



DOI: 10.24835/1607-0763-2017-4-19-32

Скрининг кальциноза коронарных артерий методом мультиспиральной компьютерной томографии

Федотенков И.С. *, Терновой С.К.

Институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии” Минздрава России, Москва, Россия

Coronary Calcium Score Using Multi-Slice Computed Tomography

Fedotenko I.S. *, Ternovoy S.K.

National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russia

Атеросклероз коронарных артерий и ишемическая болезнь сердца (ИБС) являются наиболее распространенными причинами смерти и инвалидизации в большинстве индустриально развитых стран мира. Проблема ранней своевременной диагностики ИБС крайне актуальна во всем мире. Доклиническое выявление пациентов с факторами риска развития ИБС является одной из важнейших задач в рутинной клинической практике. Неинвазивным скрининговым методом обследования коронарных артерий является мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) сердца с определением кальциевого индекса. По данным многочисленных исследований выраженность кальциноза коронарных артерий имеет тесную связь с тяжестью атеросклероза коронарных артерий и риском развития коронарных событий. Первоначально исследования по оценке кальциноза коронарных артерий и определению нормативных показателей были выполнены с использованием электронно-лучевых томографов. Позже МСКТ заменила электронно-лучевую томографию. Результаты исследований, выполненных с помощью электронно-лучевых томографов, стали основой для разработки методики оценки кальциноза коронарных артерий с использованием МСКТ. Воспроизводимость результатов подсчета коронарного кальциевого индекса важна для оценки течения атеросклероза. При использовании МСКТ межоператорская и внутриоператорская воспроизводимость достаточно высоки, при повторных исследованиях у одного и того же пациента воспроизводимость метода ниже. В последние годы в клиническую практику было внедрено новое поколение широкодетекторных объемных компьютерных томографов. Снижение лучевой нагрузки до минимальных значений при проведении скрининга кальциноза коронарных артерий является одним из важных преимуществ объемных компьютер-

ных томографов. В настоящее время необходимо проведение исследований по оценке воспроизводимости подсчета коронарного кальциевого индекса при использовании нового поколения компьютерных томографов.

Ключевые слова: коронарный атеросклероз, кальциноз коронарных артерий, мультиспиральная компьютерная томография, скрининг, электронно-лучевая томография.

Ссылка для цитирования: Федотенков И.С., Терновой С.К. Скрининг кальциноза коронарных артерий методом мультиспиральной компьютерной томографии. *Медицинская визуализация*. 2017; 21 (4): 19–32. DOI: 10.24835/1607-0763-2017-4-19-32.

Coronary atherosclerosis and coronary artery disease (CAD) are the most common causes of death and disability in the most of industrialized countries. The problem of early diagnosis of CAD detection is extremely relevant all over the world. Preclinical identification of patients with risk factors of CAD is one of the most important goal in routine clinical practice. Multislice computed tomography (MSCT) of the heart with the determination of the calcium index (CI) is a non-invasive screening of coronary arteries assessment. The severity of coronary calcification has a close relationship with the severity of coronary atherosclerosis and the risk of acute coronary events according to numerous studies. Initially, studies targeted on assessment of coronary calcification and determination of normative parameters were performed using electron-beam scanners (EBS). Subsequently multislice computed tomography (MSCT) replaced the electronic beam tomography (EBCT). The results of studies that performed with EBS have become the basis for a methodology of coronary calcification assessment with MSCT. The reproducibility of coronary calcium score is important for



assessment of atherosclerosis for dynamic monitoring. The inter-observer and intra-observer reproducibility of this method is quite high, the reproducibility according to repeated studies of the same patient is lower. In recent years, a new generation of volumetric CT-scanners has been introduced into clinical practice. Reducing the radiation dose for coronary calcium screening to the minimum values (less than 1 mSv) is one of the important advantages of volumetric computed tomography. Currently, new studies are needed to assess the reproducibility of coronary calcium index calculation using a new generation of volumetric CT-scanners.

Key words: coronary atherosclerosis, coronary artery calcification, multislice computed tomography, screening, electron beam computed tomography.

Recommended citation: Fedotenkov I.S., Ternovoy S.K. Coronary Calcium Score Using Multi-Slice Computed Tomography. *Medical visualization*. 2017; 21 (4): 19–32. DOI: 10.24835/1607-0763-2017-4-19-32.

Введение

Атеросклероз коронарных артерий и ишемическая болезнь сердца (ИБС) являются самыми распространенными причинами смертности и инвалидизации в большинстве индустриально развитых стран мира [1].

В 1998 г. в США и странах Европы было зафиксировано более 600 000 смертей, вызванных поражением коронарных сосудов. Более чем в половине указанных случаев предшествующих эпизодов ИБС не наблюдали. По данным доклада Американской ассоциации кардиологов, в 2000 г. около 62 млн американцев страдали различными формами сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), а ежегодная смертность от ССЗ в США приближалась к 1 млн человек. В последние 10 лет в США отмечается снижение уровня смертности от ССЗ, что, без сомнения, связано с ранней диагностикой ССЗ, адекватностью проводимой терапии и интервенционных мероприятий, а также приобщением людей к здоровому образу жизни [2].

В России до 2005 г. от ССЗ ежегодно умирало 1,3 млн человек, из них около 600 тыс. человек – от осложнений ИБС. При этом в отличие от тенденций, наблюдающихся в развитых странах мира, в России смертность от ССЗ увеличивалась [3]. Однако в течение последние 14 лет наметилась

положительная тенденция – в 2000 г. от ССЗ в России умерло 1,23 млн человек, в 2003 г. – 1,33 млн. В 2005 г. смертность от ССЗ составила 1,29 млн человек, в 2008 г. – 1,18 млн, а в 2013 г. показатель смертности впервые за 13 лет не достиг миллионной отметки – 990 тыс. человек. Таким образом, ССЗ лидируют среди причин смертности россиян [4].

Раннее, доклиническое, выявление пациентов, у которых имеются факторы риска (ФР) развития ИБС, остается по сей день одной из важнейших задач в общей врачебной практике.

Неинвазивным и эффективным скрининговым методом обследования коронарного русла является мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) сердца с определением кальциевого индекса (КИ) [5]. Существует большое количество работ, демонстрирующих, что высокий уровень КИ имеет тесную взаимосвязь с выраженностью атеросклероза и степенью обструктивного поражения коронарных артерий [6–8].

Скрининг коронарного кальция используется в практике здравоохранения большинства индустриально развитых стран мира. Этот неинвазивный тест прост и необременителен для пациента и способен независимо от наличия традиционных ФР достоверно выявлять возможность развития ИБС. Это особенно важно для асимптомных пациентов и лиц, профессия которых связана с повышенной ответственностью (пилоты самолетов, машинисты поездов, водители общественного транспорта и др.) [9, 10].

Исторические аспекты исследования коронарной кальцификации. Впервые кальциноз коронарных артерий был описан в XVIII веке (1761) итальянским анатомом G.V. Morgagni (цит. по Bing R., 1964 [11]) непосредственно после обнаружения такой патологии, как атеросклеротическое поражение коронарных артерий. Немецкий анатом Thebesius считал, что коронарная кальцификация является наиболее значимым этапом в развитии атеросклероза [12]. Эта точка зрения главенствовала в научном мире более 200 лет. В 1863 г. R. Virchow выявил, что обызвествление

Для корреспонденции*: Федотенков Игорь Сергеевич – 121552 Москва, 3-я Черепковская ул., д. 15А. Институт клинической кардиологии, Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии. Тел.: +7-916-674-19-05. E-mail: ifedotenkov@yandex.ru

Федотенков Игорь Сергеевич – канд. мед. наук, заведующий кабинетом компьютерной томографии ИКК им. А.Л. Мясникова ФГБУ «НМИЦК» МЗ РФ, Москва; **Терновой Сергей Константинович** – академик РАН, профессор, доктор мед. наук, руководитель отдела томографии ИКК им. А.Л. Мясникова ФГБУ «НМИЦК» МЗ РФ, Москва.

Contact*: Igor S. Fedotenkov – 121552 Moscow, 3th Cherepkovskaya str., 15A, National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russia. Phone: +7-916-674-19-05. E-mail: ifedotenkov@yandex.ru

Igor S. Fedotenkov – cand. of med. sci., Head of CT Department of National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russia; **Sergey K. Ternovoy** – academician of RASci, Chairman of the Department of Tomography of National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russia.



атеросклеротических бляшек в коронарных артериях повторяет процесс оссификации, то есть формирования костной ткани [13].

В XX веке внимание ученых, занимавшихся проблемой коронарного атеросклероза, было сосредоточено на метаболизме холестерина и иных факторах, влияющих на развитие атеросклеротического процесса. Присутствие депозитов кальция в атеросклеротических бляшках считалось следствием развития атеросклероза и их наличие не предавалось большого значения [12, 14, 15]. На настоящий момент считается, что коронарная кальцификация является не пассивным дегенеративным процессом, а напротив, хорошо организованным, активным, регулируемым и обратимым процессом, сходным с механизмами костеобразования [16].

