Н.А.Горбунов, В.Я.Лаптев

Комплексная лучевая диагностика хронической обструктивной болезни легких

Новосибирский государственный медицинский университет, Новосибирск

N.A.Gorbunov, V.Ya.Laptev

Combined radiological diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) — одна из важнейших проблем современного здравоохранения во всем мире. Ее распространенность постоянно растет. ХОБЛ занимает 4-е место по уровню смертности и является единственной болезнью, летальность от которой продолжает увеличиваться.

Смертность населения России за последние годы возросла в основном вследствие внешних причин (несчастные случаи, отравления, травмы, самоубийства и убийства) — 13,2 % и неинфекционных заболеваний: патологий системы кровообращения — 56,1 %, новообразований — 12,4 %, болезней органов дыхания — 4,1 %, болезней органов пищеварения — 4,0 %. Инфекционные заболевания привели к летальному исходу в 1,7 % случаев [1].

По данным исследования, проведенного Всемирной организацией здравоохранения и Всемирным банком, к 2020 г. ХОБЛ будет занимать 5-е место по заболеваемости и 3-е место в структуре смертности. Согласно документам Европейского респираторного общества (ERS), только 25 % случаев заболевания диагностируется своевременно. В России диагностика ХОБЛ находится на еще более низком уровне. По официальным данным Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию, в стране насчитывается ~ 1 млн больных ХОБЛ, в то время как, согласно эпидемиологическим исследованиям, их должно быть > 11 млн. ХОБЛ — самостоятельная нозологическая форма с соответствующей стадийностью, причем для каждой из стадий характерна соответствующая динамика клинических, функциональных и морфологических характеристик [2].

Качество жизни и ее естественная продолжительность при ХОБЛ неуклонно снижаются [3].

ХОБЛ, вызывая временную и стойкую утрату трудоспособности, наносит значительный экономический ущерб. Согласно *Е.И.Шмелеву*, уровень заболеваемости ХОБЛ занимает одно из первых мест в структуре заболеваемости населения, занятого в производственной деятельности [4].

Для России проблема ХОБЛ приобретает особое значение из-за последствий аварии на Чернобыльской АЭС, поскольку спустя 20 лет патология органов дыхания у ликвидаторов вышла на 1-е место в структуре заболеваемости [5].

ХОБЛ занимает значимое место в структуре заболеваемости лиц пожилого и старческого возраста, влияя на старческую полиморбидность, снижая качество жизни и являясь причиной летальности пожилых. По некоторым данным, симптоматика хронического бронхита наблюдается у 40 % мужчин и 20 % женщин старческого возраста. При патологоанатомических исследованиях у 1/4 умерших в возрасте ≥ 80 лет выявляются признаки обструктивной эмфиземы легких [6].

В опубликованных недавно рекомендациях ведущих экспертов ERS и Американского торакального общества подчеркивается, что развитие ХОБЛ можно предупредить в ходе ее лечения [7].

Результаты объективного исследования пациентов ХОБЛ зависят от степени выраженности бронхиальной обструкции и эмфиземы, но отражают тяжесть заболевания в полной мере, а отсутствие клинических симптомов не исключает наличие ХОБЛ у пациента [8].

Большое значение в диагностике ХОБЛ и объективной оценке степени тяжести заболевания имеет исследование функции внешнего дыхания (ФВД). Благодаря хорошей воспроизводимости и простоте измерения объем форсированного выдоха за 1-ю с (ОФВ₁) в настоящее время является общепринятым показателем для оценки степени обструкции. С его учетом определяется и степень тяжести ХОБЛ: легкая — при ОФВ₁ > 70 % долж., средняя — 50–69 % долж., тяжелая — < 50 % долж.. Эта градация рекомендована ERS и принята за рабочую в России. При применении тестов с бронходилататорами прирост ОФВ₁ > 15 % от исходных показателей свидетельствует об обратимости бронхиальной обструкции [4].

