

Мультidetекторная компьютерная томография в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний. Обзор литературы

Джеймс К. Мин*, Рик Кох*, Дениэл Аппельбаум**, Самуэль Уанн***1.

* Больница университета г. Чикаго, медицинский факультет, отделение кардиологии;

** Больница университета г. Чикаго, медицинский факультет, отделение лучевой диагностики;

*** Кардиологический центр штата Висконсин, отделение сердечно-сосудистых заболеваний, США

Атеросклеротическое поражение сердечно-сосудистой системы является ведущей причиной заболеваемости и смертности в развитых странах. За последние годы разработано множество новых неинвазивных методов визуализации для выявления изменений в коронарных артериях и периферических артериях. К этим методам относятся электронно-лучевая компьютерная томография, магнитно-резонансное исследование сердечно-сосудистой системы, а также мультidetекторная компьютерная томография (МДКТ). МДКТ преобразует обычные аксиальные срезы в трехмерное изображение, при этом время получения изображений в 50 раз быстрее аналогичного показателя для традиционной аксиальной компьютерной томографии. МДКТ также позволяет получать трехмерные изображения при субмиллиметровом сканировании. Эти достижения расширяют область применения МДКТ, которая также может использоваться для изучения анатомии сердца и коронарных сосудов, что ранее было невозможным. В данной работе обсуждаются преимущества и ограничения МДКТ в диагностике заболеваний сердечно-сосудистой системы и приводятся параметры исследования, которые, по нашему мнению, являются оптимальными при использовании последних моделей МДКТ-сканеров.

Введение

Атеросклеротическое поражение сердечно-сосудистой системы является основной причиной заболеваемости и смертности в развитых странах. В последнее время с целью повышения эффективности диагностики заболеваний коронарных и периферических артерий разработано несколько новых неинвазивных методов визуализации. К этим методам относятся электронно-лучевая компьютерная томография (ЭЛКТ) (1-6), магнитно-резонансная ангиография (МРА) (7-11) и созданная недавно мультidetекторная компьютерная томография (МДКТ) (12-18).

Благодаря трансформации аксиальных срезов КТ в объемное изображение, МДКТ существенно расширила возможности диагностики сердечно-со-

судистых заболеваний. Существующее поколение сканеров, позволяющих получать 16, 40, 64 и даже 128 срезов, обеспечивает скорость получения изображений, в 50 раз превышающую аналогичный показатель традиционной компьютерной томографии. Это преимущество будет только увеличиваться по мере создания нового поколения сканеров с дополнительными детекторами, а также по мере внедрения новых программ, обеспечивающих более эффективную передачу данных и более быстрое получение изображений. Скорость работы сканеров МДКТ уменьшает необходимое время задержки дыхания, общее время исследования и объем контрастного вещества, вводимого внутривенно, что не отражается на размерах сканируемой области и на степени коллимации. Таким образом, МДКТ эффективна для диагностики изменений в коронарных артериях, бифуркации сонной артерии, почечных артериях, грудной и брюшной аорте, а также артериях нижних конечностей (19-26).

Помимо высокой скорости получения изображений, в МДКТ используется совершенно новый способ обработки данных. В отличие от аксиальных срезов, получаемых при КТ, МДКТ позволяет получать трехмерные изображения, по многим параметрам превосходящие изображения на КТ. Возможность создавать субмиллиметровые изображения приближает МДКТ к золотому стандарту изотропного изображения. Существующее поколение МДКТ-сканеров создает изображение, которое приближается к изотропному и которое можно визуализировать не только в стандартной аксиальной проекции, но и в любой произвольной проекции. Оба преимущества расширяют область применения МДКТ, которая теперь включает в себя высокоточное исследование анатомии сердца и коронарных артерий, что считалось невозможным ранее. В данной работе описывается имеющийся у нас опыт применений МДКТ для визуализации коронарных и других сосудов. В частности, мы приведем преимущества и ограничения МДКТ с описанием параметров исследования, которые, по нашему мнению, являются наиболее оптимальными для существующего поколения МДКТ-сканеров (Philips Brilliance 16-спиральный КТ-сканер, Andover, MA).

Использование МДКТ для исследования

1 Samuel Wann, MD, MACC
Wisconsin Heart Hospital
10000 Bluemound Road
Milwaukee, WI 53226 USA
Статья получена 12 декабря 2004 г.
Принята в печать 5 апреля 2005 г.

сердца и коронарной ангиографии

Со времени своего создания доктором Мейсоном Соунзом селективная коронарная ангиография считалась золотым стандартом при определении диаметра эпикардиальных коронарных артерий и оценки степени их сужения (27). Однако она является инвазивной процедурой и может приводить к потенциально опасным осложнениям. Эти осложнения могут быть как легкими (гематома или небольшое кровотечение из зоны пункции), так и опасными (инфаркт миокарда, диссекция коронарной артерии, нарушение мозгового кровообращения и даже смерть) (28). Поскольку диагностическая ангиография в 40-50 % случаев не переходит в эндоваскулярную лечебную процедуру, создание неинвазивных методов диагностики стенотических поражений коронарных артерий представляется оптимальным решением (29). В последнее время основным неинвазивным методом диагностики заболеваний коронарных артерий стала электронно-лучевая компьютерная томография (ЭЛКТ) (рис. 1). При синхронизации с ЭКГ скорость получения изображений при ЭЛКТ составляет 5 мс в режиме киносъемки и 100 мс в режиме высокого разрешения (толщина среза до 1,5 мм) (1-6, 30-36, 38). Эти