Этиология и патогенез коронарной кальцификации. Кальцификация коронарных артерий всегда ассоциируется с наличием атеросклеротического процесса [7]. Данные гистологических исследований свидетельствуют, что атеросклеротическая кальцификация развивается, начиная со второй декады жизни, практически сразу после образования жировых пятен. С возрастом частота выявления и степень выраженности кальциноза коронарных артерий возрастают [17].

Кальциноз коронарных артерий и сердечно-сосудистые заболевания. Большинство инфарктов миокарда (ИМ) происходит вследствие тромбоза коронарных артерий, вызванного разрывом атеросклеротической бляшки. Поэтому важной задачей является определение той бляшки, которая склонна к разрыву. Именно состав бляшки, а не степень стенозирования просвета артерии на данный момент рассматривается как основной фактор развития ИМ [18]. Основными предпосылками нестабильности бляшки являются: размер бляшки, структура фиброзного ядра, толщина фиброзной покрышки и наличие воспалительных явлений как непосредственно в фиброзной покрышке, так и рядом с ней [19]. В том случае, если липидное ядро большое и мягкое, высока вероятность разрыва бляшки [20]. Истончение фиброзной покрышки и уменьшение ее коллагеновой составляющей также повышает риск разрыва бляшки [20]. К разрыву бляшки может привести и утолщение покрышки бляшки с возможным включением кальциатов, в этом случае может произойти перераспределение давления в местах соприкосновения кальцинированных участков с некальцинированными, что и приводит к разрыву бляшки.

Роль кальциноза в развитии острых коронарных синдромов не до конца изучена. Однако выяв-

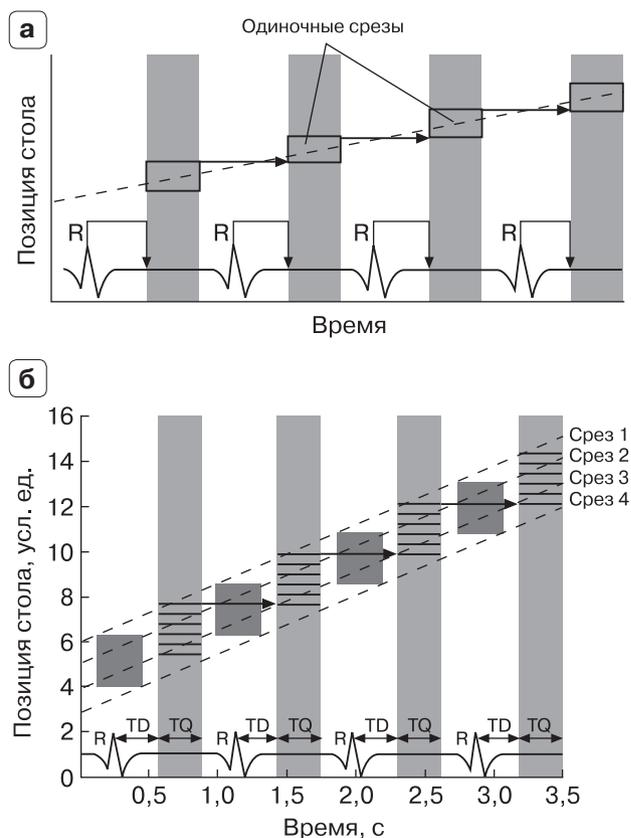


Рис. 1. Схемы кардиосинхронизации по M.F. Reiser и соавт. [22]. а – проспективная кардиосинхронизация; б – ретроспективная кардиосинхронизация. В нижней части схем показан синхронизирующий сигнал ЭКГ (TD – время задержки, TQ – время получения изображения).

ление кальциноза коронарных артерий может способствовать определению групп риска развития ИМ и внезапной смерти.

Первая МСКТ-система была установлена в 1998 г. На данный момент существуют МСКТ-системы с 4, 8, 16, 32, 64, 256–640 рядами детекторов. Основной чертой МСКТ является наличие нескольких параллельных рядов детекторов. В настоящий момент существуют системы так называемой объемной томографии с наличием детектора шириной до 16 см, позволяющего получать одновременно до 640 томограмм и проводить скрининг кальциноза коронарных артерий за один сердечный цикл с лучевой нагрузкой менее 1 мЗв.

МСКТ-системы обладают двумя принципиально разными режимами томографии – спиральным и пошаговым. При спиральном режиме стол находится в постоянном движении с фиксированной скоростью при одновременном постоянном вращении гентри. При пошаговом режиме движения стола поступательны.



При использовании пошагового режима возможно использование проспективной синхронизации с ЭКГ. Пошаговый режим наиболее часто применяется для измерения уровня КИ, так как позволяет снизить лучевую нагрузку [21]. При МСКТ сердца возможны две методики кардиосинхронизации: проспективная и ретроспективная [22] (рис. 1).

При проспективной синхронизации последовательные срезы выполняют в определенную фазу сердечного цикла, триггером включения трубки служит сигнал ЭКГ (зубец R). Важным моментом является тот факт, что лучевая нагрузка при проспективной синхронизации низкая.

При ретроспективной кардиосинхронизации исследование выполняется в мультиспиральном или объемном режиме одновременно с регистрацией ЭКГ. Затем из всего объема данных отбираются изображения, соответствующие заданной фазе сердечного цикла.

МСКТ-системы на данный момент являются “золотым стандартом” в неинвазивной оценке состояния коронарного русла.

Описание метода МСКТ для скрининга кальциноза коронарных артерий. Специальной подготовки пациента к исследованию не требуется. Используется стандартная укладка пациента – такая же, как для КТ легких (лежа на спине, руки за головой). На грудную клетку пациента накладываются электроды ЭКГ и соединяются с блоком кардиосинхронизации томографа. Необходимо высокое качество регистрации ЭКГ на мониторе. Требуется задержка дыхания от 1 с при использовании широкодетекторных систем до 15–40 с при использовании систем МСКТ с числом детекторов до 64, соответственно нужно проинструктировать пациента и провести, если необходимо, тренировку.

После предварительного выполнения томограммы (в двух проекциях) для разметки области исследования выполняют серию последовательных поперечных срезов, начиная от корня аорты (выше отхождения коронарных артерий) до нижней поверхности сердца, при использовании широкодетекторных систем используется метод объемной томографии с одновременным получением до 640 томограмм, толщина томографического среза может варьировать от 0,5 до 3 мм.

Поскольку известно, что движение миокарда и коронарных артерий меньше в фазу систолы, то обычно срезы получают при синхронизации с ЭКГ в систолу (задержка триггера 40% от интервала R–R).

Коронарные артерии хорошо видны на томограммах на фоне жировой клетчатки.

Нормальная анатомия камер сердца и коронарных артерий без внутривенного введения контрастного препарата представлена на рис. 2. Кальцинаты визуализируются из-за их высокой плотности по отношению к крови. Разная степень кальциноза коронарных артерий, определяемая с помощью метода МСКТ, представлена на рис. 3.

Алгоритмы подсчета КИ. В настоящее время проведение количественной оценки кальциноза коронарных артерий возможно при использовании нескольких принципиально разных алгоритмов, таких как алгоритм по методике A.S. Agatson, объемный КИ, масса фосфата кальция, количество кальцинов коронарных артерий.

Алгоритм подсчета КИ по методике A. S. Agatson. В 1990 г. был предложен первый стандартизованный алгоритм подсчета КИ [23]. В течение более чем десятилетия этот алгоритм был единственным во всем мире. При использовании данного метода кальцинированные участки определяются как участки кальциноза площадью более трех смежных пикселей (1,03 мм²), плотностью, равной или превышающей 130 ед.Н, находящиеся в проекции коронарных артерий. КИ вычисляется путем умножения плотности кальцинированного поражения на фактор плотности. Фактор плотности вычисляется по пиковой плотности в зоне кальциноза и составляет:

- 1 – для кальцинов плотностью 130–199 ед.Н;
- 2 – для кальцинов плотностью 200–299 ед.Н;
- 3 – для кальцинов плотностью 300–399 ед.Н;
- 4 – для кальцинов плотностью >400 ед.Н.

Суммарный КИ вычисляют как сумма индексов на всех томографических срезах.

В большинстве современных исследований используют именно КИ по A.S. Agatson [23] (рис. 4).

Алгоритм подсчета объемного КИ. Алгоритм подсчета объемного КИ был впервые использован в 1998 г. T.Q. Callister и соавт. и быстро зарекомендовал себя как надежный метод [24].

При использовании объемного КИ система работает полуавтоматически, используя метод изотропной интерполяции, автоматически выделяя на каждом срезе все воксели с плотностью более 130 ед.Н и умножая их количество на объем одного вокселя (рис. 5).

Суммарный КИ подсчитывают путем сложения объемов всех кальцинов. Формула для определения объемного КИ:

$$V = N_{\text{voxel}} \cdot V_{\text{voxel}} \quad V_{\text{tot}} = \sum V,$$

где V – объем кальцинов; N_{voxel} – число вокселей с плотностью более 130 ед.Н; V_{voxel} – объем одного вокселя; V_{tot} – суммарный объем всех вокселей (суммарный КИ).

