



DOI: 10.24835/1607-0763-2017-4-10-18

Оценка диагностической значимости статической перфузии в ангиографическую фазу (КТА) и отсроченного контрастирования миокарда (ДЕСТ) при двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ) в визуализации рубцовых изменений миокарда. Сравнение с отсроченным контрастированием при МРТ

Першина Е.С.^{1*}, Синицын В.Е.¹, Мершина Е.А.¹, Комарова М.А.¹, Чабан А.С.²

¹ ФГАУ "Лечебно-реабилитационный центр" Минздрава России, Москва, Россия

² ФГАОУ ВО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Static Myocardial Dual-Energy (DE) Perfusion and Delayed Enhancement in Detection of Chronic Myocardial Scar Tissue. Comparison with Late Gadolinium Enhancement MRI

Pershina E.S.^{1*}, Sinitsin V.E.¹, Merzhina E.A.¹, Komarova M.A.¹, Chaban A.S.²

¹ Federal State autonomous institution "Center of Treatment and Rehabilitation", Moscow, Russia

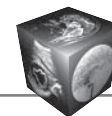
² M.V. Lomonosov Moscow State university, Moscow, Russia

Цель исследования: оценить диагностическую значимость статической перфузии при КТА и ДЕКТ при ДЭКТ в оценке рубцовых изменений миокарда в сравнении с отсроченным контрастированием при МРТ.

Материал и методы. В проспективное исследование было включено 29 пациентов (м/ж – 16/13, средний возраст $57,6 \pm 2,1$ годы) с хроническими инфарктами миокарда в анамнезе. Протокол КТ состоял из ангиографической (20 с) фазы и отсроченных последовательностей на 8-й минуте после введения контрастного препарата. Все исследования проводились на одноконтрастном двухэнергетическом 64-рядном компьютерном томографе (Discovery 850, GE, США) в двухэнергетическом режиме (GSI). КТ-изображения были визуально проанализированы на наличие дефектов перфузии и отсроченного контрастирования миокарда двумя независимыми исследователями в сравнении с МРТ.

Чувствительность, специфичность, диагностическая точность, нормализованное соотношение концентрации йода в нормальном и рубцово-измененном миокарде были рассчитаны для обоих методов.

Результаты. Чувствительность, специфичность, диагностическая точность при сравнении с отсроченными последовательностями МРТ в определении рубцово-измененных сегментов для ДЭКТ в артериальную фазу составила 95, 90, 95%, для ДЭКТ в отсроченную фазу 96, 88, 99% соответственно. Значимой разницы между показателями чувствительности, специфичности, диагностической точности ДЭКТ в артериальную и отсроченную фазы выявлено не было ($p = 0,32$). Однако качество изображений и соотношение нормализованной концентрации йода в нормальном и рубцово-измененном миокарде были значимо выше для отсроченной фазы ($p < 0,0001$).



Выводы. ДЭКТ в артериальную и отсроченную фазы контрастирования имеет высокую диагностическую точность в сравнении с отсроченным контрастированием при МРТ. Диагностическая значимость ДЭКТ при отсроченном контрастировании была несколько выше, чем при ДЭКТ в артериальную фазу.

Ключевые слова: двухэнергетическая КТ (ДЭКТ), рубцы миокарда, статическая ДЭКТ-перфузия, отсроченное контрастирование.

Ссылка для цитирования: Першина Е.С., Синицын В.Е., Мершина Е.А., Комарова М.А., Чабан А.С. Оценка диагностической значимости статической перфузии в ангиографическую фазу (КТА) и отсроченного контрастирования миокарда (ДЕКТ) при двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ) в визуализации рубцовых изменений миокарда. Сравнение с отсроченным контрастированием при МРТ. *Медицинская визуализация*. 2017; 21 (4): 10–18. DOI: 10.24835/1607-0763-2017-4-10-18.