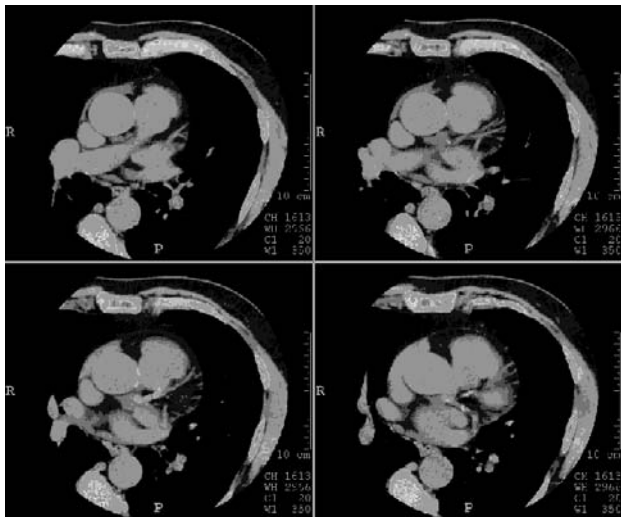


Рис. 1. Оценка степени кальциноза коронарных артерий с помощью МДКТ. Аксиальное сканирование 120 кВ, 140 мАс, ротация 0,420. Коллимация 8 x 3 мм. Толщина среза и инкремент

особенности позволяют оценить степень кальциноза артерий, проходимость коронарных шунтов, а также функцию и анатомию желудочков (41-56). Определение степени кальциноза, например, помогает обнаружить атеросклеротические бляшки и оценить риск развития в последующем нарушений коронарного кровообращения (57, 58).

Однако, несмотря на все свои преимущества, технология ЭЛКТ обладает недостаточным разрешением для того, чтобы измерить степень стеноза эпикардиальных коронарных артерий, в отличие от инвазивного метода коронарной ангиографии. Небольшой диаметр просвета коронарных артерий и их перемещение в ходе сердечного цикла затрудняют точную визуализацию коронарных артерий с

помощью ЭЛКТ и традиционной КТ. Несмотря на то что ЭЛКТ обладает достаточным временным разрешением для визуализации структур сердца в ходе сердечного цикла, данный метод отличается низким пространственным разрешением и не позволяет обнаружить поражение в просвете коронарных артерий.

Благодаря появлению дополнительных детекторов, повышающих временное и пространственное разрешение, МДКТ позволяет детально визуализировать просвет эпикардиальных коронарных артерий. Возможность одновременной обработки 16 срезов обеспечивает визуализацию сердца в течение 30 секунд с пространственным разрешением 0,6 мм и временным разрешением 200 мс (59).

С переходом от аппаратов, осуществляющих однослойное сканирование, к многоспиральным томографам, обеспечивающим визуализацию 16 и более срезов, было проведено слишком малое количество исследований эффективности МДКТ для оценки коронарных артерий. Данные касательно возможности неинвазивной оценки коронарных артерий даже с помощью более ранних 4-спиральных МДКТ-сканеров были оптимистичными. В ходе



Рис. 2. МДКТ коронароангиография. Спиральное сканирование 1240 кВ, 400 мАс, ротация 0,420. Коллимация 16 x 0,75 мм. Толщина среза и инкремент 0,8 x 0,4 мм. 100 см³ внутривенного йодсодержащего контраста, 50 см³ физиологического раствора в качестве "поршня". А) 3D-реконструкция проекции максимальной интенсивности демонстрирует структуру сердца, анатомическое строение и ход коронарных артерий. В, С.) Позиция: короткая ось на уровне корня аорты. Объемное изображение демонстрирует область отхождения ствола левой коронарной и правой коронарной артерий. D) Объемное изображение трифуркации ствола левой коронарной артерии (передняя межжелудочковая ветвь (ПМЖВ), промежуточная (средняя) ветвь, левая огибающая артерия). E) ПМЖВ визуализируется в виде линейной структуры с признаками сужения в проксимальном сегменте.

последних исследований было установлено, что чувствительность метода при выявлении гемодинамически значимых стенозов коронарных артерий составляет 83-85 %, а специфичность — 76-90 % (17, 60). Что более важно, даже 4-спиральные МДКТ-сканеры обеспечивали более высокую отрицательную предсказательную ценность по сравнению с золотым стандартом — инвазивной коронарной ангиографией (46, 61, 62, 67). При использовании 16-спиральных МДКТ-сканеров отрицательная предсказательная ценность составила 97 %.

Проведенный мета-анализ 25 опубликованных исследований ЭЛКГ и 16-спиральной МДКТ показал, что чувствительность этих методов при выявлении гемодинамически значимых стенозов в коронарных артериях составляет 92 %, а при выявлении стенозов в других артериях чувствительность и специфичность составили 83 и 85 % соответственно (10) (рис. 2). В настоящее время ведутся исследования аппаратов с большим количеством спиралей. Ожидается, что точность неинвазивного определения степени стеноза коронарной артерии и число исследуемых ветвей будут существенно выше.

По-видимому, преимущества нового поколения МДКТ-сканеров заключаются не только в возможности количественной оценки степени стеноза коронарных артерий, но и в возможности определения типа поражения. В настоящее время ведутся работы по определению МРА-критериев «уязвимой» бляшки (бляшки, создающей непосредственную опасность острого нарушения коронарного кровообращения) и «стабильной» бляшки. МДКТ-визуализация, возможно, является более перспективной благодаря своей способности отличать «твердые» (кальцинированные) бляшки от «мягких» (не кальцинированных и потенциально «уязвимых» бляшек) (рис. 3). Это свойство МДКТ делает ее более предпочтительной по сравнению с инвазивной коронарной ангиографией при выявлении бляшек, создающих риск нарушений коронарного кровообращения. Характеристика типа бляшки в эпикардальной коронарной артерии несет в себе информацию, которую невозможно получить с помощью обычной ангиографии, и, как показали предварительные исследования, позволяет выделить группу больных, подверженных особому риску, а также подобрать соответствующее лечение (14, 63). Существует необходимость в проведении дополнительных исследований, так как МДКТ может выявить больных с показаниями к профилактическому вмешательству (до развития острого коронарного синдрома), что лучше, чем проводить лечение, когда острый коронарный синдром уже развился.