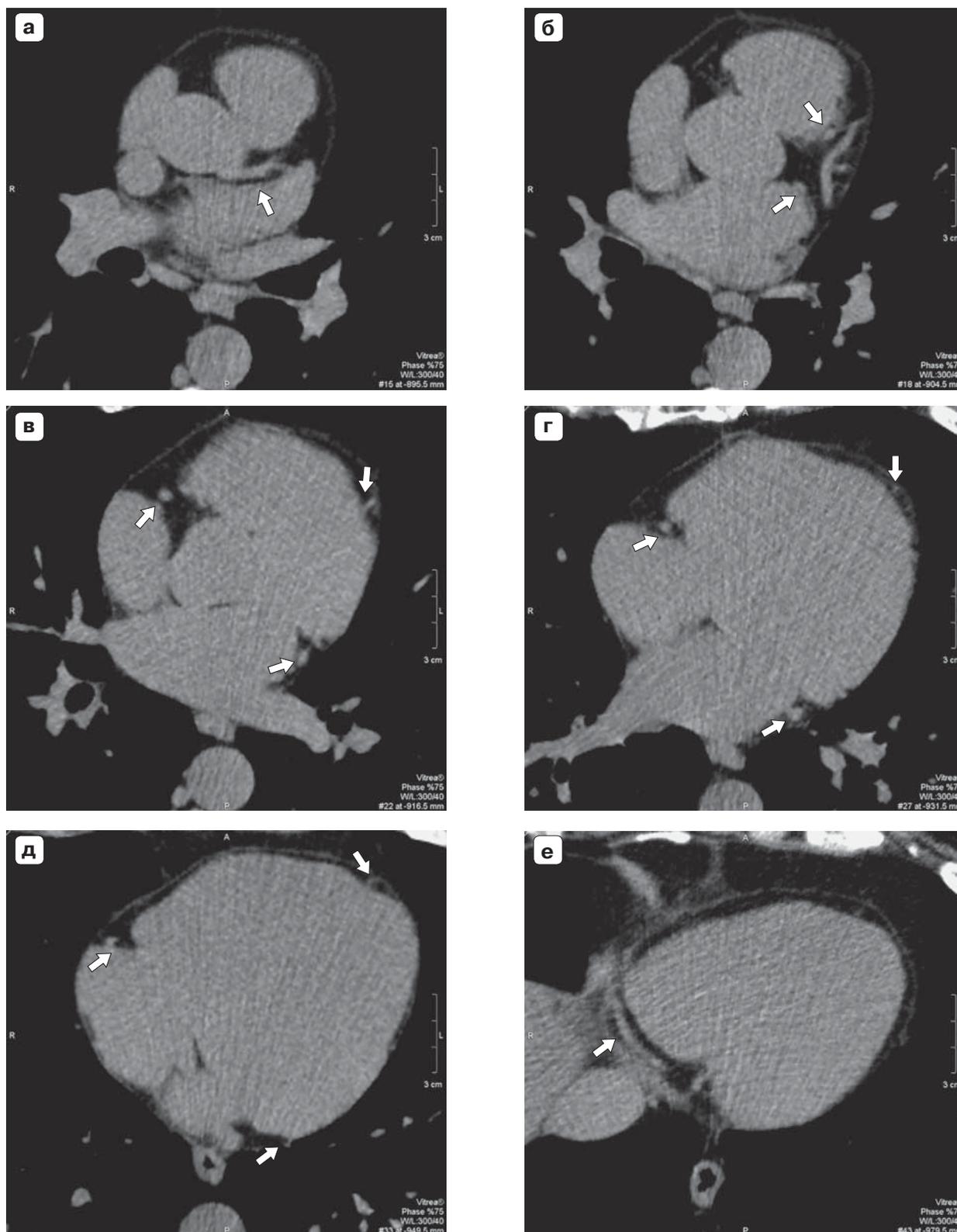


Рис. 2. Нормальная КТ-анатомия камер сердца и коронарных артерий при нативном исследовании. Поперечные томограммы на уровне: а – ствола ЛКА (стрелка); б – устья ПКА (стрелка), видны выносящий тракт ПЖ, полость ЛП; в – средних сегментов ПНА, ОА и ПКА (стрелки), видно устье левой верхней легочной вены; г – средних сегментов ПНА, ОА и ПКА (стрелки), видны полости ЛП, ПП, ПЖ, ЛЖ, устье правой нижней легочной вены; д – среднего сегмента ПКА, дистальных сегментов ПНА и ОА (стрелки); е – дистального сегмента ПКА (стрелка).

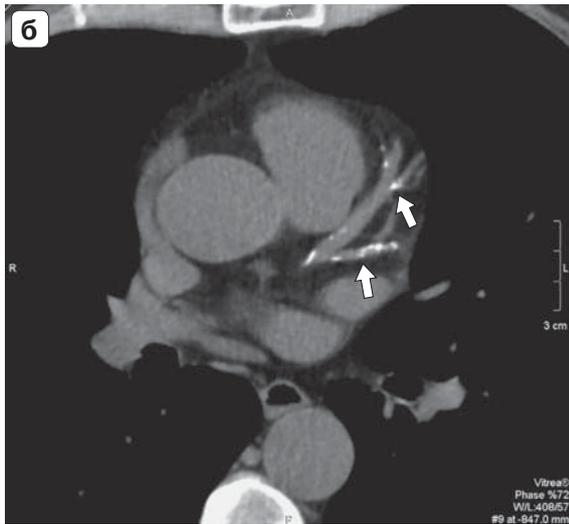
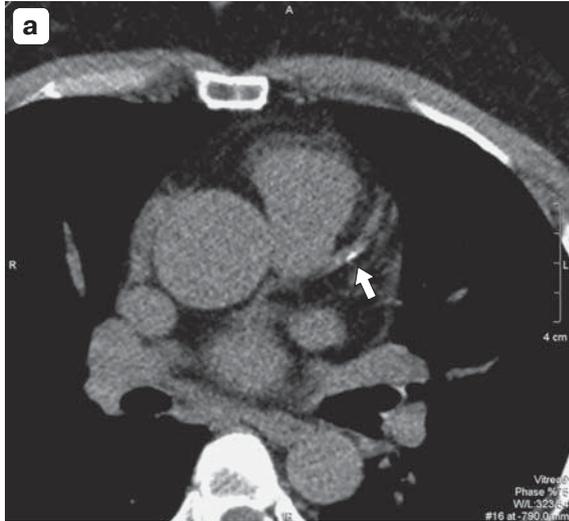
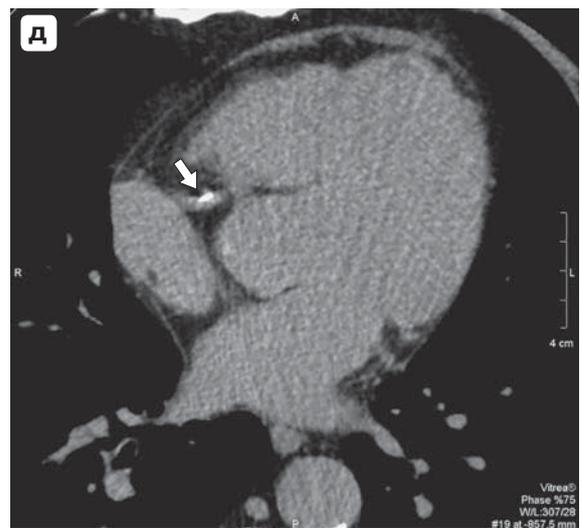
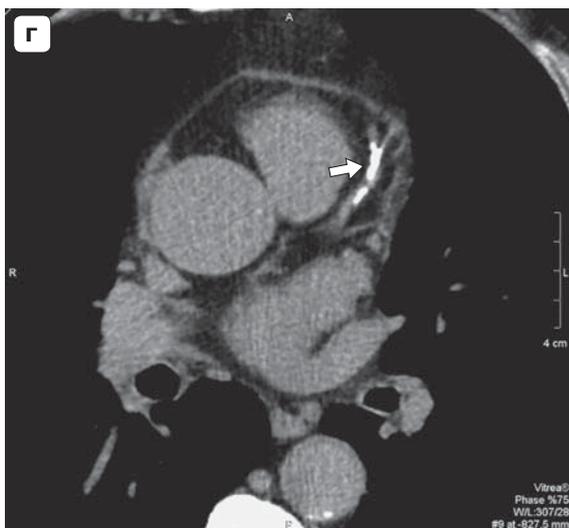
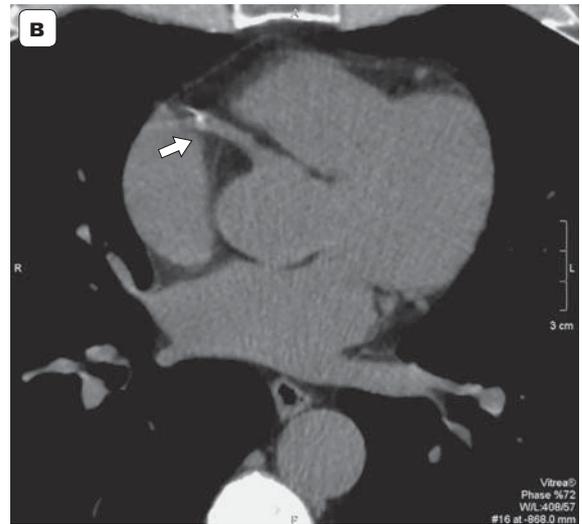


Рис. 3. Различная степень кальциноза коронарных артерий, поперечные томограммы. а – на уровне проксимального и среднего сегментов ПНА. Видна кальцинированная бляшка, расположенная в среднем сегменте ПНА (стрелка) – минимальный кальциноз коронарных артерий. Суммарный КИ = 12 ед.; б, в – коронарные артерии пациента с умеренным кальцинозом коронарных артерий на разных уровнях. Кальцинаты в проекции стенок ПНА (б) и ПКА (в) (стрелки). Суммарный КИ = 109 ед.; г, д – коронарные артерии пациента с выраженным кальцинозом коронарных артерий на разных уровнях, бляшки определяются в средних сегментах ПНА (г) и ПКА (д) (стрелки). Суммарный КИ = 340 ед.