Важным методом, позволяющим подтвердить диагноз ХОБЛ, является мониторинг ОФВ₁ — его многолетнее повторное измерение. В зрелом возрасте в норме регистрируется постоянное снижение ОФВ₁ в пределах 30 мл в год. Проведенные в разных странах крупные эпидемиологические исследования позволили установить, что для больных ХОБЛ характерно ежегодное снижение показателя ОФВ₁ более чем на 50 мл [8].

Основные тесты ФВД позволяют охарактеризовать проходимость верхних и нижних дыхательных

путей, состояние легочной паренхимы и дыхательных мышц. Использование простых показателей ФВД — пиковой скорости выдоха (ПСВ), ОФВ₁ может быть полезно для первичной оценки тяжести функциональных нарушений и динамического наблюдения за больными, оценки ответа на проводимую терапию, а также может иметь прогностическое значение [9].

Однако, поскольку функциональные тесты субъективны, необходима специальная подготовка врачей-операторов, способных следить за динамикой снижения ОФВ₁ (на 15 % (или 500 мл) в год или по 100 мл в год в течение 5 лет). При этом соотношение ОФВ₁ к форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) составляет $< 0,7$ [10–12].

Предпочтительным методом при первичном исследовании пациентов с ХОБЛ является стандартная рентгенография органов грудной клетки в передней прямой и правой боковой проекциях при вертикальном положении пациента. Цифровая рентгенография легких получает все более широкое распространение в последние годы. Ее преимуществом является стандартно высокое качество изображения, не зависящее от особенностей фотохимической обработки пленки. Цифровые изображения имеют значительно более широкий динамический диапазон, позволяющий одновременно анализировать как легочную ткань, так и плотные структуры средостения. Такие изображения можно дополнительно обрабатывать с помощью математических программ, что в ряде случаев позволяет выявить новые симптомы [2].

Лучевое исследование больного ХОБЛ начинается с рентгенографии или флюорографии органов грудной полости. При наличии клинических показаний или сомнительных результатах рентгенографии может быть проведена компьютерная томография (КТ) легких. Другие методы визуализации — ультразвуковое и радионуклидное исследования, магнитно-резонансная томография — в диагностике ХОБЛ применяются ограниченно [2].

Рентгенограмма грудной клетки у больных с обострением ХОБЛ обычно не отличается от картины легких при стабильном состоянии; чаще всего выявляют классические признаки эмфиземы легких (повышенная прозрачность легочных полей, уплотнение диафрагмы, расширение ретростерального пространства, уменьшение числа и калибра легочных сосудов в периферических зонах) и хронического бронхита (усиление легочного рисунка, особенно в базальных отделах). Однако при помощи рентгенографии можно выявить признаки пневмонии, ателектазов, застойных явлений в легких, которые не выявляются при физикальном обследовании [9].

Большинство авторов сходятся во мнении, что наряду с клиническими и функциональными показателями ключевым диагностическим тестом при отборе больных на хирургическую редукцию объема легких является последовательный анализ результатов 3 рентгенологических методов: рентгенографии грудной клетки в 3 проекциях, КТ высокого разре-

шения (КТВР) и перфузионной сцинтиграфии легких [13].

КТВР имеет достаточно высокую чувствительность, но низкую специфичность в диагностике ХОБЛ. Эмфизема легких не была распознана посредством КТВР у 18,6 % пациентов с ХОБЛ [14].

В отличие от ситуации с первичной эмфиземой, которая наблюдается у больных с недостаточностью α_1 -антитрипсина, эмфизема при ХОБЛ имеет, как правило, неравномерный характер. Чаше разрушаются периферические отделы легкого, т. н. "плащ", а зоны, расположенные ближе к корню, сохраняются малоизмененными, но оказываются сдавленными снаружи. В результате возникает вентиляционно-перфузионный дисбаланс, когда наиболее вентилируемые участки легких кровоснабжаются плохо и, наоборот, хорошо кровоснабжаемые зоны практически не вентилируются [13].