Исследование сердца с помощью МДКТ незаменимо для послеоперационной оценки проходимости коронарных шунтов и результатов стентирования, при исследовании аномалий и аневризм

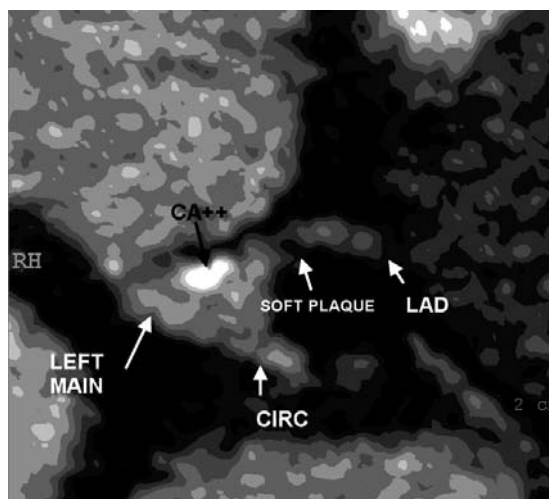


Рис. 3. Пример изображения "твердой" и "мягкой" бляшек. Сравнение дистального сегмента ствола левой коронарной артерии, демонстрирующего картину явного кальциноза (— единицы Хаунсфилда) и проксимального сегмента ПМЖВ с наличием мягкой бляшки (— единицы Хаунсфилда).

коронарных артерий (64-67) (рис. 4). Помимо данных о состоянии сосудистого русла, МДКТ эффективна для оценки функции миокарда, выявления интра- и экстракардиальных опухолей, а также для визуализации внутрисердечных тромбов (68-72) (рис. 5, с. 42). Требуется дополнительное исследование для оценки эффективности МДКТ при

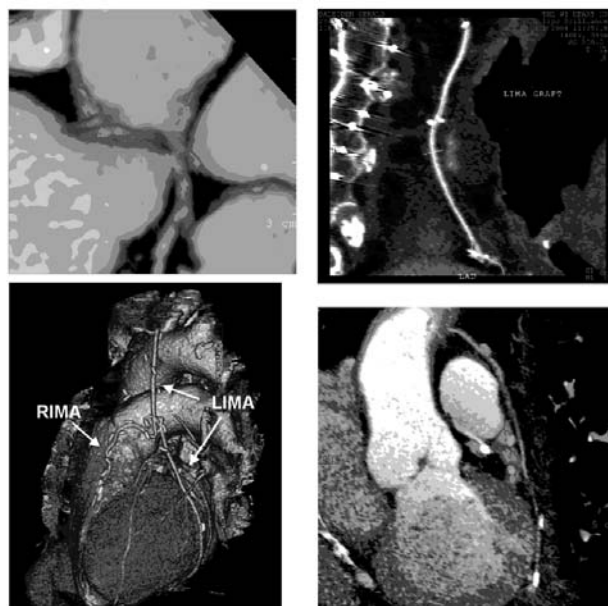


Рис. 4. А) Объемное изображение в позиции короткая ось на уровне корня аорты, демонстрирующее anomальное отхождение правой коронарной артерии от левого коронарного синуса. В) В сагиттальной плоскости определяется проходимый шунт левой внутренней грудной артерии (ЛВГА). С) 3D-реконструкция проекции максимальной интенсивности демонстрирует проходимый шунт ЛВГА и правой внутренней грудной артерии. Д) В косой плоскости визуализируется проходимый шунт к левой огибающей артерии с использованием подкожной вены.

определении перфузии оглушенного, гибернирующего и нежизнеспособного миокарда.

Из-за относительно недавнего внедрения метода МДКТ по-прежнему остается непонятным, какой из режимов МДКТ следует использовать у той или иной группы больных. Защитники метода полагают, что МДКТ является наиболее эффективной у боль-



Рис. 5. А) МДКТ картина левого предсердия. Правые верхняя и нижняя легочные вены полностью проходимы. Левая верхняя легочная вена не визуализируется. Отмечается значительный стеноз левой нижней легочной вены. В) Картина ушка левого предсердия.

ных с атипичными стенокардитическими болями и у асимптомных больных с высоким риском, в то время как другие авторы считают, что данный метод должен дополнительно использоваться у больных с за грудиными болями, а также у больных с установленным диагнозом ИБС, требующих наблюдения. Для ответа на этот вопрос необходимы дополнительные исследования.

Исследование аорты и сосудов грудной клетки и брюшной полости

Возможность быстро получить объемное изображение всей грудной и брюшной аорты с помощью МДКТ обеспечивается благодаря ее практически изотропному разрешению. Благодаря большому числу детекторов изображение аорты и ее ветвей формируется быстро (при однократной задержке дыхания) и характеризуется высоким разрешением (73-82). Режим МДКТ-ангиографии позволяет проводить быстрое и в то же время детальное исследование у больных с симптомами заболеваний аорты или наследственной предрасположенностью к ним (рис. 6). МДКТ эффективна при исследовании аневризм аорты в продольной проекции, а также при послеоперационном наблю-

дении (79-83). У больных с подозрением на расширяющую аневризму МДКТ позволяет точно поставить диагноз не только при поражении восходящего отдела или дуги аорты (что довольно трудно при использовании обычной КТ), но и при аневризмах нисходящего отдела грудной аорты или брюш-



Рис. 6. Примеры абдоминальных аортограмм. Спиральное сканирование 120 кВ, 180 мАс, ротация 0,50. Коллимация 16 x 1,5 мм. Толщина среза и инкремент 5 x 5 мм. Йод-содержащий контраст вводился внутривенно со скоростью 4 см³/мин. А) Трехмерная МДКТ-ангиограмма брюшной аорты и бифуркации общих подвздошных артерий выявила умеренный кальциноз и значительное сужение. В) Трехмерная МДКТ-ангиограмма грудной и брюшной аорты. С) Объемное изображение дистального отдела брюшной аорты, демонстрирующее большую аневризму брюшной аорты с тромбозом.