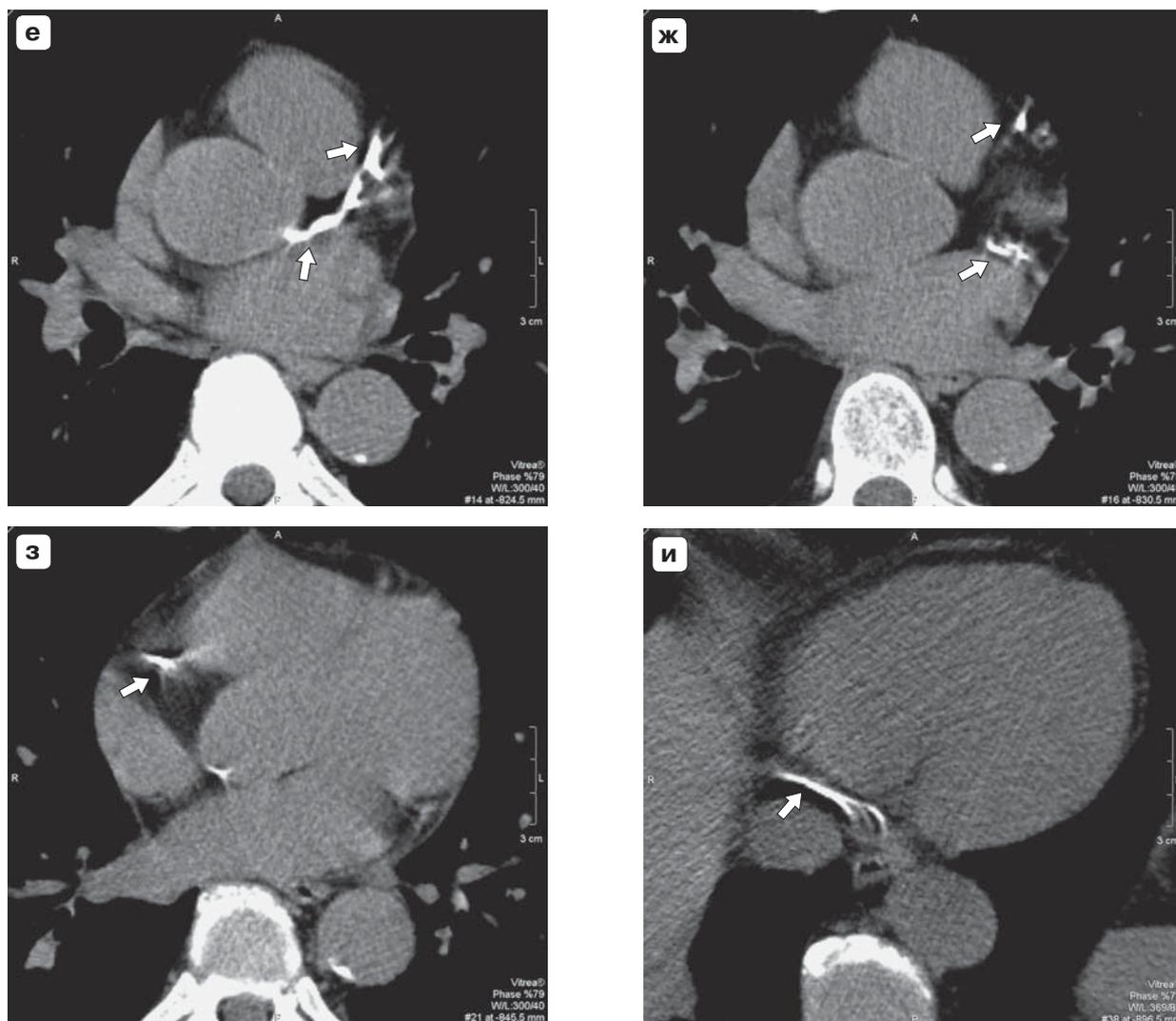


Рис. 3 (окончание). е–и – коронарные артерии пациента со “сливным” кальцинозом коронарных артерий на разных уровнях, кальцинаты определяются во всех сегментах ПНА, ОА и ПКА (стрелки). Суммарный КИ = 3780 ед.

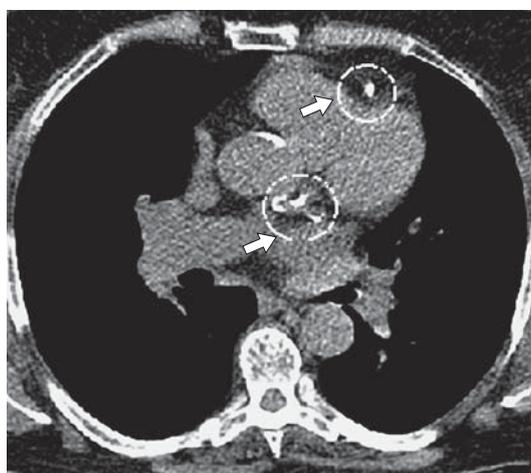


Рис. 4. Пример использования рабочей станции томографа для подсчета КИ. Вручную выделяются участки обызвествления коронарных артерий, расположенные в стволе ЛКА, проксимальном и среднем сегментах ПНА (стрелки).

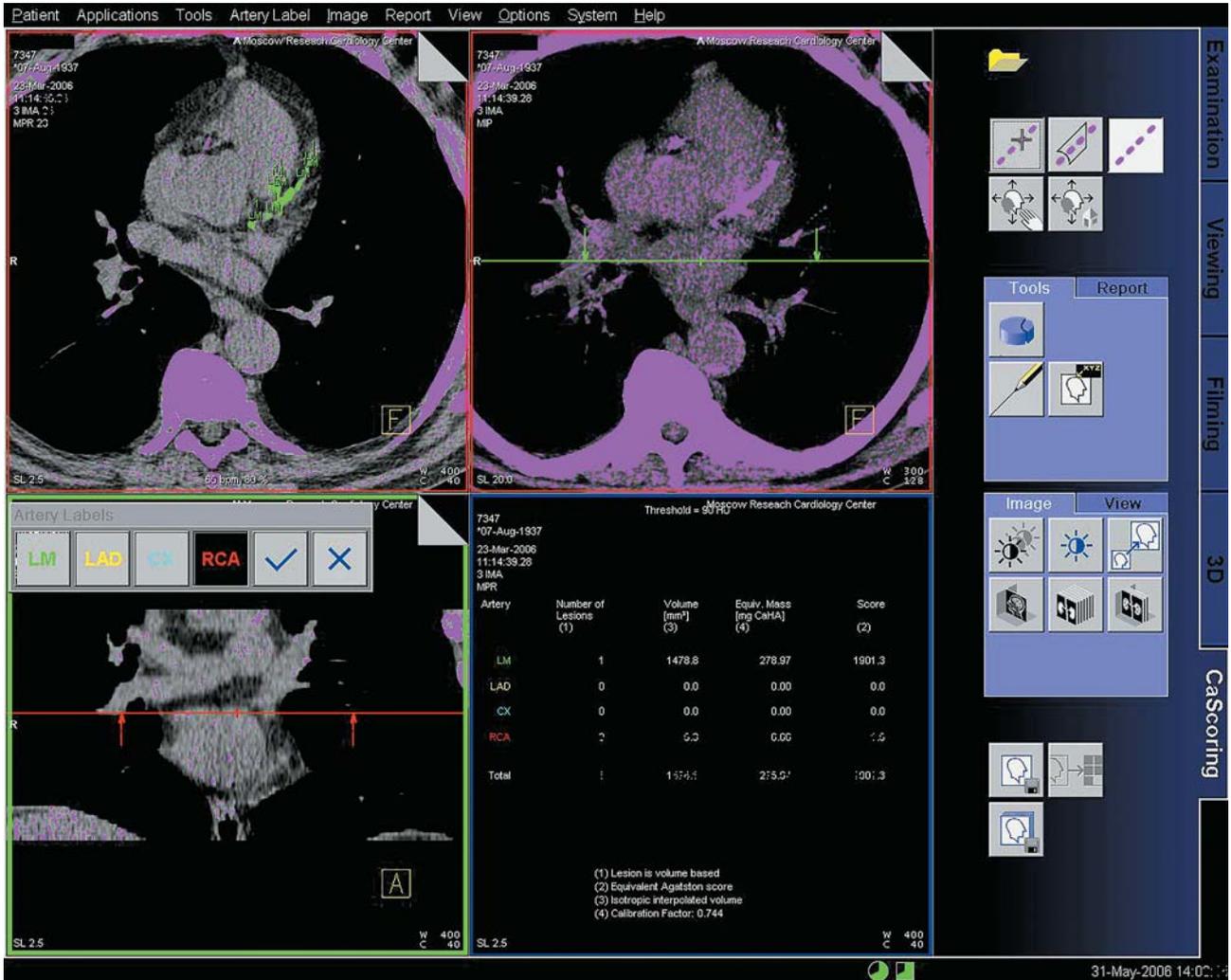
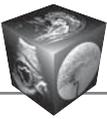