Показана хорошая корреляция между показателями плотности легочной ткани (ПЛТ) при ХОБЛ, полученными посредством КТВР со спирометрией и тестами ФВД. Значения ПЛТ составляют -910 НУ при 10 % жизненной емкости легких (ЖЕЛ) и -950 НУ — при 90 % ЖЕЛ [15].

С помощью КТВР обычно уточняется локализация наиболее воздушных зон в легких. Денситометрическая плотность нормальной легочной ткани находится в пределах от -600 до -900 НУ. При эмфиземе этот показатель повышается до -900 ... $-1\,000$ НУ. Кроме того, сравнение денситометрических показателей смежных участков легкого на вдохе и выдохе помогает определить среди них не только перераздутые, но и плохо вентилируемые [13, 16].

КТВР гарантирует высокую информативность при обследовании пациентов с ХОБЛ, сочетая как функциональную инспираторно-экспираторную методику, так и оценку структурных изменений легочной ткани. Определенные морфологические признаки, в зависимости от их локализации коррелирующие со степенью обструктивных нарушений, позволяют установить наличие вентиляционных нарушений до их клинической манифестации. Сопоставление показателей среднего градиента плотности в правом и левом легких показало, что в каждом из них эти показатели связаны сильной обратной корреляционной связью со степенью обструктивных нарушений. Значения градиента плотности по правому и левому легким в группах больных с бронхообструкцией II и III степени значимо ниже, чем в группе пациентов без признаков обструктивных нарушений. Были установлены 4 типа изменений градиента плотности по легочным полям [17].

На КТВР при ХОБЛ отмечается некоторое утолщение бронхиальной стенки с центрилобулярными патологическими изменениями по типу "дерево с почками", специфические КТВР-признаки ХОБЛ обычно отсутствуют. Возможно наличие "воздушных ловушек" [18].

Патогномоничным симптомом ХОБЛ при КТ является саблевидная деформация трахеи, которая не встречается у пациентов без ХОБЛ. Одни авторы

объясняют такие изменения давлением эмфизематозных булл, но данные КТ-исследований опровергают эти утверждения; другие считают, что деформация обусловлена воспалением хрящей трахеи, но морфологических подтверждений этого нет [19].

Значительная разница между II и III стадиями ХОБЛ была выявлена при КТВР в верхних и нижних долях легких, а между II и IV стадиями — в нижних долях. Таким образом, КТВР позволяет дифференцировать степени тяжести ХОБЛ, но только не начальные проявления заболевания [20].

Инспираторно-экспираторная КТ служит источником важных диагностических данных и дает возможность количественной оценки эмфиземы. При вздутии легкого плотность ткани легких понижается. Не менее важно, что КТ позволяет судить о степени вздутия любого участка легкого. Изменения между вдохом и выдохом служат индексом региональной вентиляции. По серии срезов определяют состояние всех отделов бронхиального дерева, выявляют перибронхиальные инфильтраты, наличие бронхо- и бронхиолоэктазов, сужение сосудов в участках олигемии. Особенного внимания заслуживают периферические отделы легочных полей. При патологических изменениях мелких бронхов и переходе процесса на бронхиолы здесь обнаруживаются мелкие, идущие к плевре полоски и ветвящиеся структуры, тубулярные тени, мелкие очажки. В ряде случаев выявляется синдром экспираторной обтурации (т. н. "воздушные ловушки"), когда область вздутия легкого не исчезает и не уменьшает своей плотности при выдохе [21, 22].

Инспираторная КТВР в сочетании со спирометрией позволяет определить распространенность эмфиземы, в то время как экспираторная КТВР может отражать ограничение воздушного потока и гиперинфляцию легких [23].

Экспираторная КТВР позволяет точнее оценивать проводимость воздухоносных путей к участкам легкого, содержащим воздушные ловушки. Наиболее информативными для оценки ПЛТ являются участки легких на уровне бифуркации трахеи (95 %) и дуги аорты (93 %), в меньшей степени — в базальных отделах (83 %) [24].

Средняя ПЛТ при полном вдохе составляет -813 НУ, при полном выдохе — -736 НУ. Срезы, полученные при полном выдохе, более функционально информативны, чем выполненные при полном вдохе [25].