Purpose. To compare the performance of static myocardial DECT perfusion imaging (CTA) with DECT delayed enhancement for detection of ischemic myocardial scars using LGE MRI as a diagnostic standard.

Materials and Methods. 29 patients (m/f – 16/13 mean age 57.6 ± 2.1) with chronic myocardial infarction were prospectively enrolled in the study. The CCTA protocol consisted of prospectively gated static myocardial DECT perfusion imaging (angiographic phase) and DECT delayed enhancement with 8 min delay after contrast media injection. Study was performed with 64-row single-source dual energy CT with fast kilovoltage switching. DECT images were visually assessed for first-pass arterial enhancement deficit and delayed enhancement using iodine distribution maps by 2 observers in comparison with LGE MRI. Sensitivity and specificity, the normalized iodine concentration ratio of normal myocardium and scar tissue were calculated both for both methods.

Results. For scar detection static myocardial DECT perfusion had accuracy, sensitivity and specificity 95%, 90%, 95%, resp. vs. delayed DECT – 96%, 88%, 99%, resp. There was no significant difference between accuracy, sensitivity and specificity for DECT perfusion and delayed DECT ($p = 0.32$). However diagnostic confidence and normalized iodine concentration ratio of normal myocardium and scar

for static myocardial DECT perfusion were significantly lower than for delayed DECT ($p < 0.0001$).

Conclusion. DECT CTA and DECT delayed enhancement have a good accuracy for detection of post-infarction scars in comparison with LGE MRI. The overall diagnostic performance of DECT delayed enhancement was better than of static myocardial DECT perfusion imaging. Thus, delayed sequences should not be omitted from CTA standard protocol if the aim is myocardial scar detection.

Key words: Dual-Energy CT, myocardial scar, DECT-perfusion, DECT delayed enhancement.

Recommended citation: Pershina E.S., Sinitsyn V.E., Mershina E.A., Komarova M.A., Chaban A.S. Static myocardial dual-energy (DE) perfusion and delayed enhancement in detection of chronic myocardial scar tissue. Comparison with late gadolinium enhancement MRI. *Medical visualization*. 2017; 21 (4): 10–18. DOI: 10.24835/1607-0763-2017-4-10-18.

Введение

В настоящее время “золотым стандартом” в визуализации рубцов миокарда является магнитно-резонансная томография (МРТ) с отсроченным контрастированием [1, 2]. Для определения отсроченного контрастирования как признака рубцового изменения миокарда компьютерная томография (КТ) имеет достаточно низкое отношение сигнал-шум в сравнении с МРТ, учитывая отсутствие возможности обнуления миокарда при КТ. Однако с развитием двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ) визуализация рубцово-измененного миокарда при КТ стала эффективнее.

По данным литературы, ДЭКТ имеет сравнительное преимущество перед моноэнергетической КТ, так как ДЭКТ позволяет визуализировать участки накопления более очевидно, особенно при реконструкции йодных карт [3]. С появлением ДЭКТ стал возможным анализ дифференцировки тканей, основанный на поглощении излучения тканями на разных энергетических уровнях [4–6]. В настоящее время существуют ДЭКТ с двумя

Для корреспонденции*: Першина Екатерина Сергеевна – 125367 Москва, Ивановское шоссе, 3. ФГАУ “Лечебно-реабилитационный центр Минздрава России”. Тел.: +7-926-173-12-34. E-mail: pershina86@mail.ru

Першина Екатерина Сергеевна – аспирант, врач-рентгенолог ФГАУ “Лечебно-реабилитационный центр МЗ РФ”, Москва; **Синицын Валентин Евгеньевич** – доктор мед. наук, профессор, руководитель центра лучевой диагностики ФГАУ “Лечебно-реабилитационный центр МЗ РФ”, Москва; **Мершина Елена Александровна** – канд. мед. наук, заведующая отделением центра лучевой диагностики ФГАУ “Лечебно-реабилитационный центр МЗ РФ”, Москва; **Комарова Мария Александровна** – канд. мед. наук, врач-рентгенолог центра лучевой диагностики ФГАУ “Лечебно-реабилитационный центр МЗ РФ”, Москва; **Чабан Артем Сергеевич** – аспирант МГУ им. М.В. Ломоносова.