Рис. 5. Пример использования рабочей станции для автоматического определения объемного КИ, одновременно возможно вычислять КИ по методу Agatston и массу фосфата кальция.

Этот алгоритм имеет свои ограничения: во-первых, возможность преувеличения размера кальцината, так как при подсчете объекты менее одного вокселя будут подсчитываться как целый воксел, а во-вторых, возможность отображения не истинного объема кальция в зависимости от выбранного порога плотности.

Алгоритм подсчета массы фосфата кальция. В 1997 г. Н.С. Уонг и соавт. был разработан алгоритм подсчета массы фосфата кальция [25]. Суммарная масса фосфата кальция исчисляется в миллиграммах, то есть в отличие от вышеописанных алгоритмов в реальной физической величине.

Для использования алгоритма подсчета массы фосфата кальция необходимо проведение калибровки томографа с вычислением определенного калибровочного фактора. На данный момент существуют работы, демонстрирующие, что данный

алгоритм обладает большей воспроизводимостью результатов в сравнении с КИ по A.S. Agatston [26, 27], однако необходимо проведение дальнейших исследований в этом направлении.

Показания и противопоказания к применению метода МСКТ для скрининга кальциноза коронарных артерий

На сегодняшний день использование МСКТ для количественного определения коронарного кальция может быть рекомендовано в следующих случаях:

- для проведения дифференциальной диагностики у пациентов с неясным болевым синдромом в грудной клетке и решения вопроса о необходимости проведения дальнейшего углубленного обследования;



Таблица 1. Рекомендации, разработанные Обществом по лучевой диагностике атеросклероза (Hecht H.S. и соавт. [32])

Класс	Показания	Применение метода
Класс 1	Показания, в отношении которых существует единогласное мнение, что метод полезен и эффективен	<ol style="list-style-type: none"> 1. Начальный диагностический тест в амбулаторных условиях у пациентов до 65 лет с атипичными болями в грудной клетке при отсутствии установленного диагноза ИБС. 2. Дополнительный диагностический тест у пациентов до 65 лет с сомнительными результатами стресс-тестов при отсутствии установленного диагноза ИБС. 3. Обследование в условиях отделений интенсивной терапии мужчин до 50 лет и женщин до 60 лет с болью в грудной клетке и нормальной или недиагностической (для ИМ) ЭКГ при отсутствии установленного диагноза ИБС
Класс 2	Спорные показания – показания, относительно полезности которых существуют разногласия	<ol style="list-style-type: none"> 2А. Данные в пользу полезности и эффективности метода преобладают: <ol style="list-style-type: none"> 1) мужчины 45–65 лет, женщины 55–75 лет без установленных ССЗ; 2) больные сахарным диабетом (мужчины 35–65 лет, женщины 35–75 лет) без установленных ССЗ; 3) в качестве дополнительного теста при решении вопроса о начале или изменении лекарственной терапии нарушений липидного обмена у пациентов с установленной ИБС 2В. Полезность и эффективность метода более сомнительны: <ol style="list-style-type: none"> 1) мониторинг прогрессии и эффективности липидопонижающей терапии в интервале более года; 2) установление этиологии сердечной недостаточности; 3) наблюдение за пациентами после трансплантации сердца
Класс 3	Показания отсутствуют	<ol style="list-style-type: none"> 1. Беременность 2. Аортокоронарное шунтирование и стентирование в анамнезе 3. Подтвержденная ИБС без планирования наблюдения за прогрессированием кальциноза и эффективностью терапии

– для профилактических осмотров (скрининга) пациентов без симптомов ИБС с целью определения лиц с признаками кальциноза (атеросклероза) коронарных артерий;

– для контроля за прогрессированием коронарного атеросклероза, сравнения результатов обследования через определенные интервалы времени с целью определения тактики лечения для предотвращения прогрессирования атеросклероза и для определения эффективности проводимой терапии.

Пациентам с болью в грудной клетке неустановленной природы, особенно если у них нет коронарного анамнеза (нет предшествующих ИМ, данных ангиографии или других диагностических результатов), часто необходимы дальнейшие исследования перед принятием правильного решения о тактике лечения. Исследования показали, что оценка коронарного кальция с помощью МСКТ является чувствительной для предсказания риска наличия значимых ангиографических стенозов. Чувствительность МСКТ сравнима с чувствительностью тестов с дозированной физической нагрузкой у пациентов с симптомами ИБС [28].

На основании данных собственных исследований [29, 30] и данных литературы [31, 32] разработаны практические рекомендации для исполь-

зования МСКТ для выявления и количественной оценки коронарного кальция.

Можно считать, что проведение МСКТ с целью выявления кальциноза коронарных артерий оправдано в следующих ситуациях. Ниже рассмотрены 3 основные группы показаний к определению КИ.

1. Обследование пациентов с неясным болевым синдромом в грудной клетке, для определения дальнейшей тактики обследования (рекомендации представлены в табл. 1).

2. Обследование асимптомных пациентов без клинических проявлений ИБС, то есть использование методики как скрининговой, для выявления пациентов с высоким риском развития коронарных событий (рекомендации представлены в табл. 2).

3. Использование КИ для наблюдения за прогрессией атеросклероза у пациентов с доказанными атеросклеротическими изменениями коронарного русла.

Воспроизводимость результатов подсчета коронарного КИ. Несмотря на широкое применение в клинической практике скрининга коронарного кальция, имеются данные о некоторых ограничениях этой методики. Для оценки течения атеросклероза при динамическом наблюдении пациентов важна воспроизводимость результатов подсчета коронарного КИ [10]. Так как данная ме-



Таблица 2. Рекомендации по интерпретации полученных результатов исследования КИ у асимптомных пациентов (Rumberger J.A. и соавт. [31])

КИ, ед.	Типы выявляемых атеросклеротических бляшек	Степень изменения коронарного русла	Риск развития коронарных событий	Клинические рекомендации
0	Нет атеросклеротических бляшек	Отрицательная предсказательная ценность >95%. Наиболее вероятно – интактные артерии	Очень низкий	Ознакомление пациента с профилактикой риска ССЗ. Ведение здорового образа жизни
1–10	Минимальное количество атеросклеротических бляшек	Отрицательная предсказательная ценность >90%. Маловероятно наличие изменений	Низкий	Первичная профилактика ССЗ
11–100	Атеросклеротические бляшки присутствуют в незначительном количестве	Возможно наличие незначимых стенозов	Умеренный	Модификация ФР, контроль уровня холестерина, ежедневный прием антиагрегантов
101–400	Атеросклеротические бляшки присутствуют, степень их выраженности умеренная	Наличие гемодинамически незначимых стенозов очень вероятно, возможны гемодинамически значимые стенозы	Умеренно высокий	Активная модификация ФР, проведение нагрузочных тестов
>400	Выраженный атеросклероз коронарных артерий	Высоковероятно (>90%) наличие хотя бы одного гемодинамически значимого стеноза	Высокий	Очень активная модификация ФР. Проведение нагрузочных и стресс-тестов для выявления ишемии миокарда

тодика была разработана для электронно-лучевых томографов, первые работы, в которых оценивалась межоператорская и внутриоператорская воспроизводимость метода, выполнялись на них. Было доказано, что при повторных исследованиях у одного и того же пациента отмечается вариабельность результатов – от 6,6 до 16% при оценке разными исследователями [10]. Когда эта методика была адаптирована для МСКТ, М. Budoff и соавт. показали, что чувствительность и специфичность (74 и 70% соответственно) выявления кальциатов коронарных артерий методом МСКТ ниже по сравнению с результатами электронно-лучевой томографии [33].