ной аорты (что также трудно сделать с помощью других методов исследования, таких как чрезпищеводная эхокардиография) (84, 85). Благодаря высокой скорости и большому объему исследуемой области, МДКТ может рассматриваться как основной метод исследования при травматических повреждениях аорты (86).

Исследование артерий нижних конечностей

Одной из наиболее активно исследуемых областей применения МДКТ является диагностика заболеваний артерий нижних конечностей. Инвазивные методы ангиографии, в том числе цифровой субтракционной ангиографии (ЦСА), традиционно считают золотым стандартом визуализации при обследовании больных с подозрением на выраженные изменения в периферических артериях. Из-за ограниченного характера сведений, получаемых при помощи односпиральных сканеров в аксиальной проекции, КТ считалась неэффективной для оценки состояния сосудов нижних конечностей. Однако с появлением МДКТ данный вид исследования позволил детально обследовать артерии нижних конечностей (рис. 7). Теперь он может использоваться для изучения стенозов артерий

нижних конечностей и эффективного определения степени кальциноза благодаря практически изотропному разрешению, позволяющему получать субмиллиметровые изображения. Предварительные исследования эффективности визуализации с помощью МДКТ показали, что ее чувствительность и специфичность при диагностике гемодинамически значимых стенозов периферических артерий составляли соответственно 91 и 92 % (87). Новое поколение МДКТ-сканеров позволит

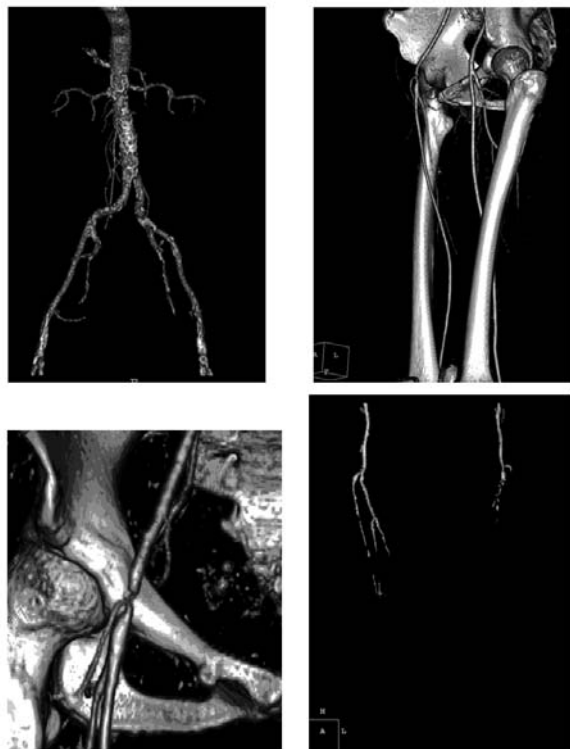


Рис. 7. Пример картины МДКТ-ангиографии аорты и сосудов нижних конечностей. Спиральное сканирование 140 кВ, 165 мАс, ротация 0,50. Коллимация 16 x 1,5 мм. Толщина среза и инкремент 5 x 5 мм. Йод-содержащий контраст вводился внутривенно со скоростью 4 см³/мин. А) Трехмерная МДКТ-ангиограмма дистального отдела брюшной аорты, демонстрирующая выраженный распространенный кальциноз без значительного стеноза. В, С) Трехмерная МДКТ-ангиограмма сосудов таза, демонстрирующая значительный стеноз левой общей бедренной артерии. D) В режиме проекции максимальной интенсивности исследование кровотока в артериях дистальных отделов нижних конечностей выявило нормальный кровоток во всех трех артериях справа и значительное снижение сигнала в дистальных отделах левой нижней конечности.

проводить неинвазивную оценку степени атеросклеротического поражения артерий нижних конечностей с целью определения тактики лечения. В ходе сравнительных исследований будет установлено, какой из методов — МРА или МДКТ-ангиография — является наиболее эффективным и наиболее дешевым неинвазивным методом диагностики.

Исследование почечных артерий

Введение метода МДКТ также повысило эффективность диагностики заболеваний сосудов и паренхимы почек. Раньше при использовании обычных односпиральных компьютерных томографов точная визуализация почечных артерий была затруднена по техническим причинам и из-за осо-

бенностей анатомии. Односпиральные компьютерные томографы не обеспечивали получения достаточного объема информации из-за слишком большой толщины отдельных срезов. Кроме того, поскольку почечные артерии часто расположены косо или даже параллельно плоскости среза, КТ часто не позволяет точно оценить степень стенозов в почечных артериях. Появление нового поколения мультidetекторных томографов во многом разрешило эту проблему за счет быстрого получения изображений без объемных искажений, разрешающей способности, которая обеспечивает субмиллиметровую визуализацию, и уменьшения артефактов (рис. 8). Благодаря этому МДКТ обеспечивает более высокое (почти изотропное) разрешение по оси Z. МДКТ может использоваться для предоперационного обследования доноров почки (88-90). Она также эффективна при диагностике гемодинамически значимых стенозов почечных артерий. В одном из исследований было установлено, что чувствительность и специфичность МДКТ при оценке стенозов почечных артерий составляет соответственно 96 и 99 % (91). Возможность неинвазивной оценки гемодинамически значимых стенозов позволяет определить показания к чрезкожным и/или открытым хирургическим вмешательствам. После стентирования почечной артерии МДКТ может использоваться в ходе периодических обследований. МДКТ обладает высокими диагностическими возможностями по сравнению с инвазивной ангиографией почечных артерий и часто является источником важной информации, касающейся не только сосудов, но и паренхимы почек (размеры и наличие объемных образований).

