

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Современная лучевая диагностика является одной из наиболее динамично развивающихся областей клинической медицины. В значительной степени это связано с продолжающимся прогрессом в области физики и компьютерных технологий. Авангардом развития лучевой диагностики являются методы томографии, компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной (МРТ), позволяющие неинвазивно оценить характер патологического процесса в теле человека.

В течение последних двух десятилетий XX века интерес исследователей и врачей перемещался между компьютерной и магнитно-резонансной томографией. В конце 70-х — начале 80-х годов с появлением и развитием КТ (I-IV поколения) произошла революция в медицине, отмеченная в 1979 году вручением Нобелевской премии по физиологии и медицине Сэру Годфри Хаунсфилду и Алану Кормаку. В 80-х годах появилась электронно-лучевая томография, однако развитие КТ шло умеренными темпами, и интерес к методике несколько снизился, так как все основные инновации касались магнитно-резонансной томографии (развитие высокопольной томографии, быстрые методики исследования, функциональная томография, МР-ангиография). Первый ренессанс КТ произошел в 1989 году, когда появилась спиральная технология томографии — резко возросла скорость исследования и точность диагностики. С этого момента перестало использоваться деление компьютерной томографии на поколения аппаратов.

Переход из XX в XXI век ознаменовался вторым ренессансом компьютерной томографии — созданием многосрезовой методики (МСКТ). С последовательным появлением 2, 4, 16, 64-срезовой томографии открылись ранее недостижимые горизонты диагностики, принципиально изменившие диагностические подходы ко многим заболеваниям — МСКТ-ангиография, перфузионная МСКТ, виртуальная колоноскопия, 3-мерные реконструкции.



Параллельно с развитием техники с середины 70-х — начала 80-х годов XX века постоянно росло число томографических обследований, достигнув уровня в 1,5 млн. процедур, выполняемых во всем мире ежедневно. Во многих европейских клиниках может выполняться до 200 тысяч томографических исследований в год (около 4-8 тысяч обследований на 1 томограф), составляющих около 70% всей диагностической информации о пациентах.

Физический принцип КТ

В основе КТ лежит количественный анализ степени поглощения рентгеновского излучения различными тканями. Рентгеновская трубка вращается в аксиальной плоскости вокруг тела пациента и испускает тонкий пучок излучения, который, проходя через исследуемый слой, ослабляется в разной степени для каждой точки и регистрируется блоком детекторов. Регистрация прошедшего через тело излучения осуществляется при разных положениях системы «трубка-детекторы», что позволяет создать плоскостное изображение исследуемого среза. Спиральная томография позволяет непрерывно сканировать тело пациента во время постоянного линейного движения стола (спиралевидное движение веерообразного луча через тело пациента) и исследовать одну анатомическую область за один период задержки дыхания с получением тонких соприкасающихся срезов. Многосрезовая модификация основана на сочетании спиральной томографии и многорядных детекторов, что позволяет в несколько раз увеличить скорость обследования.

В настоящее время стандартом КТ является обследование с помощью многосрезовой томографа с возможностью получения от 4 до 64 срезов с временным разрешением 0,1-0,5 сек. (минимально доступная длительность одного оборота рентгеновской трубки составляет 0,3 сек.). Таким образом, длительность томографии всего тела с толщиной среза



менее 1 мм составляет около 10-15 секунд, а результатом исследования являются от нескольких сотен до нескольких тысяч изображений. Фактически современная МСКТ является методикой объемного исследования всего тела человека, т.к. полученные аксиальные томограммы составляют трехмерный массив данных, позволяющий выполнить любые реконструкции изображений, в т.ч. многоплоскостные реформации, виртуальные эндоскопии, объемный рендеринг.