Расхождение значений КИ при повторных исследованиях может быть связано с частичным объемным эффектом, количеством рядов детекторов, различными типами томографов, фазой сердечного цикла, спиральным и пошаговым режимом томографирования, толщиной среза, скоростью вращения рентгеновской трубки [34–36]. Например, в работе S. Мао и соавт. показано, что при использовании специальной методики задержки триггера в отличие от стандартной задержки

триггера – 80% интервала *R-R* вариабельность результатов при повторных исследованиях была меньше [35]. Напротив, в работе S. Achenbach и соавт. значимого влияния выполнения исследования при различных интервалах *R-R* на воспроизводимость результатов получено не было [37]. По данным M.J. Budoff и соавт., “объемный” метод имеет более высокую воспроизводимость на различных типах томографов (электронно-лучевые, МСК-томографы с 4, 16, 64 рядами детекторов) из-за уменьшения зависимости от толщины изображения по сравнению с подсчетом КИ по A.S. Agatson [38]. По данным работы M. Weininger и соавт., результаты измерений КИ “объемным” методом и по A.S. Agatson на различных рабочих станциях отличаются по абсолютным величинам, но статистически значимых различий нет [39].

Большая вариабельность повторных измерений КИ отмечается у пациентов с небольшими значениями КИ по сравнению с большими, у которых выявляется выраженный кальциоз коронарных артерий. В работе A. Knez и соавт. вариабельность при низких значениях КИ (менее 100 ед.) составила 32% [5, 40]. В исследовании W. Stanford



и соавт. для группы больных с КИ менее 11 ед. расхождение результатов отмечались в 65–67,9% случаев, для группы пациентов, в которой КИ составил от 12 до 400 ед., вариабельность была меньше – от 15 до 30 ед. [5, 41]. S. Ulzheimer и соавт. для достижения максимальной воспроизводимости результатов рекомендуют выполнять повторные исследования у больных с низким значением КИ через небольшие промежутки времени на одном и том же томографе и одним и тем же врачом-диагностом [42]. Однако эти данные требуют дальнейшего анализа. S. Ulzheimer и соавт. также отмечают, что при проведении МСКТ с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией и выполнении измерений на более тонких срезах повышается точность подсчета КИ, однако при этом в 4 раза повышается лучевая нагрузка [42].

В последние годы в клиническую практику было внедрено новое поколение широкодетекторных объемных компьютерных томографов. Снижение лучевой нагрузки до минимальных значений при проведении скрининга кальциноза коронарных артерий является одним из важных преимуществ объемных компьютерных томографов. В настоящее время необходимо проведение исследований по оценке воспроизводимости подсчета коронарного КИ при использовании нового поколения компьютерных томографов.

Заключение

Атеросклероз коронарных артерий и ИБС являются самыми распространенными причинами смертности и инвалидизации в большинстве индустриально развитых стран мира. Кальцификация коронарных артерий практически всегда ассоциируется с наличием атеросклеротического процесса.

Патоморфологические исследования доказали, что высокий уровень КИ практически всегда ассоциируется со значительно большим риском развития обструктивного поражения коронарного русла, хотя большинство исследователей и считают, что пороговым значением является величина 400 ед., существуют, однако, альтернативные мнения, какой уровень КИ считать пороговым. Во многих исследованиях было доказано, что КИ независимо от наличия традиционных ФР способен достоверно выявлять возможность развития ИБС.

Существуют рекомендации по клинической интерпретации результатов КИ, которые активно применяются как для группы асимптомных пациентов, так и для наблюдения за прогрессией атеросклероза.

МСКТ стала новым эффективным методом выявления атеросклероза коронарных артерий

на ранней стадии болезни, до развития ее клинических проявлений. Метод выявления коронарного атеросклероза с помощью компьютерной томографии основывается на обнаружении кальциноза атеросклеротических бляшек и его количественной оценке по стандартизованной шкале. Выявление кальциноза коронарных артерий однозначно указывает на наличие у пациента коронарного атеросклероза. Количественная оценка степени коронарного кальциноза позволяет оценить локализацию и выраженность атеросклеротического поражения венечных артерий, а также риск наличия гемодинамически значимых стенозов. Наличие кальциноза коронарных артерий не является обязательным показанием к коронарографии. Данные относительно наличия и выраженности кальциноза коронарных артерий должны соотноситься с результатами клинического обследования, лабораторных методов и других методов диагностики. При повторном определении величины КИ через относительно короткий промежуток времени, в особенности при небольших исходных значениях этого показателя, необходимо учитывать вариабельность измерений.

Метод выявления кальциноза коронарных артерий с помощью широкодетекторных систем компьютерной томографии с минимальной лучевой нагрузкой должен шире использоваться в клинической практике.

Список литературы

1. Всемирная организация здравоохранения. Профилактика сердечно-сосудистых заболеваний. Карманное пособие по оценке и снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний. (Номограммы риска Всемирной организации здравоохранения ВОЗ)/ Международного общества по гипертензии (МОГ) для Европейского региона ВОЗ). Женева, 2007. 22 с.
2. Goldberg R.J., Glatfelter K., Burbank-Schmidt E., Lessard D., Gore J.M. Trends in community mortality due to coronary heart disease. *Am. Heart J.* 2006; 151 (2): 501–507. DOI: 10.1016/j.ahj.2005.04.024.
3. Демографический ежегодник России 2007 г. Статистический сборник. М.: Росстат, 2007. 551 с.
4. Доклад о состоянии здоровья населения и организации здравоохранения по итогам деятельности органов исполнительной власти субъектов федерации за 2014 год [Электронный ресурс]/ Министерство здравоохранения Российской Федерации. Электрон. дан. М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2015. Режим доступа: <https://www.rosminzdrav.ru/ministry/programms/doklad-o-sostoyanii-zdorovya-naseleniya-i-organizatsii-zdravoohraneniya-po-itogam-deyatelnosti-organov-ispolnitelnoy-vlasti-sub-ektov-rossiyskoy-federatsii-za-2014-god> (дата обращения 3.03.2017 г.).
5. Джанчатова Б.А., Капанадзе Л.Б., Серова Н.С. Лучевые методы оценки кальциноза коронарных артерий.



Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2015; 5 (1): 58–65.

