

# Низкодозовая МСКТ коронарных артерий с проспективной кардиосинхронизацией

Н.С. Сильченко, И.Ю. Насникова, С.П. Морозов

ФГУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» УД Президента РФ

Прогресс многосрезовой компьютерной томографии (МСКТ), а именно появление 64-срезовых компьютерных томографов сделали МСКТ-коронарографию высокоточной методикой. Доказанная высокая диагностическая эффективность МСКТ-коронарографии на 64-срезовых МСКТ в выявлении атеросклеротического поражения коронарных артерий обеспечила успешное внедрение методики в клиническую практику. В настоящее время одним из актуальных вопросов является возможность снижения дозы лучевой нагрузки на пациента во время исследования. Данная статья описывает современное состояние проблемы и фокусируется на путях ее решения.

**Ключевые слова:** МСКТ-коронарография, проспективная синхронизация с ЭКГ, MDCT coronary.

Progress multidetector computed tomography (MDCT), namely the emergence of 64-slice CT have MDCT coronary, highly accurate technique. The demonstrated high diagnostic performance of MDCT coronary, a 64-slice CT in detecting atherosclerotic coronary artery ensured the successful introduction of methods in clinical practice. Currently, one of the most pressing issues is - the possibility of reducing the dose of radiation load on patients during the study. This article describes the current state of the problem and focuses on ways to address it.

**Keywords:** prospective ECG-gating.

## Введение

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ)— самая частая причина смертности мужчин и женщин в Европе. Они обуславливают почти половину всей смертности на континенте, что составляет 4,35 млн. смертельных исходов ежегодно в 53 странах — членах ВОЗ Европейского региона и более 1,9 млн. смертей ежегодно в Европейском Союзе. ССЗ также являются основной причиной нетрудоспособности и ухудшения качества жизни. [1, 2] В России по официальным данным Госкомстата и МЗ РФ уровень смертности от болезней системы кровообращения (БСК) в 2–3 раза превышает уровень смертности от БСК в экономически развитых странах. [3,4]

Ишемическая болезнь сердца и ее осложнения являются причиной не менее, чем половины смертности, связанной с ССЗ. ИБС может дебютировать остро: инфарктом миокарда (ИМ) или даже внезапной смертью (ВС), но нередко она развивается постепенно, переходя в хроническую стадию. В таких случаях одним из основных ее проявлений является стенокардия напряжения. По данным Фремингемского исследования, стенокардия напряжения служит первым симптомом ИБС у мужчин в 40,7% случаев, у женщин — в 56,5%. Важно помнить, что в популяции только 40–50% всех больных стенокардией знают о наличии у них болезни и получают соответствующее лечение, тогда как в 50–60% случаев заболевание остается не распознанным [5].

Патогенетическим субстратом ИБС практически всегда является атеросклеротическое сужение коронарных артерий. Раннее выявление атеросклеротических бляшек в коронарных артериях и оценка степени их стеноза являются главной задачей в диагностике ИБС. Традиционная коронарография в настоящее время остается «золотым стандартом» диагностики состояния коронарного русла. Но методика имеет ряд недостатков, к которым относят риск развития осложнений связанных с инвазивным внутриартериальным доступом, с аллергическими реакциями на йодсодержащее контрастное вещество, с высокой дозой облучения. К недостаткам КАГ можно также отнести отсутствие информации о морфологии атеросклеротической бляшки.

Количество КАГ постоянно увеличивается, ежегодно в Соединенных Штатах проводится более 1 млн. КАГ [6]. Приблизительно 40% из них проводится только с диагностической целью [7]. По результатам недавних работ Dr. Rosamond T., основанных на анализе данных исследований 133 пациентов, в 35% случаев результаты КАГ соответствовали норме [8].

Поэтому интерес врачей и общественности к новым методам (неинвазивной) диагностики (скрининга) заболеваний коронарных артерий очень высок.