Контрастные препараты

Применение контрастных препаратов при КТ позволяет повысить точность диагностики, а во многих случаях является обязательным компонентом исследования. Для увеличения контрастности тканей применяют водорастворимые йодсодержащие контрастные вещества, которые вводятся внутривенно (обычно в локтевую вену) с помощью автоматического инъектора (болюсно, т.е. в значительном объеме и с высокой скоростью). Ионные йодсодержащие контрастные препараты обладают целым рядом недостатков, связанных с высокой частотой развития побочных реакций при быстром внутривенном введении. Появление неионных низкоосмолярных (Омнипак, Ультравист) препаратов сопровождалось уменьшением частоты тяжелых побочных реакций в 5-7 раз, что превратило МСКТ с внутривенным контрастированием в доступную, амбулаторную, рутинную методику обследования. Неионные контрастные вещества стали препаратами выбора к концу 90-х годов, несмотря на их более высокую стоимость по сравнению с ионными средствами. Высокая скорость сканирования, уменьшение толщины среза, необходимость четкой дифференциации сосудистых структур предъявляют новые требования к контрастным препаратам, что выражается в создании веществ с более высокой концентрацией йода и меньшей вязкостью. Для обеспечения оптимального контрастирования и дифференциации тканей в разные фазы поступления препарата (артериальная, паренхиматозная, венозная) применяются 2-х колбовые автоматические инъекторы с «проталкиванием» болюса контрастного вещества физиологическим раствором.

У пациентов со сниженной функцией почек (повышенный креатинин сыворотки крови), страдающих диабетической нефропатией, застойной сердечной недостаточностью, существенно повышен риск развития контраст-индуцированной нефропатии. При необходи-

мости проведения МСКТ у таких пациентов требуется предварительная подготовка (пероральная или внутривенная гидратация) и использование только неионных низко- или изоосмолярных контрастных препаратов (например, Визипак). Применение нефротоксических медикаментов (нестероидные противовоспалительные препараты, дипиридамол, метформин) должно быть прекращено за 48 часов до МСКТ с внутривенным контрастированием, когда это клинически возможно. У пациентов, имеющих в анамнезе аллергические реакции на йод-содержащие препараты, также необходимо рассмотреть возможность применения альтернативного метода обследования, не требующего введения данного класса контрастных веществ, или использовать премедикацию (преднизолон, антигистаминные препараты).

Проведение обследования

Большинство КТ-исследований (МСКТ-ангиография, МСКТ легких, головного мозга, костей и суставов) может проводиться без предварительной подготовки пациента. При выполнении исследований органов брюшной полости, забрюшинного пространства и кишечника требуется предварительное контрастирование кишечника позитивным (йод- или барийсодержащие препараты) или негативным (например, вода) контрастным веществом. Возможность выполнения 3-х мерных реконструкций органов брюшной полости требует использования негативных пероральных препаратов в сочетании с внутривенным введением йод-содержащих контрастных веществ. При проведении МСКТ-коронарографии у пациентов с частотой сердечных сокращений более 80 ударов в минуту необходимо применять бета-блокаторы для урежения и стабилизации ритма, что является непереносимым условием хорошей синхронизации сканирования с сердечным циклом.

Подавляющее большинство МСКТ исследований может быть стандартизовано и проводиться рентген-лаборантом, т.е. МСКТ является одним из наименее оператор-зависимых методов лучевой диагностики. Соответственно, МСКТ исследование, проведенное методически правильно и хранящееся в цифровом виде, может обрабатываться и интерпретироваться любым специалистом или консультантом без потери первичной диагностической информации.

Длительность исследования является несомненным преимуществом МСКТ, так как редко превышает 5-7 минут (с учетом укладки пациента) и может проводиться у пациентов, находящихся в критическом состоянии. Однако время обработки и анализа результатов МСКТ занимает существенно больше времени, так как врач-рентгенолог обязан изучить и

описать 500-2000 первичных изображений (до и после введения контрастного препарата), реконструкций, реформаций. Обязательным условием эффективной работы КТ является наличие 1-2 компьютерных станций, которые используются для выполнения рутинной обработки изображений (в частности, построения 3-мерных реконструкций) и являются шагом к созданию «синтетического» изображения (посредством интеграции на основе телерадиологических сетей с другим диагностическим оборудованием и электронным архивом).