Ограничения метода

Как и при использовании других технологий, заявленные безграничные возможности МДКТ, как оказалось, имеют и некоторые ограничения. Возможность получать практически изотропные объ-

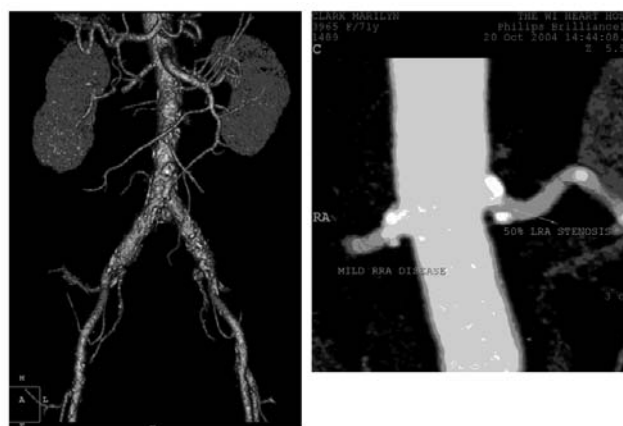


Рис. 8. Пример картины МДКТ-ангиографии почек. Спиральное сканирование 140 кВ, 165 мАс, ротация 0,50. Коллимация 16 x 1,5 мм. Толщина среза и инкремент 3 x 3 мм. Йод-содержащий контраст вводился внутривенно со скоростью 4 см³/мин. А) Визуализация левой и правой почечных артерий в режиме 3D-проекции максимальной интенсивности. В) Объемное изображение левой и правой почечных артерий, демонстрирующее кальциноз в устьях обеих артерий и умеренный стеноз левой почечной артерии.

емные изображения создает проблему хранения и воспроизведения полученной информации (92). Объем данных, получаемых в ходе МДКТ, беспрецедентно велик. И эта проблема будет только увеличиваться по мере создания МДКТ-сканеров с большим числом детекторов. Решение этой проблемы, скорее всего, будет представлять собой сочетание новых способов передачи и архивирования данных, а также интерпретации изображений, и, как сама технология МДКТ, диктующая его необходимость, станет эволюционным.

Многие считают, что ценой увеличения объема информации при МДКТ-визуализации является увеличение радиационного воздействия на пациента. Степень радиационного воздействия достигает уровня традиционной инвазивной ангиографии и превышает аналогичный показатель для односторонних КТ-сканеров (93-96). Несмотря на постоянную разработку новых подходов к защите от облучения, пока по-прежнему приходится выбирать между высоким разрешением по оси Z и повышенной дозой радиации.

В настоящее время необходимость в использовании йод-содержащего контраста для исследования сосудов нивелирует преимущества МДКТ у ряда больных. То же самое относится и к обычной инвазивной ангиографии. Несмотря на хороший эффект некоторых препаратов для предупреждения нефропатии, вызванной контрастным веществом (например, N-ацетилцистеина или бикарбоната натрия), при визуализации у больных с высоким риском этого осложнения врач должен учитывать соотношение польза/риск (97, 98).

Заключение

Несмотря на существующие проблемы, связанные с МДКТ, предоставляемые ею возможности неинвазивной диагностики, а также исследования сердца, сосудов и их заболеваний огромны. МДКТ обладает преимуществом более быстрого сканирования без изменения исследуемой области и степени коллимации. Это приводит к уменьшению артефактов изображения, связанных с движением тканей, и к практически изотропному изображению, что позволяет визуализировать ткани в любых проекциях с многоплоскостной трехмерной реконструкцией. Ведутся работы по оптимизации процесса получения и хранения данных, уменьшению радиационного воздействия на пациента, разработке эффективных контрастных веществ, не обладающих нефротоксичностью, и по созданию программных средств, обеспечивающих более точные и современные диагностические возможности. Кроме того, клинические исследования эффективности новых МДКТ-сканеров при визуализации сердца и сосудов, скорее всего, подтвердят высокие возможности этого метода, которые были предсказаны ранее, при использовании старых моделей МДКТ-томографов. МДКТ является выдающимся достижением в области инструментальной

диагностики сердечно-сосудистых заболеваний и обладает широкими возможностями.

Список литературы

1. Achenbach S., Moshage W., Ropers D. et al. Value of electron-beam computed tomography for the noninvasive detection of high-grade coronary-artery stenoses and occlusions. *N.Engl.J.Med.*, 1998, 339, 1964-1971.
2. Arad Y., Spadaro L.A., Goodman K. et al. Predictive value of electron beam computed tomography of the coronary arteries. 19-month follow-up of 1173 asymptomatic subjects. *Circulation*, 1996, 93, 1951-1953.
3. Arad Y., Spadaro L.A., Goodman K. et al. Prediction of coronary events with electron beam computed tomography. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2000, 36, 1253-1260.
4. Becker C.R., Knez A., Jakobs T.F. et al. Detection and quantification of coronary artery calcification with electron-beam and conventional CT. *Eur. Radiol.*, 1999, 9, 620-624.
5. Detrano R., Hsiai T., Wang S. et al. Prognostic value of coronary calcification and angiographic stenoses in patients undergoing coronary angiography. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1996, 27, 285-290.
6. O'Rourke R.A., Brundage B.H., Froelicher V.F. et al. American College of Cardiology/American Heart Association Expert Consensus document on electron-beam computed tomography for the diagnosis and prognosis of coronary artery disease. *Circulation*, 2000, 102, 126-140.
7. Duerinckx A.J. Coronary MR angiography. *Radiol. Clin. North. Am.*, 1999, 37, 273-318.
8. Edelman R.R., Manning W.J. Magnetic resonance angiography and flow quantification of coronary arteries. *Magn. Reson. Imaging. Clin. N. Am.*, 1993, 1, 339-347.
9. Kim W.Y., Danias P.G., Stuber M. et al. Coronary magnetic resonance angiography for the detection of coronary stenoses. *N. Engl. J. Med.*, 2001, 345, 1863-1869.
10. Bush D.E., Miller J.M., Lima J.C., Shapiro E.P. Comparison of 16-slice submillimeter multidetector spiral computed tomography with conventional angiography for diagnosis of coronary artery disease. 43 (5), abstract 1018-143, 312A.
11. Manning W.J., Edelman R.R. Coronary MR angiography. *Radiology*, 1995, 195, 875-876.
12. Kopp A.F., Schroeder S., Kuettner A. et al. Non-invasive coronary angiography with high resolution multidetector-row computed tomography. Results in 102 patients. *Eur. Heart J.*, 2002, 23, 1714-1725.
13. Becker C.R., Knez A., Leber A. et al. Detection of coronary artery stenoses with multislice helical CT angiography. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, 2002, 26, 750-755.
14. Kopp A.F., Schroeder S., Baumbach A. et al. Non-invasive characterisation of coronary lesion morphology and composition by multislice CT: first results in comparison with intracoronary ultrasound. *Eur. Radiol.*, 2001, 11, 1607-1611.
15. Kopp A.F. Angio-CT: heart and coronary arteries. *Eur. J. Radiol.*, 2003, 45, Suppl 1, S32-S36.
16. Lipton M.J., Holt W.W. Computed tomography for patient management in coronary artery disease. *Circulation*, 1991, 84, 172-180.
17. Nieman K., Cademartiri F., Lemos P.A. et al. Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice

