭЛА или заболевания аорты) или интерстициального заболевания легких, при котором требуется ВРКТ.

Протокол для оценки сосудистых структур

Некоторым пациентам КТ органов грудной клетки выполняется с целью выявления сосудистых нарушений, первоначально заподозренных по клиническим симптомам или рентгенологическим признакам. Среди наиболее часто встречающихся в грудной полости сосудистых патологий выделяют ТЭЛА, аневризмы или расслоение аорты и травматический разрыв аорты. Несмотря на то что протоколы для этих ситуаций различаются в зависимости от производителя томографа и учреждения, в котором он установлен, существуют некоторые общие принципы. Все они направлены на оптимизацию пространственного разрешения изображений и контрастирования сосудов при одновременном сохранении в разумных пределах задержки дыхания и количества вводимого контрастного препарата. Мягкотканый алгоритм реконструкции, снижающий уровень шума на изображениях, способствует выявлению небольших дефектов наполнения (например, при ТЭЛА) и незначительной разницы в степени контрастного усиления.

Тромбоэмболия легочной артерии

Для МСКТ-диагностики ТЭЛА достаточно анализа изображений с толщиной среза 1,25 мм и интервалом 1,25 мм, в то время как сканирование обычно проводят с минимально возможной величиной детектора (например, 0,625 мм). Для реконструкции в общем случае используют мягкотканый алгоритм. Внутривенное введение контрастного препарата производят быстро (5 мл/с). Сканирование начинают в момент заполнения контрастным агентом легочных артерий или левого предсердия. Временной интервал между началом введения контрастного препарата и началом сканирования для контрастирования легочных артерий варьирует в широких пределах, составляя в среднем 10–15 с, контрастирование левого предсердия занимает несколько больше времени. У крупных пациентов высокий уровень шума на изображениях может затруднять интерпретацию. В таких случаях увеличение толщины реконструированных срезов до 2,5 мм позволяет увеличить соотношение сигнал/шум и повысить точность диагностики.

Заболевания аорты

Спектр выявляемых при КТ патологических изменений аорты включает диссекции, аневризмы, интрамуральные гематомы (ИМГ), пенетрирующие язвы и травматические разрывы аорты. Зачастую введению контрастного препарата предшествует сканирование грудной клетки относительно толстыми (2,5 или 5 мм) срезами, проводимое с целью выявления высокоплотных ИМГ (см. главу 3). В случае, если исследованию подлежит только грудной отдел аорты, протокол сканирования будет аналогичен протоколу, используемому для диагностики ТЭЛА (при толщине среза 1,25 мм с интервалом 1,25 мм). Производят быстрое (5 мл/с) введение контрастного препарата, исследование начинают в момент заполнения им левого предсердия. Задержка сканирования в зависимости от индивидуальных особенностей пациента может варьировать от 15 до 30 с. Если требуется визуализировать также брюшной отдел аорты (например, при диссекции аорты), исследование продолжают на уровне живота. При невозможности задержки дыхания на все время процедуры пациенту разрешают спокойное дыхание во время сканирования брюшного отдела.

Высокоразрешающая компьютерная томография

ВРКТ используют для диагностики эмфиземы, бронхоэктазов, очаговых новообразований (то есть солитарных узлов) и интерстициальных заболеваний легких. ВРКТ требует использования тонких срезов (0,625–1,25 мм) и жесткого алгоритма реконструкции (алгоритма высокого разрешения), подчеркивающего контуры исследуемых структур и увеличивающего пространственное разрешение. В то же время его использование способствует повышению уровня шума, однако это, как правило, не оказывает значительного влияния на интерпретацию изображений легких. Введение контрастного препарата не является обязательным при проведении ВРКТ, но может потребоваться в случае, если помимо прочего подозревается ТЭЛА. Исследование проводят в положениях пациента лежа на спине и лежа на животе; часто сканирование проводят на выдо-

хе. Исследование в положении лежа на животе позволяет выявить нерезко выраженные патологические изменения в задних отделах легких. ВРКТ, проведенная на выдохе, используется для диагностики «воздушных ловушек».

ВРКТ может осуществляться двумя разными способами.

- *Сканирование отдельными срезами.* В этом случае получают изображения с толщиной среза 0,625–1,25 мм и интервалами 1–2 см между ними без смещения стола. Это способствует оптимизации пространственного разрешения и снижению лучевой нагрузки на пациента.
- *Объемная ВРКТ* с использованием техники спирального сканирования, детекторов малой величины и величиной реконструкции, равной 1–1,25 мм. Использование этого способа приводит к увеличению лучевой нагрузки на пациента и снижению пространственного разрешения, однако позволяет визуализировать весь объем грудной клетки и получить двух- и трехмерные реформации, а также исследовать изображения на предмет возможного наличия других заболеваний (например, ТЭЛА). При необходимости полученные данные можно реконструировать с использованием алгоритма как высокого разрешения (для выявления патологии легочной ткани), так и мягкотканного (для диагностики сосудистых нарушений).

Комбинированное объемное и осевое изображение. У некоторых пациентов объемную визуализацию получают при сканировании в положении лежа на спине с пространственным осевым изображением для изображений лежа на животе и на выдохе. Это оптимизирует объем изображения, но с уменьшенной дозой облучения.