Клиническое применение КТ

Преимущества КТ по сравнению с другими диагностическими методами очевидны и компенсируют имеющиеся недостатки (таблица 1), что определяет высокую клиническую значимость метода. С появлением компьютерной томографии все больше неинвазивных диагностических обследований стало выполняться специалистами по лучевой диагностике. Соответственно, снизилась потребность в инвазивных диагностических манипуляциях (в т.ч. ангиографии). КТ существенно изменила алгоритмы клинической диагностики, в частности, стала обязательным методом исследования для выявления конкрементов в мочевых путях у большинства пациентов с почечной коликой. МСКТ с внутривенным контрастированием стала методом выбора для экстренной диагностики тромбозов ветвей легочных артерий. В целом, с развитием томографии акцент в применении диагностических тестов сместился в область ранней диагностики и планирования лечения с максимальным сохранением качества жизни пациента.

Исторически первым применением КТ было исследование головного мозга, открывшее новые горизонты в **неврологии** и **нейрохирургии**. В настоящее время КТ является ме-

тодом выбора экстренной диагностики острых нарушений мозгового кровотока, нейротравмы. Применение перфузионной МСКТ (рис. 1) позволяет оценивать капиллярный кровоток, нарушение которого является наиболее ранним признаком развития ишемического инсульта. Соответственно, МСКТ позволяет буквально за несколько секунд выявить ишемический инсульт и дифференцировать его от геморрагического, т.е. определить показания к тромболитической терапии.

Возможности МСКТ в **ангиологии кардиологии** полностью преобразили диагностические алгоритмы при таких распространенных заболеваниях и синдромах, как тромбоз легочной артерии, ишемическая болезнь сердца, аневризмы периферических сосудов и т.д. Высокая чувствительность МСКТ-коронарографии (до 97-98%) в диагностике атеросклеротических кальцинированных и «мягких» бляшек позволяет отказаться от проведения инвазивной ангиографии у пациентов без гемодинамически значимых стенозов коронарных артерий по данным МСКТ (рис. 2). Кроме того, МСКТ-ангиография стала методом выбора для оценки состояния аортокоронарных и маммарных шунтов. Проведение МСКТ-ангиографии при заболеваниях сонных артерий, грудной и брюшной аорты (рис. 3), периферических сосудов позволяет определить показания к хирургическому вмешательству и его объем. В острых ситуациях у пациентов с травматическими повреждениями внутренних органов МСКТ-ангиография позволяет выявить источник продолжающегося кровотечения, т.е. определить показания для эмболизации поврежденного сосуда под контролем ангиографии или, в случае необходимости, для хирургического вмешательства. Диагностическая точность МСКТ-ангиографии сопоставима с информативностью классиче-

Таблица 1. Преимущества и недостатки МСКТ

Преимущества

- Высокое пространственное разрешение
- Быстрота обследования
- Возможность 3-мерной и многоплоскостной реконструкции изображений
- Низкая оператор-зависимость метода
- Возможность стандартизации исследования
- Относительная доступность оборудования (по количеству аппаратов и стоимости обследования)