КТВР — ценный инструмент определения степени тяжести ХОБЛ, особенно в средних поясах обоих легких во время выдоха, и ее результаты хорошо коррелируют с тестами ФВД [26]. Кроме того, КТВР со спирометрией позволяет усовершенствовать стандартизацию КТ-показателей при ХОБЛ [27, 28].

Разработана методика определения толщины стенки воздухоносных путей с помощью тонкосрезовых КТ-изображений, которая позволяет дифференцировать здоровых лиц от курящих с ХОБЛ и курящих без ХОБЛ. Как правило, толщина бронхиальной стенки наиболее высокая у больных ХОБЛ курильщиков [29].

По данным *А.А.Силеверстова*, КТВР может служить неинвазивным методом выявления морфологических изменений легких еще на ранних стадиях ХОБЛ, позволяя своевременно назначить адекватное лечение и судить об эффективности проводимой терапии [30]. *А.М. Costantini et al.* применяли КТВР с целью подтвердить эффективность терапии ХОБЛ бронхолитиками [31].

Количественная КТ может быть альтернативной методикой перфузионной сцинтиграфии в оценке функционального состояния легких у пациентов, которым выполнена лобэктомия по поводу ХОБЛ [32].

При среднетяжелом и тяжелом течении ХОБЛ развивается панлобулярная эмфизема легких, которая характеризуется снижением ПЛТ < -930 НУ. При этом существует обратная корреляционная зависимость между ПЛТ и диаметром ствола легочной артерии [33].

КТВР с ингаляцией газовых смесей, содержащих кислород и гелий, при полном вдохе позволяет оценить нарушение распределения газа у пациентов с ХОБЛ [34].

Функциональная оценка бронхиальной проходимости, легочных объемов и диффузионной способности легких — наиболее распространенные рекомендованные методы диагностики и мониторингирования течения ХОБЛ. Результаты математической оценки эмфизематозных изменений у больных ХОБЛ методом количественной КТ (денситометрии) в большей степени отражают данные исследования диффузионной способности легких и в меньшей степени — определение легочных объемов. Наиболее точный порог для количественной оценки эмфиземы легких — -950 НУ [35].

Эмфизема приводит к развитию хронической дыхательной недостаточности с перестройкой периферической структуры легких и вызывает рост смертности во всем мире. Для выявления ранней стадии периферической перестройки легочной ткани в 3 патологических типа эмфиземы применяется синхротронная лучевая КТ (СЛКТ). СЛКТ позволяет получить 3-мерное изображение периферических легочных структур и оценить толщину альвеолярной стенки [36].

Традиционные методики исследования ФВД дают возможность выявлять заболевания легких, но не показывают, какие участки легких поражены. Для этих целей может использоваться недавно разработанная методика функциональной магнитно-резонансной томографии (МРТ). В последнее время появилось несколько работ, свидетельствующих о возможности определения функции легких при хронических обструктивных заболеваниях с помощью МРТ с гиперполяризованными ядрами гелия [21, 37].

Для пациентов с эмфиземой легких было установлено среднее значение $T1$ $1\,034 \pm 71$ ms в инспираторной фазе, 991 ± 63 ms — в экспираторной фазе, а для пациентов с пневмофиброзом 996 ± 103 ms — в инспираторной и $1\,282 \pm 170$ ms — в экспираторной фазе. Исследование показало обратную фазовую зависимость показателя $T1$ у пациентов с эмфиземой

и пневмофиброзом. Более того, экспираторные показатели имеют большее различие между группами пациентов, чем инспираторные [38].

В плане контроля эффективности терапии и динамического наблюдения пациентов с заболеваниями легких альтернативой мультисрезовой КТВР может стать МРТ, которая обладает дополнительными возможностями функциональной оценки состояния легочной ткани при отсутствии воздействия ионизирующего излучения [39]. Однако в наших условиях широкое применение МРТ все еще ограничивается недостаточной доступностью метода и высокой стоимостью исследования.