Динамическая компьютерная томография

Под *динамической* КТ понимают последовательное выполнение томографических срезов, полученных в различные моменты времени. Динамическая КТ может проводиться без использования техники спирального сканирования, то есть без движения стола и пациента во время сбора данных. Для выявления «воздушных

ловушек» или оценки коллапса трахеи и бронхов у пациентов с трахеомалацией или другими заболеваниями дыхательных путей проводят динамическое сканирование одного томографического среза на протяжении выхода. Динамическое исследование также используют для оценки сосудистых нарушений.

Низкодозовая компьютерная томография

Необходимо стремиться к снижению лучевой нагрузки всегда, когда это возможно, несмотря на то что в общем случае это приводит к снижению качества изображений и повышению уровня шума. При проведении *низкодозовой* КТ во время сканирования на рентгеновскую трубку подается пониженная сила тока (измеряемая в миллиамперах). Низкодозовая КТ органов грудной полости незаменима для скрининговых обследований (например, для скрининга рака легких), исследования детей или при необходимости проведения многократных повторных КТ-исследований.

Современные МСКТ-аппараты позволяют корректировать ток на рентгеновской трубке в соответствии с толщиной грудной стенки и количеством мягких тканей в исследуемом объеме. Поскольку легочная ткань не обладает высокой рентгеновской плотностью, для исследования легких (в отличие от исследования плеч или печени) не требуются большие значения тока. Низкодозовая КТ, применяемая для рутинных исследований, позволяет значительно снизить лучевую нагрузку на пациента без существенной потери качества изображений. В свою очередь, высокие значения тока, подаваемого на трубку, обычно используют для получения изображений с большим пространственным разрешением и высокой детализацией (например, для выявления ТЭЛА).

ЛУЧЕВАЯ НАГРУЗКА ПРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Несмотря на то что риски, связанные с облучением пациента во время проведения КТ, невелики и не поддаются точному определению, их все же необходимо принимать во внима-

ние. В клинической практике принято считать, что потенциальная польза для пациента от КТ-исследования должна быть больше, чем риски, связанные с ним. В общем случае КТ-исследование показано, если его результаты будут иметь четко определенную клиническую значимость. Тем не менее снижение лучевой нагрузки на пациента в ходе КТ-исследования остается важной задачей для рентгенолога до тех пор, пока не будет получена ценная диагностическая информация.

Лучевая нагрузка на пациента и связанные с ней риски могут быть вычислены различными методами, однако ни один из них не лишен недостатков и не позволяет точно спрогнозировать последствия. Наиболее часто используют понятие эффективной дозы [измеряемой в зивертах (Зв) или, чаще, в миллизивертах], которая рассчитывается как сумма эквивалентных доз по всем органам, умноженных на коэффициенты радиочувствительности для этих органов. Однако поскольку точный подсчет дозы для каждого органа, как и коэффициентов чувствительности, зависящих от пола, возраста и органа, в условиях клинического исследования затруднителен, эффективную дозу рассчитывают для условного человека в возрасте 30 лет и весом 70 кг. Несмотря на ограниченную точность и предсказательную ценность, расчет эффективной дозы является наиболее распространенным методом оценки лучевой нагрузки при различных радиологических исследованиях. Приблизительные эффективные дозы для фонового облучения и различ-

ных рентгенологических исследований органов грудной клетки представлены в табл. 1.2.

ТАБЛИЦА 1.2. Лучевая нагрузка при проведении компьютерной томографии органов грудной полости

Протокол исследования	Эффективная доза, мЗв
Нормальный радиационный фон (за год)	2,5–3,2
Рентгенография органов грудной клетки (1 проекция)	0,05
Стандартная КТ органов грудной клетки (300 мА)	5–7
Стандартная КТ органов грудной клетки (100–150 мА)	1,5–2
Объемная ВРКТ (на спине, на выдохе, 100–150 мА)	1,5–2
ВРКТ отдельными срезами (на спине, на животе, на выдохе)	1
Низкодозовая объемная КТ (40 мА)	<0,5–1

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Bankier A.A., Tack D. Dose reduction strategies for thoracic multidetector computed tomography: Background, current Issues, and recommendations // *Journal of Thoracic Imaging*. 2010. Vol. 25. P. 278–288.
- Boiselle P.M., Hurwitz L.M., Mayo J.R. et al. Expert opinion: Radiation dose management in cardiopulmonary imaging // *Journal of Uroracic Imaging*. 2011. Vol. 26. P. 3.
- Lawler L.P., Fishman E.K. Multi-detector row CT of thoracic disease with emphasis on 3D volume rendering and CT angiography // *Radiographics*. 2001. Vol. 21. P. 1257–1273.
- Lee C.H., Goo J.M., Lee H.J. et al. Radiation dose modulation techniques in the multidetector CT era: From basics to practice // *Radiographics*. 2008. Vol. 28. P. 1451–1459.
- Mayo J.R. CT evaluation of diffuse infiltrative lung disease: Dose considerations and optimal technique // *Journal of Thoracic Imaging*. 2009. Vol. 24. P. 252–259.