- spiral computed tomography. *Circulation*, 2002, 106, 2051-2054.
18. Schroeder S., Kopp A.F., Baumbach A. et al. Noninvasive detection and evaluation of atherosclerotic coronary plaques with multislice computed tomography. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2001, 37, 1430-1435.
 19. Arlart I.P., Guhl L., Edelman R.R. Magnetic resonance angiography of the abdominal aorta. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.*, 1992, 15, 43-50.
 20. De C.F., Cappio S., Del M.A. Noninvasive imaging of the abdominal vessels. *Rays*, 2001, 26, 269-276.
 21. Fleischmann D. MDCT of renal and mesenteric vessels. *Eur. Radiol.*, 2003, 13, Suppl 5, M94-101.
 22. Fleischmann D. Multiple detector-row CT angiography of the renal and mesenteric vessels. *Eur. J. Radiol.*, 2003, 45, Suppl 1, S79-S87.
 23. Galanski M., Prokop M., Chavan A. et al. Renal arterial stenoses: spiral CT angiography. *Radiology*, 1993, 189, 185-192.
 24. Larsson E.M., Albrechtsson U., Christenson J.T. Computed tomography versus aortography for preoperative evaluation of abdominal aortic aneurysm. *Acta Radiol. Diagn. (Stockh.)*, 1984, 25, 95-100.
 25. Chawla S. Advances in multidetector computed tomography: applications in neuroradiology. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, 2004, 28, Suppl 1, S12-S16.
 26. Foley W.D., Karcaaltincaba M. Computed tomography angiography: principles and clinical applications. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, 2003, 27, Suppl 1, S23-S30.
 27. Sones F.M. Jr., Shirey E.K. Cine coronary arteriography. *Mod. Concepts Cardiovasc. Dis.*, 1962, 31, 735-738.
 28. Scanlon P.J., Faxon D.P., Audet A.M. et al. ACC/AHA guidelines for coronary angiography: executive summary and recommendations. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Coronary Angiography) developed in collaboration with the Society for Cardiac Angiography and Interventions. *Circulation*, 1999, 99, 2345-2357.
 29. Levin D.C. Invasive evaluation (coronary arteriography) of the coronary artery disease patient: clinical, economic and social issues. *Circulation*, 1982, 66, III71-III79.
 30. Rumberger J.A., Simons D.B., Fitzpatrick L.A. et al. Coronary artery calcium area by electron-beam computed tomography and coronary atherosclerotic plaque area. A histopathologic correlative study. *Circulation*, 1995, 92, 2157-2162.
 31. Guerci A.D., Arad Y., Agatston A. Predictive value of EBCT scanning. *Circulation*, 1998; 97: 2583-2584.
 32. Bielak L.F., Rumberger J.A., Sheedy P.F. et al. Probabilistic model for prediction of angiographically defined obstructive coronary artery disease using electron beam computed tomography calcium score strata. *Circulation*, 2000, 102, 380-385.
 33. He Z.X., Hedrick T.D., Pratt C.M. et al. Severity of coronary artery calcification by electron beam computed tomography predicts silent myocardial ischemia. *Circulation*, 2000, 101, 244-251.
 34. Bodenheimer M.M. Long-term prognostic value of coronary calcification detected by electron beam computed tomography in patients undergoing coronary arteriography. *Circulation*, 2002, 105, e127.
 35. Kaufmann R.B., Peyser P.A., Sheedy P.F. et al. Quantification of coronary artery calcium by electron beam computed tomography for determination of severity of angiographic coronary artery disease in younger patients. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1995, 25, 626-632.
 36. Sangiorgi G., Rumberger J.A., Severson A. et al. Arterial calcification and not lumen stenosis is highly correlated with atherosclerotic plaque burden in humans: a histologic study of 723 coronary artery segments using nondecalcifying methodology. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1998, 31, 126-133.
 37. Budoff M.J., Shavelle D.M., LaMont D.H. et al. Usefulness of electron beam computed tomography scanning for distinguishing ischemic from nonischemic cardiomyopathy. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1998, 32, 1173-1178.
 38. Schmermund A., Denktas A.E., Rumberger J.A. et al. Independent and incremental value of coronary artery calcium for predicting the extent of angiographic coronary artery disease: comparison with cardiac risk factors and radionuclide perfusion imaging. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1999, 34, 777-786.
 39. Haberl R., Becker A., Leber A. et al. Correlation of coronary calcification and angiographically documented stenoses in patients with suspected coronary artery disease: results of 1,764 patients. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2001, 37, 451-457.
 40. Nallamothu B.K., Saint S., Rubenfire M. et al. Electron beam computed tomography in the diagnosis of obstructive coronary artery disease. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2001, 37, 689-690.
 41. Brundage B.H., Lipton M.J., Herfkens R.J. et al. Detection of patent coronary bypass grafts by computed tomography. A preliminary report. *Circulation*, 1980, 61, 826-831.
 42. Daniel W.G., Dohring W., Stender H.S. et al. Value and limitations of computed tomography in assessing aortocoronary bypass graft patency. *Circulation*, 1983, 67, 983-987.
 43. Willmann J.K., Szente-Varga M., Roos J.E. et al. Three-dimensional images of extra-anatomic arterial bypass graft using multidetector row spiral computed tomography data with volume rendering. *Circulation*, 2001, 104, E154-E155.
 44. Bateman T.M., Gray R.J., Whiting J.S. et al. Cine computed tomographic evaluation of aortocoronary bypass graft patency. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1986, 8, 693-698.
 45. Schlosser T., Konorza T., Hunold P. et al. Noninvasive visualization of coronary artery bypass grafts using 16-detector row computed tomography. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2004, 44, 1224-1229.
 46. Achenbach S., Moselewski F., Ropers D. et al. Detection of calcified and noncalcified coronary atherosclerotic plaque by contrast-enhanced, submillimeter multidetector spiral computed tomography: a segment-based comparison with intravascular ultrasound. *Circulation*, 2004, 109, 14-17.
 47. Nasir K., Budoff M.J., Post W.S. et al. Electron beam CT versus helical CT scans for assessing coronary calcification: current utility and future directions. *Am. Heart. J.*, 2003, 146, 969-977.
 48. Rumberger J.A. Clinical use of coronary calcium scanning with computed tomography. *Cardiol. Clin.*, 2003, 21, 535-547.
 49. Hong C., Becker C.R., Schoepf U.J. et al. Coronary artery calcium: absolute quantification in nonenhanced and contrast-enhanced multi-detector row CT studies. *Radiology*, 2002, 223, 474-480.