Сцинтиграфическое исследование вентиляции легких проводится с целью определения локализации, характера и распространенности обструкционных поражений бронхиального дерева. Принцип вентилиционной сцинтиграфии основан на регистрации излучения радиоактивных инертных газов или меченых тонкодисперсных аэрозолей после ингаляции их пациентом. В качестве ингалируемых агентов наиболее приемлемы микросферы альбумина человеческой сыворотки крови или дитилен-триамин-пентаацетилловая кислота, меченные технецием ^{99m}Tc или индием (^{111m}In или ^{113m}In). При патологии бронхолегочной системы можно обнаружить зоны различной степени гипо- или гиперфиксации аэрозоля локального или диффузного характера, которые обуславливают неоднородность сцинтиграфического изображения легких вплоть до дефекта накопления радиофармацевтического препарата (РФП). Для частичной непроходимости бронхов характерна гиперфиксация аэрозоля в местах обструкции. Дистальнее этого участка на периферии обычно выявляется зона гипофиксации препарата. Необходимо подчеркнуть, что ХОБЛ с сужением и нарушением архитектоники воздухоносных путей, как правило, приводит к появлению фокальной аккумуляции РФП в данных областях, что указывает на анатомо-топографическое место локализации зоны стеноза или обструкции бронхиального дерева [40].

Уже при ХОБЛ легкой степени тяжести выявляются диффузные нарушения перфузии преимущественно в верхних и плащевых отделах легких. У изменений, обнаруженных посредством перфузионной сцинтиграфии, протяженность больше, чем у морфологических изменений, выявляемых при КТ (зоны эмфизематозной перестройки). А изменения микроциркуляции нарастают и носят необратимый характер [41].

Бронхологическое исследование при ХОБЛ является дополнительным и служит для оценки состояния слизистой оболочки бронхов и дифференциального диагноза. В ряде случаев могут быть выявлены заболевания, являющиеся причиной хронической бронхиальной обструкции. Выполняют осмотр слизистой оболочки бронхов, культуральное исследование бронхиального содержимого, бронхоальвеолярный лаваж с определением клеточного состава для уточнения характера воспаления, биопсию слизистой оболочки бронхов [8].

Одной из важнейших задач современной медицинской визуализации является повышение информативности методов лучевой диагностики с помощью цифровых технологий и программного обеспечения. В настоящее время европейские исследователи изучают различные типы цифровых рентгенографических систем, оценивая их диагностические возможности в клинической практике и определяя эффективную дозу, получаемую пациентом при исследовании органов грудной клетки. Современные системы прямой цифровой рентгенографии позволяют снижать дозу до 50 % [42, 43].

Государственное реформирование здравоохранения поставило перед лечебными учреждениями принципиально новые задачи. Скорость и качество получения и обработки информации стали важнейшим условием повышения уровня оказываемой медицинской помощи. Эту задачу нельзя решить без внедрения новых информационных технологий. Основным приоритетом развития лучевой диагностики на сегодняшний день является внедрение в практику цифровых технологий [44].

В России уже сформировались предпосылки для решения проблемы оснащения здравоохранения современной малодозовой рентгеновской аппаратурой [45]. За последние несколько лет отечественные компании разработали и начали производить цифровые флюорографические аппараты, позволяющие получать изображения органов грудной клетки высокого качества при значительно меньших значениях лучевых нагрузок, что, несомненно, повысит эффективность профилактических исследований [46]. Переход к цифровому представлению медицинских изображений в службе лучевой диагностики способствует тому, чтобы цифровая флюорография легких заняла ведущее место в первичной диагностике легочной патологии и при скрининге, и в обычных клинических ситуациях [47].

Цифровая флюорография успешно применяется в скрининговых и диагностических исследованиях, снижает лучевое воздействие на пациента, экономит время и деньги. Экономия расходов при ее использовании за 9 мес. 2004 г. составила 70 067 р. Широкое внедрение этого метода в практику позволит улучшить раннее выявление заболеваний легких [48].