## Основные этапы развития МСКТ коронарных артерий

Разработка мультиспиральных компьютерных томографов совершила переворот в рентгенодиагностике. В 1992 году появились первые двухсрезовые (двухспиральные) МСКТ томографы с двумя рядами детекторов. Принципиальное отличие МСКТ томографов в том, что по окружности гентри расположен не один, а два и более ряда детекторов. Одновременно была разработана новая — объёмная геометрическая форма рентгеновского пучка. К концу 1998 года все основные производители начали выпускать четырехсрезовые (четырёхспиральные) компьютерные томографы.

Одним из основных преимуществ новой технологии являлось увеличение скорости вращения трубки (до 0,5сек), которая позволяла за меньшее время сканировать большие объемы тканей, что особенно важно при исследованиях с задержкой дыхания. За счет уменьшения времени сканирования снижалось количество артефактов от произвольного движения внутренних органов и пульсации крупных сосудов, что приводило к улучшению временного разрешения.

Благодаря нескольким рядам детекторов толщина срезов уменьшалась и улучшалось пространственное разрешение. Появлялась возможность получения изотропного изображения при сканировании с субмиллиметровой толщиной среза (0,5 мм), воксел принял форму куба. Более высокое пространственное разрешение позволяло анализировать изображения с использованием специально разработанных алгоритмов реконструкций. Все вышеотмеченные нововведения открыли новые воз-

Таблица 1

**Диагностическая эффективность МСКТ-коронарографии в выявлении стенозов более 50% по сравнению с КАГ**

| Авторы                  | Чувствительность, % | Специфичность, % |
|-------------------------|---------------------|------------------|
| 4-спиральные МСКТ       |                     |                  |
| Knez A., 2001 [12]      | 78                  | 98               |
| Nieman K., 2001 [13]    | 83                  | 90               |
| Achenbach S., 2001[11]  | 85                  | 76               |
| 16-спиральные МСКТ      |                     |                  |
| Achenbach S., 2005 [16] | 94                  | 98               |
| Kuettner A., 2005 [17]  | 82                  | 98               |
| Schuijf J.D., 2005 [18] | 98                  | 97               |
| 64-спиральные МСКТ      |                     |                  |
| Fine J.J., 2006 [20]    | 95                  | 96               |
| Mollet N.R., 2005 [21]  | 100                 | 92               |
| Leschka S., 2005 [19]   | 94                  | 97               |

возможности для МСКТ-ангиографии, и в частности для визуализации коронарных артерий и сердца [9].

В одной из первых работ, выполненной на 4-спиральном компьютерном томографе, Achenbach S. и соавторы доказали, что МСКТ может быть использована для оценки состояния коронарных артерий [10]. В своем исследовании они сравнивали результаты МСКТ-коронарографии с результатами выполненной ранее стандартной коронарографии по следующим параметрам: длина каждой коронарной артерии, отношение контраст/шум, соотношение диаметра коронарных артерий. Средний диаметр коронарных артерий при МСКТ-коронарографии составлял  $3,3 \pm 1,0$  мм, при КАГ –  $3,2 \pm 0,9$  мм. Существенного различия между диаметрами коронарных артерий по данным МСКТ и КАГ не отмечалось. Длина коронарных артерий подлежащих оценке по данным МСКТ, составила: ствола ЛКА  $9 \pm 4$  мм; передней нисходящей артерии  $112 \pm 34$  мм; огибающей артерии  $80 \pm 29$  мм; правой коронарной артерии  $116 \pm 33$  мм.

Несмотря на уменьшение временного разрешения в 4-спиральных компьютерных томографах доля доступных для оценки сегментов составила 78%. Наиболее чаще артефакты отмечались в средних сегментах правой коронарной артерии, в дистальных сегментах передней нисходящей артерии (ПНА) и огибающей артерии (ОА) и значительно затрудняли интерпретацию полученных данных. Наименьшее количество артефактов было отмечено при оценке ствола левой коронарной артерии (ЛКА). Длительное время задержки дыхания (до 40 секунд) приводило к появлению в конце исследования артефактов, связанных с дыхательными движениями.