Недостатки

- Использование ионизирующего излучения и контрастных препаратов

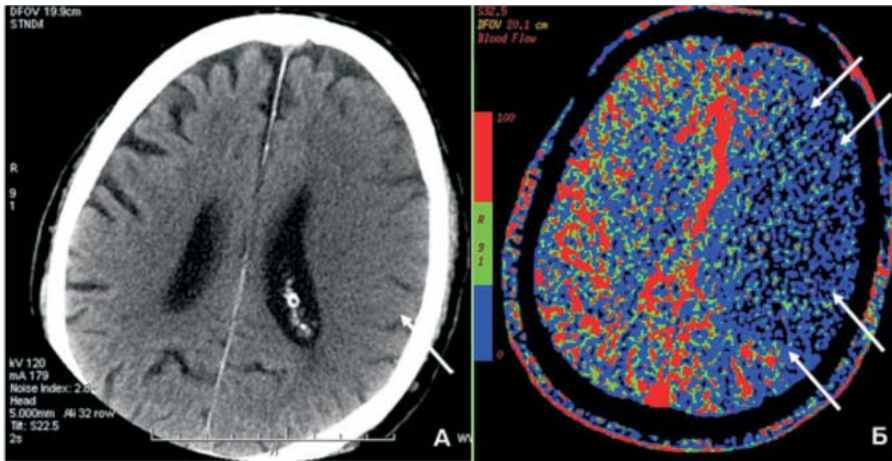


Рисунок 1. У пациента с острым нарушением мозгового кровообращения нативная МСКТ (рис. А) демонстрирует отсутствие дифференциации серого и белого мозгового вещества левого полушария головного мозга. При перфузионной МСКТ (рис. Б) выявляется снижение объемной скорости мозгового кровотока (CBF) в бассейне левой средней мозговой артерии, соответствующее ишемическому инсульту.

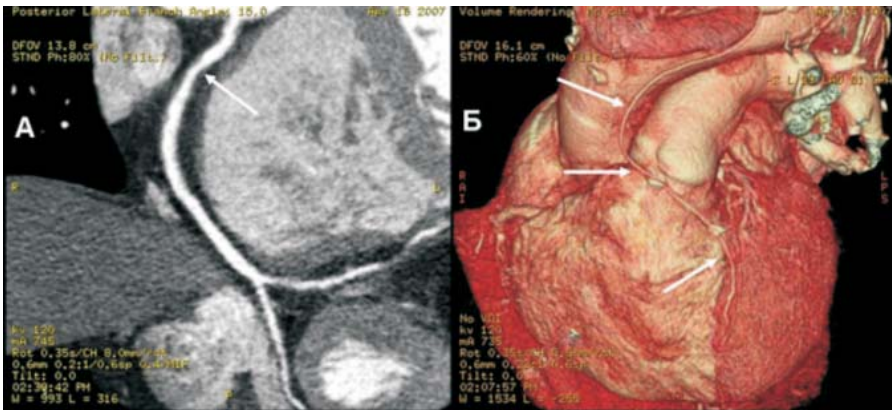


Рисунок 2. МСКТ коронарография, демонстрирующая 50% стеноз проксимального сегмента правой коронарной артерии за счет мягкой бляшки (рис. А). Маммарно-коронарный шунт к передней нисходящей артерии (рис. Б)

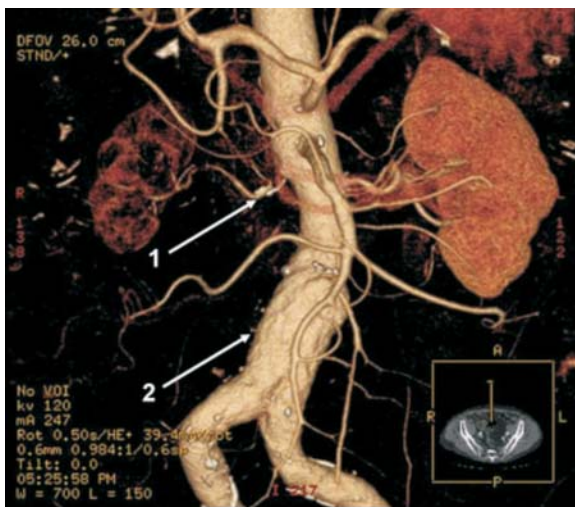


Рисунок 3. МСКТ аортография, демонстрирующая окклюзию правой почечной артерии (1) и аневризматическое расширение инфраренального отдела аорты (2).

ской рентгеновской ангиографии, вследствие чего в последние годы в большинстве крупных медицинских центров МСКТ стала основным методом диагностики заболеваний сосудов, а акцент применения методов интервенционной радиологии сместился в область лечения.

В **травматологии** основными преимуществами МСКТ являются возможность быстрого исследования в экстренных ситуациях и выполнения трехмерных реконструкций для оценки комплексной анатомии таких областей как позвоночник, вертлужные впадины, кости лицевого черепа, кости стоп и кистей. У пациентов с политравмой стандартным методом обследования становится МСКТ всего тела с оценкой состояния черепа и головного мозга, позвоночника, органов грудной клетки, брюшной полости, забрюшинного пространства и малого таза. Несмотря на большой объем подобного исследования (сотни и тысячи томограмм), его высокая диагностическая ценность позволяет быстро поставить правильный диагноз и начать своевременное лечение (рис. 4).