50. Hong C., Bae K.T., Pilgram T.K. et al. Coronary artery calcium measurement with multi-detector row CT: in vitro assessment of effect of radiation dose. *Radiology*, 2002, 225, 901-906.
51. Hong C., Bae K.T., Pilgram T.K. Coronary artery calcium: accuracy and reproducibility of measurements with multi-detector row CT—assessment of effects of different thresholds and quantification methods. *Radiology*, 2003, 227, 795-801.
52. Becker C.R., Jakobs T., Knez A. et al. Methods of quantification of coronary artery calcifications with electron-beam and conventional computed tomography. *Radiologe*, 1998, 38, 1006-1011.
53. Becker C.R., Knez A., Ohnesorge B. et al. Visualization and quantification of coronary calcifications with electron beam and spiral computed tomography. *Eur. Radiol.*, 2000, 10, 629-635.
54. Goldin J.G., Yoon H.C., Greaser L.E. III et al. Spiral versus electron-beam CT for coronary artery calcium scoring. *Radiology*, 2001, 221, 213-221.
55. Shemesh J., Apter S., Rozenman J. et al. Calcification of coronary arteries: detection and quantification with double-helix CT. *Radiology*, 1995, 197, 779-783.
56. Carr J.J., Danitschek J.A., Goff D.C. et al. Coronary artery calcium quantification with retrospectively gated helical CT: protocols and techniques. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*, 2001, 17, 213-220.
57. O'Malley P.G., Taylor A.J., Jackson J.L. et al. Prognostic value of coronary electron-beam computed tomography for coronary heart disease events in asymptomatic populations. *Am. J. Cardiol.*, 2000, 85, 945-948.
58. O'Rourke R.A., Brundage B.H., Froelicher V.F. et al. American College of Cardiology/American Heart Association Expert Consensus Document on electron-beam computed tomography for the diagnosis and prognosis of coronary artery disease. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2000, 36, 326-340.
59. Schoepf U.J., Becker C.R., Ohnesorge B.M. et al. CT of coronary artery disease. *Radiology*, 2004, 232, 18-37.
60. Achenbach S., Giesler T., Ropers D. et al. Detection of coronary artery stenoses by contrast-enhanced, retrospectively electrocardiographically-gated, multislice spiral computed tomography. *Circulation*, 2001, 103, 2535-2538.
61. Nieman K., Oudkerk M., Rensing B.J. et al. Coronary angiography with multi-slice computed tomography. *Lancet*, 2001, 357, 599-603.
62. Ropers D., Baum U., Pohle K. et al. Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation*, 2003, 107, 664-666.
63. Schoenhagen P., Tuzcu E.M., Stillman A.E. et al. Non-invasive assessment of plaque morphology and remodeling in mildly stenotic coronary segments: comparison of 16-slice computed tomography and intravascular ultrasound. *Coron. Artery Dis.*, 2003, 14, 459-462.
64. Van Ooijen P.M., Dorgelo J., Zijlstra F. et al. Detection, visualization and evaluation of anomalous coronary anatomy on 16-slice multidetector-row CT. *Eur. Radiol.*, 2004.
65. Deibler A.R., Kuzo R.S., Vohringer M. et al. Imaging of congenital coronary anomalies with multislice computed tomography. *Mayo Clin. Proc.*, 2004, 79, 1017-1023.
66. Selke K.G., Vemulapalli P., Brodarick S.A. et al. Giant coronary artery aneurysm: detection with echocardiography, computed tomography, and magnetic resonance imaging. *Am. Heart J.*, 1991, 121, 1544-1547.
67. Sato Y., Kato M., Inoue F. et al. Detection of coronary artery aneurysms, stenoses and occlusions by multislice spiral computed tomography in adolescents with kawasaki disease. *Circ. J.*, 2003, 67, 427-430.
68. Bleiweis M.S., Georgiou D., Brundage B.H. Detection of intracardiac masses by ultrafast computed tomography. *Am. J. Card. Imaging*, 1994, 8, 63-68.
69. Tomoda H., Hoshiai M., Furuya H. et al. Evaluation of intracardiac thrombus with computed tomography. *Am. J. Cardiol.*, 1983, 51, 843-852.
70. Tomoda H., Hoshiai M., Tagawa R. et al. Evaluation of left atrial thrombus with computed tomography. *Am. Heart J.*, 1980, 100, 306-310.
71. Masuda Y., Morooka N., Yoshida H. et al. Noninvasive diagnosis of thrombus in the heart and large vessels—usefulness of two-dimensional echocardiography and X-ray CT. *Jpn. Circ. J.*, 1984, 48, 83-89.
72. Mundinger A., Gruber H.P., Dinkel E. et al. Imaging in cardiac mass lesions. *Radiat. Med.*, 1992, 10, 135-140.
73. Stueckle C.A., Haegele K.F., Jendreck M. et al. Multislice computed tomography angiography of the abdominal arteries: comparison between computed tomography angiography and digital subtraction angiography findings in 52 cases. *Australas. Radiol.*, 2004, 48, 142-147.
74. Lawler L.P., Fishman E.K. Multidetector row computed tomography of the aorta and peripheral arteries. *Cardiol. Clin.*, 2003, 21, 607-629.
75. Romano M., Mainenti P.P., Imbriaco M. et al. Multidetector row CT angiography of the abdominal aorta and lower extremities in patients with peripheral arterial occlusive disease: diagnostic accuracy and interobserver agreement. *Eur. J. Radiol.*, 2004, 50, 303-308.
76. Catalano C., Napoli A., Fraioli F. et al. Multidetector-row CT angiography of the infrarenal aortic and lower extremities arterial disease. *Eur. Radiol.*, 2003, 13, Suppl 5, M88-M93.
77. Cademartiri F., Nieman K., Mollet N.R. The dynamics of an ascending aorta dissection by 16 row multislice computed tomography. *Heart*, 2003, 89, 970.
78. Diehm N., Herrmann P., Dinkel H.P. Multidetector CT Angiography Versus Digital Subtraction Angiography for Aortoiliac Length Measurements Prior to Endovascular AAA Repair. *J. Endovasc. Ther.*, 2004, 11, 527-534.
79. Izzillo R., Cassagnes L., Boutekadjirt R. et al. Imaging of abdominal aortic aneurysms: when, how and why? *J. Radiol.*, 2004, 85, 870-882.
80. Lookstein R.A. Impact of CT angiography on endovascular therapy. *Mt. Sinai J. Med.*, 2003, 70, 367-374.
81. Coenegrachts K., Rigauts H., De L.J. Prediction of aortoiliac stent graft length: comparison of a semiautomated computed tomography angiography method and calibrated aortography. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, 2003, 27, 284-288.
82. Rubin G.D. MDCT imaging of the aorta and peripheral vessels. *Eur. J. Radiol.*, 2003, 45, Suppl 1, S42-S49.
83. Diehm N., Herrmann P., Dinkel H.P. Multidetector CT Angiography Versus Digital Subtraction Angiography for Aortoiliac Length Measurements Prior to Endovascular AAA Repair. *J. Endovasc. Ther.*, 2004, 11, 527-534.