В последующих работах определялись значения чувствительности и специфичности МСКТ – коронарографии в выявлении стенозов коронарных артерий по сравнению с КАГ (табл. 1). Результаты исследований показали достаточно высокую чувствительность в определении стеноза коронарной артерии 85% – 89,5% [11, 12, 12].

Тем не менее артефакты, связанные с быстрым движением коронарных артерий, поддерживали высокий процент недоступных для оценки сегментов коронарных артерий (14,25% до 32%) [11, 12, 13].

Непосредственное сравнение МСКТ-коронарографии на 4- и 16-срезовых томографах с КАГ показали, что чувствительность, специфичность и отрицательное прогностическое значение МСКТ достигают 63–95%, 86–97%, 96–97%, соответственно [14, 18]. Высокие цифры чувствительности, специфичности в этих работах подтверждают, что технология 16 – спиральной МСКТ обеспечивает дальнейшее повышение качества изображения и точность диагностики поражений коронарных артерий при сравнении с 4 – спиральными МСКТ. Одновременно с увеличением чувствительности и специфичности, при использовании 16-спиральных МСКТ снизилась доля недоступных для оценки сегментов коронарных артерий до 17% [14].

Проведенное Dewey и соавт. в 2006 году прямое сравнение теста на толерантность к физической нагрузке и 16-срезовой МСКТ-коронарографии на 80 пациентах показало значительное преимущество последней методики в выявлении ишемической болезни сердца: чувствительность составила 73% против 91%, специфичность 31% против 83% ( $p=0,039$ ) (КАГ использовалась в качестве референтного метода) [15]. Таким образом, даже 16-срезовая МСКТ имеет более высокую диагностическую ценность, чем нагрузочные пробы для выявления поражения коронарных артерий.

Авторы последующих исследований отметили повышение чувствительности до 82% – 98%, специфичности до 96% – 98% в выявлении стенозов коронарных артерий по сравнению с результатами, выполненными на 4-спиральных МСКТ [16, 17, 18] (табл. 1).

Современное поколение компьютерных томографов с большим количеством рядов детекторов производит до 64–320 одномоментных изображений последовательных полумиллиметровых срезов, которые охватывают около 4–16 см за один оборот рентгеновской трубки (около 330–420 м/сек) [19]. Продолжительность сканирования на 1 задержке дыхания снизилась до 5–7 секунд, что позволяет проводить исследование практически у любых пациентов. Уменьшение временного разрешения метода до 165–210 м/сек приводит к уменьшению артефактов от движений, связанных с аритмиями.

При сопоставлении возможностей 64-срезовой МСКТ-коронарографии и КАГ в выявлении более чем 50%-стенозов коронарных артерий значения чувствительности, специфичности, положительного и отрицательного прогностического значения составили: 94–100%, 95–97%, 87–97%, 99–100%, соответственно [19, 20]. Высокие показатели диагностической эффективности МСКТ – коронарографии в выявлении стенозов > 50% коронарных артерий по сравнению с КАГ, получили отражение в работах [19, 20, 21] (табл. 1).

Именно с появлением 64-срезовых компьютерных томографов МСКТ-коронарография перешла из области научных исследований в клиническую практику [19].

По данным маркетинговых исследований, в США в 2004 году только 2% клиник приобрели оборудование для коронарной МСКТ, в начале 2005 году – 13%, а в конце 2005 года – уже 77% клиник [22].

**Методика проведения МСКТ коронарных артерий (подготовка пациента, оптимизация ЧСС)**

Успех МСКТ-коронарографии во многом зависит от получения качественных исходных изображений, свободных от артефактов. Поэтому контроль качества дол-

жен осуществляться на всех этапах исследования, включая отбор пациентов, подготовку пациентов, параметры томографии и введения контрастного препарата, обработку томограмм, оценку результатов [20]. Подготовка пациента к исследованию отводится важная роль.