Для преодоления недостатков традиционной пленочной флюорографии необходим скорейший переход на цифровые технологии получения, анализа и протоколирования рентгеновских изображений органов грудной полости [49]. Постепенно совершенствуются методы лечения ХОБЛ. Они включают консервативные воздействия (муколитики, бронхолитическая небулайзерная терапия с ипратромиумом бромидом / фенотеролом, β_2 -агонисты, противоинфекционные средства при обострении процесса) и хирургические вмешательства (буллэктомия, редукция легочных объемов, трансплантация легкого). Естественно, что указанные лечебные воздействия должны проводиться под динамическим лучевым контролем.

В настоящее время наиболее информативными и широкодоступными методиками диагностики,

а также динамического контроля эффективности терапии ХОБЛ являются функциональная малодозная цифровая рентгенография (МЦРГ), спирометрия и КТВР. Для динамического наблюдения и своевременного выявления прогрессирования заболевания, определения его прогноза предпочтительна МЦРГ. Кроме того, низкая лучевая нагрузка, по сравнению с КТВР, делает МЦРГ лучшим методом оценки эффективности консервативной терапии ХОБЛ. Показания к скинтиграфии, бронхоскопии и МРТ ограничены.

Литература

1. Демографические показатели и показатели здоровья населения России / Стародубов В.И., Хальфин Р.А., Баранов А.А. и др. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2006.
2. Чучалин А.Г. (ред.). Клинические рекомендации. Хроническая обструктивная болезнь легких. М.: Атмосфера; 2003.
3. Кокосов А.Н. Хронический бронхит и обструктивная болезнь легких: аналитический очерк. Тер. арх. 2000; 72 (3): 75–77.
4. Шмелев Е.И. Хроническая обструктивная болезнь легких. Тер. арх. 1999; 12: 74–78.
5. Чучалин А.Г. Актуальные вопросы пульмонологии. Рус. мед. журн. 2000; 8 (17): 727–729.
6. Дворецкий Л.И. Пожилой больной ХОБЛ. Антибактериальная терапия инфекционных обострений ХОБЛ. Рус. мед. журн. 2005; 13 (4): 190–195.
7. Емельянов А.В. Диагностика и лечение обострений хронической обструктивной болезни легких. Рус. мед. журн. 2005; 13 (4): 183–189.
8. Айсанов З.Р., Кокосов А.Н., Овчаренко С.И. Хронические обструктивные болезни легких. Федеральная программа. Рус. мед. журн. 2001; 9 (1): 9–34.
9. Авдеев С.Н. Обострение хронической обструктивной болезни легких: современные подходы к диагностике и лечению (обзор). Тер. арх. 2004; 11: 43–50.
10. Fishwick D., Naylor S. COPD and the workplace. Is it really possible to detect early cases? Occup. Med. 2007; 57 (2): 82–84.
11. Halpin D.M.G., Miravittles M. Chronic obstructive pulmonary disease. The disease and its burden to society. Proc. Am. Thorac. Soc. 2006; 3: 619–623.
12. National Institute for Clinical Excellence. Management of chronic obstructive pulmonary disease in adults in primary and secondary care. NICE clinical guideline 12: London; 2004.
13. Яблонский П.К., Николаев Г.В., Филиппова Т.А. Отбор пациентов с хронической обструктивной болезнью легких для хирургической редукции объема легких. Пульмонология 2006; 3: 86–92.
14. Kurashima K., Takavanagi N., Sato N. et al. High resolution CT and bronchial reversibility test for diagnosing COPD. Respirology 2005; 10 (3): 316–322.
15. Moroni C., Mascalchi M., Bartolucci M. et al. High resolution and spirometric synchronization computerized tomography in chronic obstructive bronchopneumopathy. Radiol. Med. (Torino) 2001; 101 (1–2): 25–30.