МСКТ является методом выбора для дифференциальной диагностики образований паренхиматозных **органов брюшной полости и забрюшинного пространства**, особенно при неоднозначных результатах ультразвукового исследования. Основной объем МСКТ исследований органов брюшной полости выполняется пациентам с онкологическими заболеваниями, часто в сочетании с МСКТ легких и малого таза для поиска отдаленных метастазов. МСКТ с динамическим внутривенным контрастным усилением позволяет дифференцировать очаговые поражения печени (гемангиомы, первичные опухоли, метастазы). Для диагностики и оценки степени распространенности опухолей пищеварительного канала используется МСКТ с пероральным (или зондовым) контрастированием тонкого и толстого кишечника. При проведении МСКТ поджелудочной железы используется сочетание перорального контрастирования двенадцатиперстной кишки водой и внутривенного контрастного усиления (паренхиматозная фаза), что позволяет выявлять даже небольшие карциномы и определять их местную распространенность.

Клиническая значимость КТ в **урологии** стала очевидной уже на первых этапах развития метода. К концу 80-х — началу 90-х годов XX века КТ стала стандартом диагностики почечно-клеточного рака. Постепенно исчезла потребность в проведении почечной ангиографии для дифференциальной диагностики кист и опухолей почки (рис. 5), а также венографии нижней полой вены для диагностики ее опухолевого тромбоза. Благодаря возможности измерения плотности тканей по шкале Хаунсфилда появилась возможность точно выявлять жировую ткань в опухолях почек, являющуюся практически патогномич-

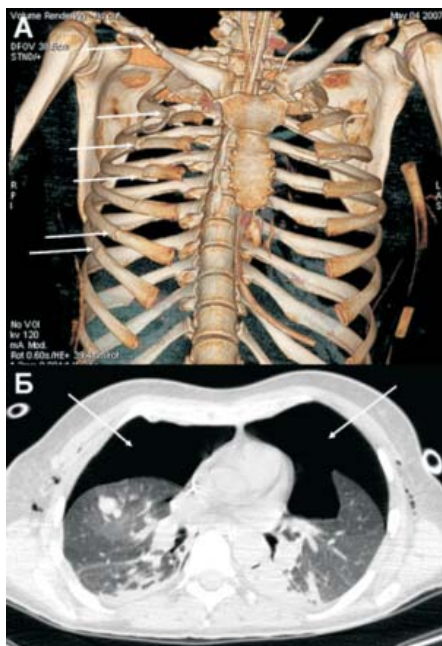


Рисунок 4. МСКТ легких у пациентки с поли­травмой. На рис. 4А определяются множественные переломы правой ключицы, ребер (стрелки), визуализируются назогастральный зонд, подключичный венозный катетер, плевральные дренажи. Вследствие множественных переломов ребер у пациентки развился двухсторонний пневмоторакс (рис 4Б, стрелки) в сочетании с респираторным дистресс-синдромом.



Рисунок 5. МСКТ почек с внутривенным контрастированием, артериальная фаза. Определяется гиперваскулярная опухоль нижнего полюса правой почки (стрелка).

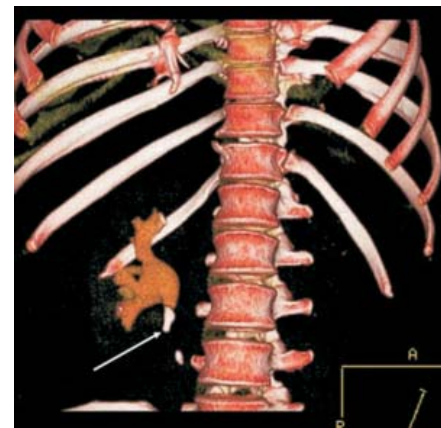


Рисунок 6. МСКТ органов брюшной полости и забрюшинного пространства пациента с почечной коликой спустя 1 час после внутривенной урографии. Определяется расширенная чашечно-лоханочная система правой почки (заполнена контрастным препаратом) вследствие обструкции лоханочно-мочеточникового сегмента крупным конкрементом.