Главное условие выполнения МСКТ-коронарографии — это отсутствие аритмии и низкая частота сердечных сокращений (ЧСС) — не более 65–70 ударов в минуту. Высокая частота сердечных сокращений приводит к более короткому интервалу R–R из-за более короткой конечно-диастолической части сердечного цикла. Именно эта часть сердечного цикла имеет решающее значение для получения хорошего качества изображений.

Необходимость использования премедикации с  $\beta$ -блокаторами была отмечена в ряде работ, рекомендуемая ЧСС составляла 56 – 58– 62 уд / мин [14, 16, 18, 19, 21].

Kuettner A. и соавтор. (2004) исследовали 60 пациентов на 16-спиральном МСКТ [14]. Перед исследованием использовали премедикацию  $\beta$ -блокаторами (от 50 до 100 мг метопролола) за 45 минут до исследования. Средняя ЧСС составила  $63,5 \pm 10,3$  уд / мин. В анализ были включены все артерии. При этом показатели чувствительности, специфичности, положительного и отрицательного прогностического значения составили соответственно 72%, 97%, 80% и 99,8%.

#### Синхронизация ЭКГ (проспективная, ретроспективная)

МСКТ-коронарография обычно выполняется с использованием ретроспективной ЭКГ синхронизации. К преимуществам этой техники относится способность получения объема данных во время всего сердечного цикла и возможности последующей реконструкции изображений в разные фазы сердечного цикла. Ретроспективная синхронизация может проводиться двумя способами: используя интервал R–R или указывая абсолютное время перед следующим зубцом R.

Наиболее широкое распространение получил первый способ ретроспективной синхронизации с ЭКГ, когда при реконструкции изображений коронарных артерий задается определенная задержка триггера (чаще всего 70–75% фаза) [14, 17, 18]. При неудовлетворительном изображении коронарных артерий (чаще всего, среднего сегмента правой коронарной артерии) требуются поиск оптимального интервала реконструкций в другие фазы сердечного цикла (от 10% до 90%).

В исследовании Giesler T. и соавтор. лучшие «окна» реконструкций у пациентов с ЧСС 70 уд / мин или менее были в середине-конце диастолы, а у пациентов с ЧСС более 70 уд / мин — в конце систолы и начале диастолы [23].

При ретроспективной синхронизации для реконструкций используется только малая часть исходных данных. В результате значительно увеличивается экспозиция пациента для получения изображений хорошего качества, увеличивается лучевая нагрузка. Расчет дозы осуществляется, используя методические рекомендации определение эффективной дозы облучения пациентов при проведении компьютерной томографии следующим образом:

$$E_i = eDLP \times DLP,$$

где  $eDLP$  — значение дозового коэффициента (мЗв  $\times$  мГр  $\times$  см), нормированное для анатомической секции, на значение  $DLP$  в стандартном дозиметрическом фантоме [24].

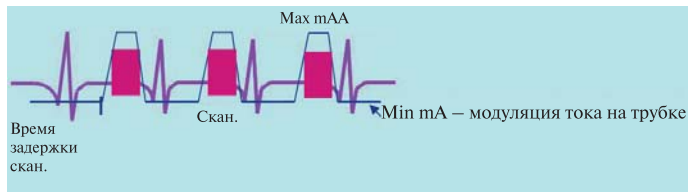


Рис. 1. Схема сканирования (при проспективной синхронизации с ЭКГ).

При проведении МСКТ-коронарографии на 64 – спиральном компьютерном томографе Light Speed VCT XT (General Electric, США), с включением в протокол исследования подсчета коронарного кальция, эффективная доза составляет  $E_i = 1899,91 \times 0,0081 = 15$  мЗв., где 0,0081 – дозовый коэффициент, 1899,91 – DLP.