16. Miniati M., Filippi E., Falaschi F. et al. Radiologic evaluation of emphysema in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Chest radiography versus high resolution computed tomography. Am. J. Respir. Crit. Care Med. 1995; 151 (5): 1359–1367.
17. Завадовская В.Д., Родионова О.В. КТВР в ранней диагностике ХОБЛ. В кн.: Достижения современной лучевой диагностики в клинической практике: Материалы IV региональной конф. Томск; 2006. 161–165.
18. Richard W.W., Muller N.L., Naidich D.P. High-resolution CT of the lung. 3rd ed.; Philadelphia, PA: Lippincott, Williams & Wilkins; 2000: 286–315.
19. Юдин А., Афанасьева Н., Хрупенкова-Пивень М. и др. Современная лучевая диагностика хронической обструктивной болезни легких. Врач 2004; 5: 42–44.
20. Allona M., Torres I., Rodriguez-Vigil B. et al. Correlation between lung attenuation with high resolution computed tomography and COPD severity grading systems. Eur. Radiol. 2006; 16 (2, suppl. 1): 170.
21. Линденбрауен Л.Д. Хронический обструктивный бронхит: лучевая диагностика. Радиология – практика 2000; 2: 5–9.
22. Arakawa H., Kurihara K., Fujikawa M. et al. Expiratory high-resolution CT diagnostic value in various diffuse lung diseases. Radiology 1999; 213 (suppl.): 562.
23. Camiciottoli G., Bartolucci M., Maluccio N.M. et al. Spirometrically gated high-resolution CT findings in COPD: lung attenuation vs lung function and dyspnea severity. Chest 2006; 129 (3): 558–564.
24. Nishino M., Boiselle P.M., Copeland J.F. et al. Value of volumetric data acquisition in expiratory high-resolution computed tomography of the lung. J. Comput. Assist. Tomogr. 2004; 28 (2): 209–214.
25. Kauczor H.U., Hast J., Heussel C.P. et al. CT attenuation of paired HRCT scans obtained at full inspiratory/expiratory position: comparison with pulmonary function tests. Eur. Radiol. 2002; 12 (11): 2757–2763.
26. Spiropoulos K., Trakada G., Kalamboka D. et al. Can high resolution computed tomography predict lung function in patients with chronic obstructive pulmonary disease? Lung 2003; 181 (4): 169–181.
27. Moroni C., Mascalchi M., Camiciottoli G. et al. Comparison of spirometric-gated and -ungated HRCT in COPD. J. Comput. Assist. Tomogr. 2003; 27 (3): 375–379.
28. Orlandi I., Moroni Ch., Camiciottoli G. et al. Spirometric-gated computed tomography quantitative evaluation of lung emphysema in chronic obstructive pulmonary disease. A comparison of 3 techniques. J. Comput. Assist. Tomogr. 2004; 28 (4): 437–442.
29. Berger P., Perot V., Desbarats P. et al. Airway wall thickness in cigarette smokers: quantitative thin-section CT assessment. Radiology 2005; 235 (3): 1055–1064.
30. Силевверстов А.А. Роль высокоразрешающей компьютерной томографии в диагностике хронической обструктивной болезни легких на ранних стадиях. В кн.: Невский радиологический форум "Новые горизонты": Сборник научных трудов. СПб.: ЭЛБИ-СПб.; 2007. 294–295.
31. Costantini A.M., Sallustio G., Misciasci T. et al. CT and functional respiratory tests. Evaluation of efficacy of bronchodilator therapy in chronic obstructive pulmonary disease (COPD). Radiol. Med. (Torino) 2004; 108 (1–2): 17–27.
32. Sverzellati N., Chetta A., Calabro E. et al. Reliability of quantitative computed tomography to predict postoperative lung function in patients with chronic obstructive pulmonary disease having a lobectomy. J. Comput. Assist. Tomogr. 2005; 29 (6): 819–824.
33. Шойхет Я.Н., Беднаржевская Т.В. Метод компьютерной томографии и исследование функции внешнего дыхания в диагностике осложнений хронической