6. Rumberger J.A., Schwartz R.S., Simons D.B., Sheedy P.F. 3rd, Edwards W.D., Fitzpatrick L.A. Relation of coronary calcium determined by electron beam computed tomography and lumen narrowing determined by autopsy. *Am. J. Cardiol.* 1994; 73: 1169–1173.
7. Rumberger J.A., Sheedy P.F., Breen J.F., Schwartz R.S. Electron Beam Computed Tomographic Coronary Calcium Score Cutpoints and Severity of Associated Angiographic Lumen Stenosis. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1997; 29: 1542–1548. DOI: 10.1016/S0735-1097(97)00093-4.
8. Rosen B.D., Fernandes V., McClelland R.L., Carr J.J., Detrano R., Bluemke D.A., Lima J.A.C. Relationship Between Baseline Coronary Calcium Score and Demonstration of Coronary Artery Stenoses During Follow-Up MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis). *JACC: Cardiovasc. Imaging.* 2009; 2 (10): 1175–1183. DOI: 10.1016/j.jcmg.2009.06.014.
9. Терновой С.К., Сеницын В.Е. Спиральная компьютерная и электронно-лучевая томография. М.: Видар, 1998. 141 с.
10. Терновой С.К., Сеницын В.Е., Гагарина Н.В. Неинвазивная диагностика атеросклероза и кальциноза коронарных артерий. М.: Атмосфера, 2003. 140 с.
11. Bing R. Coronary circulation and cardiac metabolism. In: Fishman A., Richards D. (eds). *Circulation of the blood: men and ideas.* Oxford, UK: Oxford University Press, 1964: 199–264.
12. Blankenhorn D.H. Coronary arterial calcification: a review. *Am. J. Med. Sci.* 1961; 42: 1–9.
13. Virchow R. Cellular pathology: as based upon physiological and pathological histology (translated by Frank Chance, 1971). Dover, 1863: 404–408.
14. Leary T. Atherosclerosis: special consideration of aortic lesions. *Arch. Pathol.* 1936; 21: 419–419.
15. Hamby R.L., Tabrah F., Wisoff B.G., Hartstein M.L. Coronary artery calcification: clinical implications and angiographic correlates. *Am. Heart J.* 1974; 87: 565–570.
16. Wei Liu, Yue Zhang, Cheuk-Man Yu, Qing-Wei Ji, Meng Cai, Ying-Xin Zhao, Yu-Jie Zhou Current understanding of coronary artery calcification. *J. Geriatr. Cardiol.* 2015; 12 (6): 668–675. DOI: 10.11909/j.issn.1671-5411.2015.06.012.
17. Stary H.C. The sequence of cell and matrix changes in atherosclerotic lesions of coronary arteries in the first forty years of life. *Eur. Heart J.* 1990; 11 (Suppl. E): 3–19.
18. Van der Wal A.C., Becker A.E., van der Loos C.M., Das P.K. Site of intimal rupture or erosion of thrombosed coronary atherosclerotic plaques is characterized by an inflammatory process irrespective of the dominant plaque morphology. *Circulation.* 1994; 89: 36–44. DOI: 10.1161/01.CIR.89.1.36.
19. Virmani R., Kolodgie F.D., Burke A.P., Farb A., Schwartz S.M. Lessons from sudden coronary death: A comprehensive morphological classification scheme for atherosclerotic lesions. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 2000; 20: 1262–1275.
20. Davies M.J., Richardson P.D., Woolf N., Katz D.R., Mann J. Risc of thrombosis in human atherosclerotic plaques: role of extracellular lipid, macrophage and smooth muscle cell content. *Br. Heart J.* 1993; 69: 377–381.
21. Becker C., Schätzl M., Feist H., Bäuml A., Schöpf U.J., Michalski G., Lechel U., Hengge M., Brüning R, Reiser M. Assessment of effective dose for routine protocols in conventional CT, EBCT and coronary angiography. *Rofo.* 1999; 170: 90–104. DOI: 10.1055/s-2007-1011015.
22. Reiser M.F., Takahashi M., Modic M., Bruening R. Multi-slice CT. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag GmbH., 2001: 121–144.
23. Agatson A.S., Janovitz W.R., Hildner F.J., Zusmer N.R., Viamonte M. Jr., Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1990; 15: 827–832.
24. Callister T.Q., Coool B., Raya S.P., Lippolis N.J., Russo D.J., Raggi P. Coronary artery disease: improved reproducibility of calcium scoring with an electron-beam CT volumetric method. *Radiology.* 1998; 208: 807–814. DOI: 10.1148/radiology.208.3.9722864.
25. Yoon H.C., Goldin J.G., Greaser L.E., Sayre J., Fona-row G.C. Interscan variation in coronary artery calcium calcification in a large asymptomatic patient population. *Am. J. Roengenol.* 2000; 174: 803–809. DOI: 10.2214/ajr.174.3.1740803.
26. Ulzheimer S. Cardiac imaging with X-ray Computed Tomography: new approaches to imaging acquisition and quality assurance. Shaker, Aachen, 2001. 123 p.
27. Ulzheimer S., Kalender V.A. Assessment of calcium scoring performance in cardiac computed tomography. *Eur. Radiol.* 2003; 13: 484–497. DOI: 10.1007/s00330-002-1746-y.
28. Rahsepar A.A., Arbab-Zadeh A. Cardiac CT vs. Stress Testing in Patients with Suspected Coronary Artery Disease: Review and Expert Recommendations. *Curr. Cardiovasc. Imaging Rep.* 2015; 8 (8): 29. DOI: 10.1007/s12410-015-9344-y.
29. Терновой С.К., Федотенков И.С., Гагарина Н.В., Веселова Т.Н., Сеницын В.Е. Количественный анализ уровня кальциноза коронарных артерий: сравнение информативности мультиспиральной компьютерной томографии и электронно-лучевой томографии. *Терапевтический архив.* 2006; 12: 15–18.
30. Сеницын В.Е., Веселова Т.Н., Федотенков И.С., Терновой С.К. Роль мультиспиральной компьютерной томографии в диагностике кальциноза коронарных артерий. *Кардиологический вестник.* 2007; 1: 45–48.
31. Rumberger J.A., Brundage B.H., Rader D.J., Kondos G. Electron beam computed tomographic coronary calcium scanning: a review and guidelines for use in asymptomatic persons. *Mayo Clin. Proc.* 1999; 74: 243–252. DOI: 10.4065/74.3.243.
32. Hecht H.S. For the Society of Atherosclerosis Imaging. Practice guidelines for electron-beam tomography: a report of the Society of Atherosclerosis Imaging. *Am. J. Cardiol.* 2000; 86: 705–706.
33. Budoff M.J., Mao S., Zalace C.P., Akhsheshi H.B., Oudiz R.J. Comparison of spiral and electron beam tomography in the evaluation of coronary calcification in asymptomatic persons. *Int. J. Cardiol.* 2001; 77: 181–188. DOI: 10.1016/S0167-5273(00)00449-6.
34. Becker C.R., Knez A., Jakobs T.F., Aydemir S., Becker A., Schoepf U.J., Bruening R., Haber R., Reiser M.F. Detection and quantification of coronary artery calcification with electron-beam and conventional CT. *Eur. Radiol.* 1999; 9 (4): 620–624. DOI: 10.1007/s003300050720.
35. Mao S., Budoff M.J., Bakhsheshi H., Liu S.C. Improved reproducibility of coronary artery calcium scoring by electron beam tomography with a new electrocardiographic trigger method. *Invest. Radiol.* 2001; 36 (7): 363–367.



36. Ajlan M., Ahmed A., Alskaini A.M., Abukhaled N.F., Alsaileek A., Ajlan A., Sulaiman I.F., Al-Mallah M.H. The reproducibility of coronary artery calcium scoring on different software platforms. *J. Saudi Heart Assoc.* 2013; 25 (2): 151–152. DOI: 10.1016/j.jicard.2015.03.133.
37. Achenbach S., Ropers D., Möhlenkamp S., Schmermund A., Muschiol G., Groth J., Kusus M., Regenfus M., Daniel W.G., Erbel R., Moshage W. Variability of repeated coronary artery calcium measurements by electron beam tomography. *Am. J. Cardiol.* 2001; 87 (2): 210–213, A8.
38. Budoff M.J., McClelland R.L., Chung H., Wong N.D., Carr J.J., McNitt-Gray M., Blumenthal R.S., Detrano R.C. Reproducibility of Coronary Artery Calcified Plaque with Cardiac 64-MDCT: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Am. J. Roentgenol.* 2009; 192: 613–617. DOI: 10.2214/AJR.08.1242.
39. Weininger M., Ritz K.S., Schoepf U.J., Flohr T.G., Vliegenthart R., Costello P., Hahn D., Beissert M. Interplatform Reproducibility of CT Coronary Calcium Scoring Software. *Radiology.* 2012; 265 (1): 70–77. DOI: 10.1148/radiol.12112532.
40. Knez A., Becker C.R., Becker A. Determination of coronary calcium with multi-slice spiral computed tomography: a comparative study with electron-beam CT. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2002; 18: 295–303. DOI: 10.1023/A:1015536705455.
41. Stanford W., Thompson B.H., Burns T.L., Heery S.D., Burr M.C. Coronary artery calcium quantification at multi-detector row helical CT versus electronbeam CT. *Radiology.* 2004; 230: 397–402. DOI: 10.1148/radiol.2302020901.
42. Ulzheimer S., Kalender W.A. Assessment of calcium scoring performance in cardiac computed tomography. *Eur. Radiol.* 2003; 13: 484–497. DOI: 10.1007/s00330-002-1746-y.
6. Rumberger J.A., Schwartz R.S., Simons D.B., Sheedy P.F. 3rd, Edwards W.D., Fitzpatrick L.A. Relation of coronary calcium determined by electron beam computed tomography and lumen narrowing determined by autopsy. *Am. J. Cardiol.* 1994; 73: 1169–1173.
7. Rumberger J.A., Sheedy P.F., Breen J.F., Schwartz R.S. Electron Beam Computed Tomographic Coronary Calcium Score Cutpoints and Severity of Associated Angiographic Lumen Stenosis. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1997; 29: 1542–1548. DOI: 10.1016/S0735-1097(97)00093-4.
8. Rosen B.D., Fernandes V., McClelland R.L., Carr J.J., Detrano R., Bluemke D.A., Lima J.A.C. Relationship Between Baseline Coronary Calcium Score and Demonstration of Coronary Artery Stenoses During Follow-Up MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis). *JACC: Cardiovasc. Imaging.* 2009; 2 (10): 1175–1183. DOI: 10.1016/j.jcmg.2009.06.014.
9. Ternovoy S.K., Sinitsyn V.E. Spiral computed and electron beam tomography. M.: Vidar, 1998. 141 p. (In Russian)
10. Ternovoy S.K., Sinitsyn V.E., Gagarina N.V. Noninvasive atherosclerosis and coronary calcifications diagnostics. Moscow: Atmosphere. 2003. 140 p. (In Russian)
11. Bing R. Coronary circulation and cardiac metabolism. In: Fishman A., Richards D. (eds). *Circulation of the blood: men and ideas.* Oxford, UK: Oxford University Press, 1964: 199–264.
12. Blankenhorn D.H. Coronary arterial calcification: a review. *Am. J. Med. Sci.* 1961; 42: 1–9.
13. Virchow R. *Cellular pathology: as based upon physiological and pathological histology* (translated by Frank Chance, 1971). Dover, 1863: 404–408.
14. Leary T. Atherosclerosis: special consideration of aortic lesions. *Arch. Pathol.* 1936; 21: 419–419.
15. Hamby R.I., Tabrah F., Wisoff B.G., Hartstein M.L. Coronary artery calcification: clinical implications and angiographic correlates. *Am. Heart J.* 1974; 87: 565–570.
16. Wei Liu, Yue Zhang, Cheuk-Man Yu, Qing-Wei Ji, Meng Cai, Ying-Xin Zhao, Yu-Jie Zhou Current understanding of coronary artery calcification. *J. Geriatr. Cardiol.* 2015; 12 (6): 668–675. DOI: 10.11909/j.issn.1671-5411.2015.06.012.
17. Stary H.C. The sequence of cell and matrix changes in atherosclerotic lesions of coronary arteries in the first forty years of life. *Eur. Heart J.* 1990; 11 (Suppl. E): 3–19.
18. Van der Wal A.C., Becker A.E., van der Loos C.M., Das P.K. Site of intimal rupture or erosion of thrombosed coronary atherosclerotic plaques is characterized by an inflammatory process irrespective of the dominant plaque morphology. *Circulation.* 1994; 89: 36–44. DOI: 10.1161/01.CIR.89.1.36.
19. Virmani R., Kolodgie F.D., Burke A.P., Farb A., Schwartz S.M. Lessons from sudden coronary death: A comprehensive morphological classification scheme for atherosclerotic lesions. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 2000; 20: 1262–1275.
20. Davies M.J., Richardson P.D., Woolf N., Katz D.R., Mann J. Risk of thrombosis in human atherosclerotic plaques: role of extracellular lipid, macrophage and smooth muscle cell content. *Br. Heart J.* 1993; 69: 377–381.
21. Becker C., Schätzl M., Feist H., Bäuml A., Schöpf U.J., Michalski G., Lechel U., Hengge M., Brüning R., Reiser M. Assessment of effective dose for routine protocols in conventional CT, EBCT and coronary angiography. *Rofo.* 1999; 170: 90–104. DOI: 10.1055/s-2007-1011015.