ной для ангиомилипомы. Дифференциальная диагностика образований надпочечников (аденома, метастаз, феохромоцитомы) стала возможной благодаря способности КТ выявлять внутриклеточные липиды (плотность менее 15 единиц Хаунсфилда), характерные для аденомы. У пациентов с почечной коликой МСКТ позволяет быстро провести обследование, во многих случаях — без необходимости внутривенного контрастирования, выявить уратные и другие рентгеногегативные камни (рис. 6), а также возможные внепочечные причины болевого синдрома. Более того, 3-мерное определение плотности конкремента позволяет предположить эффективность дистанционной литотрипсии и требуемое количество сеансов дробления камней. Потребность в выполнении традиционной рентгеновской урографии за последние два десятилетия постоянно снижалась — абсолютное число выполняемых урографий уменьшилось в 10-15 раз. У пациентов с гематурией КТ-урография фактически стала начальным, а зачастую и достаточным методом выявления переходного-клеточного рака любой локализации (от чашечек почек до мочевого пузыря).

Таким образом, МСКТ — это метод быстрого сканирования, что обеспечивает уменьшение артефактов от движения, в частности у

детей, пациентов с травмой или острыми заболеваниями. Поэтому, в перспективе МСКТ полностью заменит рентгенологическое и ультразвуковое исследования как методы экстренной диагностики. Уже сегодня установка МСКТ в приемном отделении позволяет проводить исследования всего тела у пациентов с политравмой, исключать за 1 сканирование тромбозы легочных артерий, расслоение аорты и окклюзию коронарных артерий, ставить диагноз ишемического инсульта в первые часы, выявлять источники внутренних кровотечений.

Противопоказания для КТ

Современная МСКТ является практически безопасным методом диагностики, приемлемым для большинства пациентов. Относительные противопоказания для обследования могут быть связаны с лучевой нагрузкой (беременные женщины, дети) и непереносимостью контрастных препаратов (гиперчувствительность, почечная недостаточность). Развитие технологий модуляции рентгеновского излучения на трубке и создание высокочувствительных детекторов привело к существенному снижению лучевой нагрузки на пациентов, сопоставимой со многими рентгенологическими исследованиями (4-8 мЗв). Применение неионных низко-

осмолярных контрастных препаратов практически исключило тяжелые побочные реакции и существенно снизило частоту реакций легкой и средней степени (около 1-3% случаев).

Перспективы развития КТ

Развитие МСКТ происходит по нескольким основным направлениям. Во-первых, увеличивается число рядов детекторов (на рынке уже доступны 256-срезовые системы), что повышает временное разрешение и позволяет, например, провести КТ-коронарографию за 1-2 сердечных цикла. Во-вторых, создаются двухэнергетические (двухтрубочные) системы, что позволяет повысить скорость исследования и, что более важно, приблизиться к уровню мягкотканной контрастности, доступному на сегодняшний день только при МРТ. В-третьих, развиваются цифровые технологии с возможностью математической обработки изображений (например, создание многоплоскостных и 3D-реконструкций), компьютерного моделирования хирургических вмешательств, получения функциональной информации. Уже сейчас МСКТ становится универсальным методом диагностики, сочетающим высокую чувствительность МРТ, динамичность УЗИ (функциональные исследования) и доступность рентгеновского исследова-

ния. Сочетание КТ с позитронно-эмиссионной томографией (ПЭТ-КТ) делает молекулярную диагностику доступной в условиях многопрофильной клиники, что позволяет существенно улучшить результаты лечения пациентов с онкологическими, сердечно-сосудистыми и неврологическими заболеваниями.