В последнее время производители разрабатывают различные методы снижения дозы излучения. Перспективным направлением является интеграция проспективной синхронизации с ЭКГ в компьютерную томографию. Так как основным достоинством проспективной синхронизации является возможность снижения дозы лучевой нагрузки на пациента во время исследования.

Основным отличием от ретроспективной синхронизации является осуществление сканирования в определенную фазу сердечного цикла (рис.1). Сканирование обычно совпадает с концом диастолы, когда коронарные артерии в наименьшей степени смещаются. Во время систолы сканирование не производится, за счет чего уменьшается доза.

Различные фирмы производителей томографов начали предлагать протоколы для проведения исследования с проспективной синхронизацией с ЭКГ на 64– 320 –спиральных, двухэнергетических томографах.

При использовании проспективной синхронизации с ЭКГ во время МСКТ-коронарографии, выполняемой на 64 –спиральном компьютерном томографе Light Speed VCT XT (General Electric, США), с включением в протокол исследования подсчета коронарного кальция, доза лучевой нагрузки на пациента уменьшается в 3 раза. Эффективная доза составляет:  $E_i = 615,47 \times 0,0081 = 5$  мЗв, где 0,0081 – дозовый коэффициент, 615,47 – DLP.

К недостаткам проспективной синхронизации можно отнести отсутствие возможности получения реконструкций изображений в другие фазы сердечного цикла при их неудовлетворительном качестве.

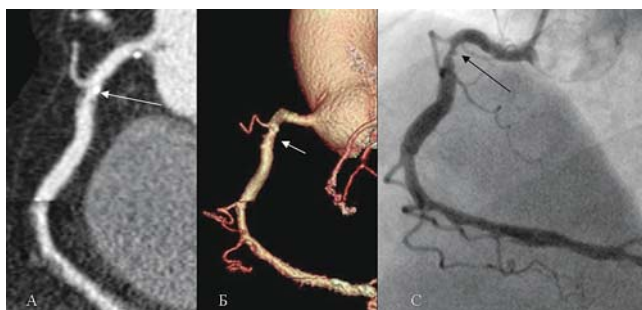
В наших собственных исследованиях было обследовано 90 пациентов, им были выполнены МСКТ-коронарография и КАГ. Оценивались проксимальные и средние сегменты четырех коронарных артерий: ствол левой коронарной артерии, передняя нисходящая артерия (проксимальный и средний сегменты), огибающая артерия (проксимальный и средний сегменты), правая коронарная артерия (проксимальный и средний сегменты). Был выполнен анализ 7 сегментов у каждого пациента. Согласно номенклатуре американского колледжа кардиологии/Американской ассоциации сердца у каждого пациента были проанализированы: 11, 18,19, 12,13, 1 и 2 сегменты. Состояние каждого из 7 анализируемых сегментов было расценено по степени выраженности стеноза: нет стеноза – 0, стеноз от 10 до 30% – 1, стеноз от 30 до 50% – 2, стеноз от 50 до 70% – 3, стеноз более 70% – 4, окклюзия – 5. Степень стеноза расчи-



Таблица 2

Диагностическое значение МСКТ-коронарографии в выявлении значимых стенозов (>50%) по сравнению с КАГ

| (n=90)                                 | %  |
|--|----|
| Чувствительность                       | 97 |
| Специфичность                          | 93 |
| Точность                               | 96 |
| Положительное прогностическое значение | 95 |
| Отрицательное прогностическое значение | 93 |



**Рис. 2.** Пациент 57 лет, поступил с жалобами появления боли за грудиной при физической нагрузке. При выполнении МСКТ-коронарографии с построением криволинейной мультипланарной (А), объемной реконструкций (Б), в проксимальном сегменте правой коронарной артерии определяется субтотальный стеноз за счет мягкой циркулярной бляшки (стрелки). При проведении коронарографии (С) пациенту была выполнена БАП и имплантация коронарного стента в стенозированный участок правой коронарной артерии.