- обструктивной болезни легких. Клин. мед. 2004; 7: 65–68.
34. Yamaguchi K., Soejima K., Koda E. et al. Inhaling gas with different CT densities allows detection of abnormalities in the lung periphery of patients with smoking-induced COPD. *Chest* 2001; 120 (6): 1907–1916.
 35. Поливанов Г.Э., Поливанова А.Э., Черняк А.В. и др. Количественная оценка эмфиземы легких у больных ХОБЛ. В кн.: Невский радиологический форум "Новые горизонты": Сборник научных трудов. СПб.: ЭЛБИ-СПб; 2007. 290–291.
 36. Ikura H., Shimizu K., Ebara H. et al. Analysis of three pathohistologic types of emphysema using ultra-high-resolution CT. *Eur. Radiol.* 2006; 16 (2, suppl. 1): 359.
 37. De Lange E.E., Trubitz J.D., Christopher J.M. et al. MR imaging with hyperpolarized helium-3 gas: correlation with pulmonary function testing in healthy subjects and patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Radiology* 1999; 213 (suppl.): 343.
 38. Stadler A., Jakob P.M., Barth M. et al. T1 mapping of the entire lung in patients with emphysema and fibrosis: influence of respiratory phase and correlation with lung functional tests. *Eur. Radiol.* 2006; 16 (2, suppl. 1): 170–171.
 39. Puderbach M., Eichenger M., Gahr J. Proton MRI appearance of cystic fibrosis: Comparison to CT. *Eur. Radiol.* 2007; 17 (3): 716–724.
 40. Лишманов Ю.Б., Чернов В.И. (ред.). Радионуклидная диагностика для практических врачей. Томск: SST; 2004.
 41. Лукина О.В., Золотницкая В.П., Литвинов А.П. Лучевая диагностика и контроль за динамикой начальных признаков ХОБЛ. В кн.: Невский радиологический форум "Новые горизонты": Сборник научных трудов. СПб.: ЭЛБИ-СПб.; 2007. 281–282.
 42. Gruber M., Uffmann M., Weber M. et al. Direct detector radiography versus dual reading computed radiography: feasibility of dose reduction in chest radiography. *Eur. Radiol.* 2006; 16 (7): 1544–1550.
 43. Veldkamp W.J.H., Kroft L.J.M., Boot M.V. et al. Contrast-detail evaluation and dose assessment of eight digital chest radiography systems in clinical practice. *Eur. Radiol.* 2006; 16 (2): 333–341.
 44. Косова И.А., Кармазановский Г.Г. Стандартизация протоколов исследования и оценки данных как один из факторов эффективности в телерадиологии. В кн.: Материалы Всероссийского научного форума "Радиология 2005". М.; 2005. 197–198.
 45. Бердяков Г.И., Зеликман М.И., Ртищева Г.М. Оборудование для цифровой флюорографии: состояние и перспективы развития. *Радиология – практика* 2000; 1: 24–28.
 46. Зарипов Р.А., Бондарев А.В., Воробьева Г.Н. и др. Программная среда с графическим интерфейсом для анализа и автоматизированного формализованного протоколирования цифровых флюорограмм органов грудной клетки. В кн.: Материалы Всероссийского науч. форума "Радиология 2005". М.; 2005. 136–137.
 47. Фадиев А.В. Некоторые дополнения в организационно-методическую схему применения цифровой флюорографии в практическом здравоохранении РФ. В кн.: Материалы Всероссийского науч. форума "Радиология 2005". М.; 2005. 477–479.
 48. Хорошилов Ю.Р., Рукин В.Л. Опыт применения цифровой флюорографии в условиях поликлиники. В кн.: Материалы II Международного конгресса "Невский радиологический форум – 2005". СПб.; 2005. 331–332.
 49. Зарипов Р.А. Повышение эффективности массовой проверочной флюорографии органов грудной полости при переходе на цифровые технологии. В кн.: Невский радиологический форум "Новые горизонты": Сборник научных трудов. СПб.: ЭЛБИ-СПб. 2007. 269–271.

Поступила 26.06.08
 © Горбунов Н.А., Лаптев В.Я., 2008
 УДК 616.24-036.12-073.75