Contact*: Ekaterina S. Pershina – Moscow, 125367, Ivankovskoe chausse 3, Russia. Federal State autonomous institution “Center of Treatment and Rehabilitation”. Phone: +7-926-173-12-34. E-mail: pershina86@mail.ru

Ekaterina S. Pershina – postgraduate student, radiologist of the Federal State autonomous institution “Center of Treatment and Rehabilitation”, Moscow; **Valentin E. Sinitsyn** – professor, dr. of med. sci., Director of the Center of Diagnostic Radiology of the Federal State autonomous institution “Center of Treatment and Rehabilitation”, Moscow; **Elena A. Mershina** – cand. of med. sci., Clinical Chief of the Diagnostic Radiology Department of the Federal State autonomous institution “Center of Treatment and Rehabilitation”, Moscow; **Maria A. Komarova** – cand. of med. sci., Radiologist of the Diagnostic Radiology Department of the Federal State autonomous institution “Center of Treatment and Rehabilitation”, Moscow; **Artem S. Chaban** – postgraduate student of the M.V.Lomonosov Moscow State university, Moscow.



источниками излучения (две рентгеновские трубки и два набора детекторов), смонтированными в одной гентри и настроенными на работу при разных показателях напряжения трубки, ДЭКТ с одним источником излучения (одной трубки с ультрабыстрым переключением энергий) или же однотрубочная ДЭКТ с двумя рядами детекторов, воспринимающих дифференцированно высокую и низкую энергию излучения. Дифференциация йода в тканях имеет высокое диагностическое значение в клинической практике, в том числе в оценке дефектов перфузии или участков накопления контрастного препарата в миокарде. Кроме уровня поглощения рентгеновского излучения, выраженного в единицах Хаунсфилда, ДЭКТ предоставляет информацию о специфическом поглощении излучения йодом на высоком и низком энергетических уровнях, что облегчает характеристику тканей и позволяет создавать карты распределения йода.

Построение йодных карт с помощью комбинации данных от низкого и высокого энергетического уровней помогает оценить распределение контрастного препарата в миокарде. Так как концентрация йода является ключевой в оценке перфузии миокарда, кровоснабжение миокарда может быть оценено через измерение концентрации йода в вокселе [7]. Специальное программное обеспечение генерирует цветные карты распределения йода, наложенные на виртуальные бесконтрастные изображения (рис. 1). Концентрация йода в пораженном участке миокарда может быть нормализована относительно концентрации йода в здоровом миокарде или в аорте [8]. Данные карты отображают объем крови в миокарде при прохождении контрастного препарата (статическая или динамическая перфузия) или количество йода в рубцово-измененной ткани миокарда при отсроченном контрастировании. Таким образом, при постобработке данных ДЭКТ возможно оценить не только состояние коронарных артерий (определить степень сужения просвета артерии) [2], но и одновременно получить данные о состоянии миокарда (нарушении перфузии или рубцовых изменениях) в рамках одного протокола [9, 10].

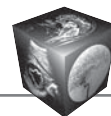
КТ-оценка кровоснабжения миокарда и инфаркта заимствована с МРТ: контрастные препараты КТ и МРТ имеют схожую кинетику как для оценки кровоснабжения, так и для оценки жизнеспособности миокарда [11]. Визуализация постишемических рубцовых изменений миокарда возможна в артериальную фазу (статическая или динамическая перфузия), а также в отсроченную фазу контрастирования. При контраст-усиленной КТ миокарда в артериальную фазу хронический инфаркт

миокарда визуализируется как участок гипоперфузии (уменьшение единиц Хаунсфилда более чем на 50% в сравнении с окружающим миокардом [12]), которой коррелирует с бассейном пораженной коронарной артерии [13]. Иногда этот подход условно называют “перфузией” миокарда, хотя, по факту, данный метод предоставляет статическое изображение распределения контрастного вещества по миокарду, отражая кровяной бассейн миокарда в определенный момент сканирования [14, 15], тогда как истинная (динамическая) подразумевает сканирование с временным разрешением в различные моменты времени при прохождении болюса контрастного вещества через миокард.