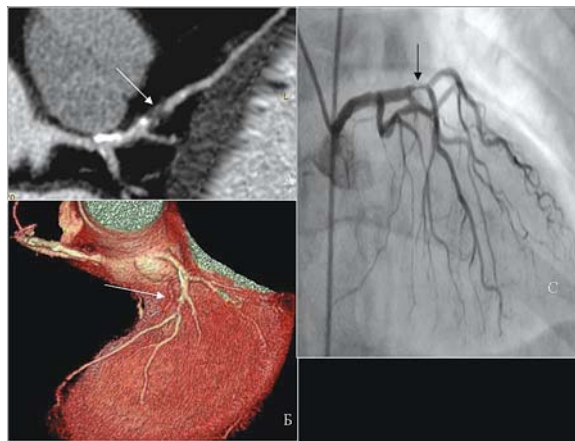
тывалась в ручную с использованием формулы СС (совмещения методик NASCET и ACST) или автоматически с помощью специального программного обеспечения. В дальнейшем стенозы менее 50% были классифицированы как незначимые стенозы и стенозы более 50% — как значимые стенозы. Данные КАГ использовались как «золотой стандарт».

Из 90 человек у 15 человек МСКТ-коронарография была выполнена с использованием проспективной синхронизации с ЭКГ. Условия выполнения исследования с проспективной синхронизацией: низкая ЧСС 58–60–62 уд/мин, правильный ритм. Качество полученных изображений было высоким, все пациенты были включены в статистический анализ.

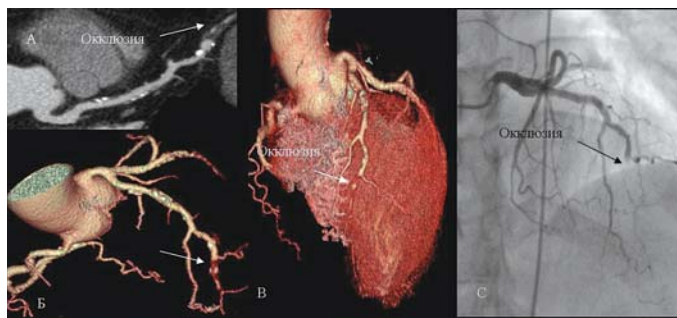
В выявлении наличия значимых стенозов коронарных артерий (более 50%) чувствительность МСКТ-коронарографии составила 97% (95% ДИ от 94 до 1,02), специфичность 93% (95% ДИ от 86 до 1,00), положительное прогностическое значение (ППЗ) 95%, отрицательное прогностическое значение 93%, точность 96%,  $p < 0,001$  (табл. 2).

Среди обследованных пациентов была выделена группа пациентов с впервые возникшим приступом стенокардии, в которую вошло 27 человек. Диагностическая эффективность МСКТ-коронарографии в выявлении значимых стенозов (более 50%) в данной группе составила: чувствительность 100%, специфичность 89%, точность 96%, ППЗ 93%, ОПЗ 100%. Демонстрация клинических случаев данной группы представлена на рисунках 2 и 3. На рис. 4 пациент с ИБС в анамнезе.

Высокое значение чувствительности, узкий доверительный интервал говорят о том, что методика может ис-



**Рис. 3.** Пациент 67 лет. Поступил с жалобами на подъемы артериального давления, появление давящих болей в левой половине грудной клетки с распространением за грудицу при физической нагрузке и в покое. При МСКТ (А, Б) — в среднем сегменте ПНА — субтотальный стеноз за счет мягкой циркулярной бляшки (стрелки). При проведении коронарографии (С) пациенту была выполнена БАП и имплантация коронарного стента CYPHER в стенозированный участок ПНА (стрелка).