References

1. WHO library Cataloguing-in-Publication Data Prevention of cardiovascular disease: pocket guidelines for assessment and management of cardiovascular risk : (WHO/ISH cardiovascular risk prediction charts for the South-East Asia Region). Geneva, 2007. 22 pp. (In Russian)
2. Goldberg R.J., Glatfelter K., Burbank-Schmidt E., Lessard D., Gore J.M. Trends in community mortality due to coronary heart disease. *Am. Heart J.* 2006; 151 (2): 501–507. DOI: 10.1016/j.ahj.2005.04.024.
3. Demographic Yearbook of Russia 2007. Stat. Sat. M.: Rosstat, 2007. 551 p. (In Russian)
4. Annual Report of population health and on health service management as from results of activity of bodies of executive authorities in subjects of Russian Federation, as for the year 2014 [Electronic resource]. Health Ministry of the Russian Federation. Electronic data. M. Health Ministry of the Russian Federation. 2015 Access regimen <https://www.rosminzdrav.ru/ministry/programms/doklad-ostoyanii-zdorovya-naseleniya-i-organizatsii-zdravoohraneniya-po-itogam-deyatelnosti-organov-ispolnitelnoy-vlasti-sub-ektov-rossiyskoy-federatsii-za-2014-god> (as for access on the day 3.03.2017). (In Russian)
5. Dzhanchatova B.A., Kapanadze L.B., Serova N.S. Radiology in assessment of coronary arteries calcification. *REJR.* 2015; 5 (1): 58–65. (In Russian)



22. Reiser M.F., Takahashi M., Modic M., Bruening R. Multi-slice CT. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag GmbH, 2001: 121–144.
23. Agatson A.S., Janovitz W.R., Hildner F.J., Zusmer N.R., Viamonte M. Jr., Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1990; 15: 827–832.
24. Callister T.Q., Cooil B., Raya S.P., Lippolis N.J., Russo D.J., Raggi P. Coronary artery disease: improved reproducibility of calcium scoring with an electron-beam CT volumetric method. *Radiology.* 1998; 208: 807–814. DOI: 10.1148/radiology.208.3.9722864.
25. Yoon H.C., Goldin J.G., Greaser L.E., Sayre J., Fona-row G.C. Interscan variation in coronary artery calcium calcification in a large asymptomatic patient population. *Am. J. Roentgenol.* 2000; 174: 803–809. DOI: 10.2214/ajr.174.3.1740803.
26. Ulzheimer S. Cardiac imaging with X-ray Computed Tomography: new approaches to imaging acquisition and quality assurance. Shaker, Aachen, 2001. 123 p.
27. Ulzheimer S., Kalender V.A. Assessment of calcium scoring performance in cardiac computed tomography. *Eur. Radiol.* 2003; 13: 484–497. DOI: 10.1007/s00330-002-1746-y.
28. Rahsepar A.A., Arbab-Zadeh A. Cardiac CT vs. Stress Testing in Patients with Suspected Coronary Artery Disease: Review and Expert Recommendations. *Curr. Cardiovasc. Imaging Rep.* 2015; 8 (8): 29. DOI: 10.1007/s12410-015-9344-y.
29. Ternovoy S.K., Fedotenkov I.S., Gagarina N.V., Veselova T.N., Sinitsyn V.E. Coronary artery calcinosis assay: comparative informative value of multispiral computed tomography and electron-beam tomography. *Terapevticheskiy arkhiv.* 2006; 12: 15–18. (In Russian)
30. Sinitsyn V.E., Veselova T.N., Fedotenkov I.S., Ternovoy S.K., Role of multislice computed tomography in the diagnosis of coronary arterial calcification. *Kardiologicheskiy Vestnik.* 2007; 1: 45–48. (In Russian)
31. Rumberger J.A., Brundage B.H., Rader D.J., Kondos G. Electron beam computed tomographic coronary calcium scanning: a review and guidelines for use in asymptomatic persons. *Mayo Clin. Proc.* 1999; 74: 243–252. DOI: 10.4065/74.3.243.
32. Hecht H.S. For the Society of Atherosclerosis Imaging. Practice guidelines for electron-beam tomography: a report of the Society of Atherosclerosis Imaging. *Am. J. Cardiol.* 2000; 86: 705–706.
33. Budoff M.J., Mao S., Zalace C.P., Akhsheshi H.B., Oudiz R.J. Comparison of spiral and electron beam tomography in the evaluation of coronary calcification in asymptomatic persons. *Int. J. Cardiol.* 2001; 77: 181–188. DOI: 10.1016/S0167-5273(00)00449-6.
34. Becker C.R., Knez A., Jakobs T.F., Aydemir S., Becker A., Schoepf U.J., Bruening R., Haber R., Reiser M.F. Detection and quantification of coronary artery calcification with electron-beam and conventional CT. *Eur. Radiol.* 1999; 9 (4): 620–624. DOI: 10.1007/s003300050720.
35. Mao S., Budoff M.J., Bakhsheshi H., Liu S.C. Improved reproducibility of coronary artery calcium scoring by electron beam tomography with a new electrocardiographic trigger method. *Invest. Radiol.* 2001; 36 (7): 363–367.
36. Ajlan M., Ahmed A., Alskaini A.M., Abukhaled N.F., Alsaileek A., Ajlan A., Sulaiman I.F., Al-Mallah M.H. The reproducibility of coronary artery calcium scoring on different software platforms. *J. Saudi Heart Assoc.* 2013; 25 (2): 151–152. DOI: 10.1016/j.jjjcard.2015.03.133.
37. Achenbach S., Ropers D., Möhlenkamp S., Schmermund A., Muschiol G., Groth J., Kusus M., Regenfus M., Daniel W.G., Erbel R., Moshage W. Variability of repeated coronary artery calcium measurements by electron beam tomography. *Am. J. Cardiol.* 2001; 87 (2): 210–213, A8.
38. Budoff M.J., McClelland R.L., Chung H., Wong N.D., Carr J.J., McNitt-Gray M., Blumenthal R.S., Detrano R.C. Reproducibility of Coronary Artery Calcified Plaque with Cardiac 64-MDCT: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Am. J. Roentgenol.* 2009; 192: 613–617. DOI: 10.2214/AJR.08.1242.
39. Weininger M., Ritz K.S., Schoepf U.J., Flohr T.G., Vliegenthart R., Costello P., Hahn D., Beissert M. Interplatform Reproducibility of CT Coronary Calcium Scoring Software. *Radiology.* 2012; 265 (1): 70–77. DOI: 10.1148/radiol.12112532.
40. Knez A., Becker C.R., Becker A. Determination of coronary calcium with multi-slice spiral computed tomography: a comparative study with electron-beam CT. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2002; 18: 295–303. DOI: 10.1023/A:1015536705455.
41. Stanford W., Thompson B.H., Burns T.L., Heery S.D., Burr M.C. Coronary artery calcium quantification at multi-detector row helical CT versus electron beam CT. *Radiology.* 2004; 230: 397–402. DOI: 10.1148/radiol.2302020901.
42. Ulzheimer S., Kalender W.A. Assessment of calcium scoring performance in cardiac computed tomography. *Eur. Radiol.* 2003; 13: 484–497. DOI: 10.1007/s00330-002-1746-y.

Поступила в редакцию 1.06.2017.
Принята к печати 21.06.2017.

Received on 1.06.2017.
Accepted for publication on 21.06.2017.