84. Oliver T.B., Murchison J.T., Reid J.H. Spiral CT in acute non-cardiac chest pain. Clin. Radiol., 1999, 54, 38-45.
85. Willoteaux S., Lions C., Gaxotte V. et al. Imaging of aortic dissection by helical computed tomography (CT). Eur. Radiol., 2004, 14, 1999-2008.
86. Mirvis S.E., Shanmuganathan K., Buell J. et al. Use of spiral computed tomography for the assessment of blunt trauma patients with potential aortic injury. J. Trauma, 1998, 45, 922-930.
87. Ofer A., Nitecki S.S., Linn S. et al. Multidetector CT angiography of peripheral vascular disease: a prospective comparison with intraarterial digital subtraction angiography. Am. J. Roentgenol., 2003, 180, 719-724.
88. Kawamoto S., Montgomery R.A., Lawler L.P. et al. Multidetector row CT evaluation of living renal donors prior to laparoscopic nephrectomy. Radiographics, 2004, 24, 453-466.
89. Sheth S., Fishman E.K. Multi-detector row CT of the kidneys and urinary tract: techniques and applications in the diagnosis of benign diseases. Radiographics, 2004, 24, e20.
90. Kawamoto S., Montgomery R.A., Lawler L.P. et al. Multidetector CT angiography for preoperative evaluation of living laparoscopic kidney donors. Am. J. Roentgenol., 2003, 180, 1633-1638.
91. Wittenberg G., Kenn W., Tschammler A. et al. Spiral CT angiography of renal arteries: comparison with angiography. Eur. Radiol., 1999, 9, 546-551.
92. Rubin G.D. Data explosion: the challenge of multidetector-row CT. Eur. J. Radiol., 2000, 36, 74-80.
93. Kalra M.K., Maher M.M., Saini S. Radiation exposure and projected risks with multidetector-row computed tomography scanning: clinical strategies and technologic developments for dose reduction. J. Comput. Assist. Tomogr., 2004, 28, Suppl 1, S46-S49.
94. Bae K.T., Hong C., Whiting B.R. Radiation dose in multidetector row computed tomography cardiac imaging. J. Magn. Reson. Imaging, 2004, 19, 859-863.
95. Herzog P., Jakobs T.F., Wintersperger B.J. et al. Radiation dose and dose reduction in multidetector row CT (MDCT). Radiologe, 2002, 42, 691-696.
96. Frush D.P. Review of radiation issues for computed tomography. Semin. Ultrasound CT MR, 2004, 25, 17-24.
97. Tepel M., van der G.M., Schwarzfeld C. et al. Prevention of radiographic-contrast-agent-induced reductions in renal function by acetylcysteine. N. Engl. J. Med., 2000, 343, 180-184.
98. Merten G.J., Burgess W.P., Gray L.V. et al. Prevention of contrast-induced nephropathy with sodium bicarbonate: a randomized controlled trial. JAMA, 2004, 291, 2328-2334.