**Рис. 4.** Пациент 68 лет, с ИБС, стенокардией напряжения ФК-2, ГБ 2 ст. При выполнении МСКТ-коронарографии с построением криволинейной мультипланарной (А), объемной (Б, В), реконструкций отмечается окклюзия дистальных отделов передней нисходящей артерии, с наличием в ее просвете мягких тромботических масс (стрелки). При проведении коронарографии (С) полученные данные подтвердились, дистальные отделы ПНА не контрастировались (стрелка).

пользоваться в качестве скрининга на первом этапе диагностики. Благодаря высокому отрицательному прогностическому значению отрицательный результат МСКТ-коронарографии позволяет исключить наличие значимых изменений коронарных артерий.

### Заключение

Роль МСКТ-коронарографии в диагностике поражения коронарных артерий все больше возрастает. Многие медицинские центры и больницы приобретают современные мультиспиральные компьютерные томографы с возможностью выполнять МСКТ-коронарографию. МСКТ-коронарография уже зарекомендовала себя как высокоинформативный, легко выполнимый, неинвазивный метод оценки состояния коронарных артерий, с возможностью построения 3-хмерных реконструкций, виртуальных проекций, который при наличии атеросклеротических бляшек помогает определить тактику лечения, а именно нуждается ли пациент в хирургических или эндоваскулярных методах лечения ИБС. Но существенная доза лучевой нагрузки на пациента во время исследования стала камнем преткновения. Ключом к

решению данной проблемы может стать использование проспективной синхронизации с ЭКГ. Эта методика чрезвычайно перспективна, позволяет снизить дозу лучевой нагрузки в три раза.

Залогом дальнейшего успешного развития МСКТ-коронарографии является усовершенствование протоколов исследования с использованием проспективной синхронизации с ЭКГ, поиск других путей снижения дозы лучевой нагрузки, без потери высокого качества получаемых изображений.