Компьютерная томография в России

Первые 2 компьютерных томографа в СССР были закуплены в 1977 году. Предпосылкой для этого решения стал врачебный консилиум с участием академиков Е.И. Чазова и Е.В. Шмидта, указавших на необходимость приобретения нового, уникального по своим возможностям, диагностического оборудования. Один из двух томографов предназначался только для исследования головного мозга и был установлен в НИИ неврологии. В Центральной клинической больнице был установлен первый в стране и один из первых в мире КТ для исследования всего тела, и именно в ЦКБ в 1993 году был установлен первый спиральный томограф.

За последние 10 лет в России наблюдается значительный прирост числа компьютерных и магнитно-резонансных томографов (всего имеется около 1000 КТ- и 500 МР-систем по состоянию на конец 2006 года), в частности благодаря реализации Национального проекта «Здоровье». **Однако потребность в данном оборудовании для России составляет около 3500 КТ- и 2000 МР-систем, т.е. в 3-4 раза больше, чем имеется на сегодняшний день.** Основным сдерживающим фактором распространения томографии в России является отставание в специализированной подготовке квалифицированных кадров (врачей-рентгенологов и рентген-лаборантов), численность которых недостаточна даже для

имеющегося парка диагностической аппаратуры.

По современным стандартам для обеспечения диагностических потребностей многопрофильной больницы с 1000-1500 коек требуется как минимум 3-4 компьютерных томографа с различной производительностью (16-срезовый томограф в приемном отделении, 16-32-срезовый томограф для рутинных исследований, 64-срезовый томограф для МСКТ ангио- и коронарографии), причем как минимум 1 из аппаратов должен работать в круглосуточном режиме. Также сохраняется значительная неоднородность как в распределении нового оборудования, так и в принципах его использования. Это выражается в значительном расхождении во взглядах специалистов относительно показаний к проведению томографии, недостаточном использовании контрастных препаратов и нерациональном использовании дорогостоящих методик.

Распространение томографических методов диагностики, повышение их точности заставляет вновь обратить внимание на необходимость субспециализации лучевой диагностики с выделением, в частности, торакальной, абдоминальной, урогенитальной, костно-суставной радиологии, нейрорадиологии и т.д. Данный подход, реализуемый на базе крупных больниц, университетских клиник и научно-исследовательских институтов, позволит в полной мере раскрыть возможности неинвазивной диагностики и создаст основу качественной, доказательной клинической медицины в России.

Заключение

МСКТ, а также МРТ, обеспечили переход в лучевой диагностике от принципа «от простого к сложному» к принципу «наибольшей

информативности», заменив целый ряд ранее использовавшихся методик. Несмотря на высокую стоимость, присущие МСКТ оптимальное соотношение стоимость/эффективность и высокая клиническая значимость определяют продолжающееся бурное развитие и распространение метода. Основными проблемами лучевой диагностики, в т.ч. томографии, в России остаются дефицит оборудования и специалистов, необходимость субспециализации лучевой диагностики, отсутствие алгоритмов и стандартов проведения диагностических обследований.

Список литературы:

1. Терновой С. К., Синицын В. Е. Развитие компьютерной томографии и прогресс лучевой диагностики// Терапевтический архив. -№1.-2006.- С. 10-13.
2. Johnson PT, Fishman EK. IV contrast selection for MDCT: current thoughts and practice. AJR Am J Roentgenol. 2006 Feb;186(2):406-15. Review.
3. Kocakoc E, Bhatt S, Dogra VS Renal multidetector row CT. Radiol Clin North Am. 2005 Nov;43(6):1021-47, viii. Review
4. Miller LA, Shanmuganathan K. Multidetector CT evaluation of abdominal trauma. Radiol Clin North Am. 2005 Nov;43(6):1079-95, viii. Review.
5. Rubinshtein R, et al. Usefulness of 64-slice cardiac computed tomographic angiography for diagnosing acute coronary syndromes and predicting clinical outcome in emergency department patients with chest pain of uncertain origin. Circulation. 2007 Apr 3;115(13):1762-8.
6. Sinitsyn VE, Achenbach S. Electron Beam Computed Tomography. In: M.Oudkerk (ed). Coronary Radiology. Berlin: Springer, 2004.

Kt-mrt.ru