### Литература

1. *Employment, Social Policy, Health and Consumer Affairs Council Meeting – Luxembourg – 1 and 2 June 2006* {Online} <http://www.heartcharter.eu/read-charter/default.aspx>
2. *World Health Report 2003: shaping the future*. World Health Organization. {Online} URL://<http://www.who.int/whr/2003/en>.
3. Социальное положение и уровень жизни населения России. 2007. Стат.сб. / Росстат. – М., 2007. – 505 с.
4. *Смертность населения Российской Федерации. 2002год (Статистические материалы)*. Официальное издание. М. Минздрав РФ, 2003. – С 187.
5. *Диагностика и лечение стабильной стенокардии. Российские рекомендации (второй пересмотр)*. Комитет экспертов ВНОК. Кардиоваск. тер. и проф. (Прилож. 4) – 2008. – № 6. – Стр. 7–9.
6. Knez A., Becker C.R., Leber A., et al. // *Usefulness of multislice spiral computed tomography angiography for determination of coronary artery stenoses* // *Am J Cardiol.* – 2001. – Vol. 88. – P. 1191–1194.
7. Hoffmann M.H., Shi H., Schmid F.T., Gelman H., Brambs H.J., Aschoff A.J. // *Noninvasive coronary imaging with MDCT in comparison to invasive conventional coronary angiography: a fast-developing technology* // *AJR.* – 2004. – Vol. 182. – P. 601–608.
8. Brice James // *Coronary MSCT cuts rate of negative cardiac cath* // *DiagnosticImaging.com.* – 1.01.2007. {Online} <http://www.diagnosticimaging.com/display/article/113619/1183517>.
9. Lawler L.P., Fishman E.K. // *Multi-detector row CT of thoracic disease with emphasis on 3D volume rendering and CT angiography* // *RadioGraphics.* – 2001. – Vol. 21. – P. 1257–1273.
10. Achenbach S., Ulzheimer S., Baum U., Kachelrie M., Ropers D., Giesler T., Bautz W., Daniel W.G., Kalender W.A., Moshage W. // *Noninvasive Coronary Angiography by Retrospectively ECG-Gated Multislice Spiral CT* // *Circulation.* – 2000. – Vol. 102. – P. 2823–2828.
11. 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. – Vol. 103. – P. 2535–2538.
12. Knez A., Becker C.R., Leber A., et al. // *Usefulness of multislice spiral computed tomography angiography for determination of coronary artery stenoses* // *Am J Cardiol.* – 2001. – Vol. 88. – P. 1191–1194.
13. Nieman K., Oudkerk M., Rensing B.J., van Ooijen P., Munne A., van Geuns R.J., de Feyter P.J. et al. // *Coronary angiography with multi-slice computed tomography* // *The Lancet.* – 2001. – Vol. 357. – P. 599–603.
14. Kuettnner A., Trabold T., Schroeder S., Feyer A., Beck T., Brueckner A., et al. // *Noninvasive detection of coronary lesions using 16-detector multislice spiral computed tomography technology: initial clinical results* // *J Am Coll Cardiol.* – 2004. – Vol. 44. – P. 1230–1237.
15. Dewey M., Dbel H.P., Schink T., Baumann G., Hamm B. // *Head-to head comparison of multislice computed tomography angiography and exercise electrocardiography for diagnosis of coronary artery disease* // *Eur. Heart J.* – 2007. – Vol. 28 (20). – P. 2485–2490.
16. Achenbach S., Ropers D., Pohle F.K., Raaz D., von Erffa J., Yilmaz A., Muschiol G., Daniel W.G. // *Detection of coronary artery stenoses using multi-detector CT with 16x0.75 collimation and 375 ms rotation* // *Eur Heart J.* – 2005. – Vol. 26. – P. 1978–1986.
17. Kuettnner A., Beck T., Drosch T. et al. // *Diagnostic accuracy of noninvasive coronary imaging using 16-detector slice spiral computed tomography with 188 m.s temporal resolution* // *J Am Coll Cardiol.* – 2005. – Vol. 45. – P. 123–127.
18. Schuijff J.D., Bax J.J., Salm L.P., Jukema J.W., Lamb H.J., van der Wall E.E., de Roos A. // *Noninvasive coronary imaging and assessment of left ventricular function using 16-slice computed tomography* // *Am J Cardiol.* – 2005. – Vol. 95. – P. 571–574.
19. Leschka S., Alkadhi H., Plass A. et al. // *Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience* // *Eur Heart J.* – 2005. – Vol. 26. – P. 1482–1487.
20. Fine J.J., Hopkins C.B., Ruff N. et al. // *Comparison of accuracy of 64-slice cardiovascular computed tomography with coronary angiography in patients with suspected coronary artery disease* // *Am J Cardiol.* – 2006. – Vol. 97. – P. 173–174.
21. Mollet N.R., Cademartiri F., van Mieghem C.A., Runza G., McFadden E.P., Baks T., Serruys P.W., Krestin G.P., de Feyter P.J. // *High-resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic conventional coronary angiography* // *Circulation.* – 2005. – Vol. 112 (5). – P. 2318–2323.
22. Wann Samuel, MD, MACC // *Cardiac CT for risk stratification* // *Supplement to Applied Radiology.* – 2006. – Vol. 12. – P. 41–44.
23. Giesler T., Baum U., Ropers D., Ulzheimer S., Wenkel E., Mennicke M., Bautz W., Kalender W.A., Daniel W.G., Achenbach S. // *Noninvasive visualization of coronary arteries using contrast-enhanced multidetector CT: influence of heart rate on image quality and stenosis detection* // *AJR Am J Roentgenol.* – 2002. – Vol. 179 (4). – P. 911–916.
24. *Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинский рентгенологических исследованиях. Методические указания. МУК 2.6.1.1797-03. (Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 16.12.2003.)*