Второй подход основан на определении рубцово-измененного миокарда при отсроченном контрастировании. Для визуализации постишемических рубцовых изменений в отсроченную фазу контрастирования сканирование осуществляется на 7-й минуте после артериальной фазы при доведении дополнительного количества контрастного препарата капельно. На изображениях, полученных в отсроченную фазу после введения контрастного препарата, зона инфаркта определяется как участок контрастирования. По данным публикаций, ДЭКТ в отсроченную фазу контрастирования зарекомендовала себя как высокоинформативный метод оценки рубцовых изменений миокарда. Во многих работах показана высокая корреляция этого метода с данными МРТ и ОФЭКТ [16, 17]. Таким образом, ДЭКТ является перспективным методом комплексной диагностики ишемической болезни сердца (ИБС) путем оценки состояния коронарного русла, а также одновременной оценки состояния миокарда (нарушения перфузии или рубцовые изменения) в рамках одного протокола исследования [9, 10]. Однако повышает ли включение ДЭКТ в протокол сканирования диагностическую ценность метода, остается не до конца ясным. Результаты применения данного метода на практике в России недостаточно изучены.

Цель исследования

Оценить диагностическую значимость статической КТ-перфузии в ангиографическую (20 с) фазу и отсроченного контрастирования при ДЭКТ для определения постишемических рубцовых изменений миокарда в сравнении с отсроченным контрастированием при МРТ. Проанализировать дополнительную диагностическую значимость отсроченных КТ-последовательностей как части стандартного протокола КТ-ангиографии в диагностике рубцовых изменений миокарда.



Материал и методы

Общая характеристика пациентов. В проспективное исследование с 2013 по 2016 г. было включено 29 пациентов (м/ж – 16/13, средний возраст – $57,6 \pm 2,1$ года) с инфарктами миокарда левого желудочка (ЛЖ) давностью от 1 года до 6 лет.

Протокол КТ. Протокол КТ состоял из проспективного сбора данных во время статической перфузии, то есть в момент прохождения 60–80 мл контрастного препарата (Сканлюкс, 370 мг/мл) со скоростью 5 мл/с в раннюю артериальную (20 с) фазу (КТА), и отсроченных последовательностей. DECT-последовательности проводились на 7–8-й минуте после КТА при дополнительном капельном введении 30 мл контрастного препарата. Все исследования проводили на однотрубочном двухэнергетическом 64-рядном компьютерном томографе (Discovery 850, GE) в двухэнергетическом режиме (GSI).

MPT с отсроченным контрастированием. Через 1–2 дня после КТ-исследования была проведена MPT (Avanta, Siemens 1,5 T). Стандартный

протокол исследования включал кинопоследовательности и отсроченные последовательности по короткой оси, четырех- и двухкамерные позиции толщиной среза 6 мм на 15–20-й минуте после введения контрастного препарата (Гадовист, 0,1 ммоль/кг).

Постпроцессинг. Анализ ДЭКТ-данных проводили при помощи постобработки изображений путем построения йодных карт, отражающих истинное распределение йода в миокарде. Йодные карты были построены путем комбинации данных от низкого и высокого энергетического уровней. С помощью специального программного обеспечения были сгенерированы цветные карты распределения йода, наложенные на виртуальные бесконтрастные изображения (см. рис. 1). Оценка дефектов перфузии и участков отсроченного контрастирования была произведена при помощи построения трехмерных реконструкций толщиной среза 6 мм.

Качественный анализ изображений. КТ-изображения были визуально проанализированы посегментно на наличие дефектов перфузии и с

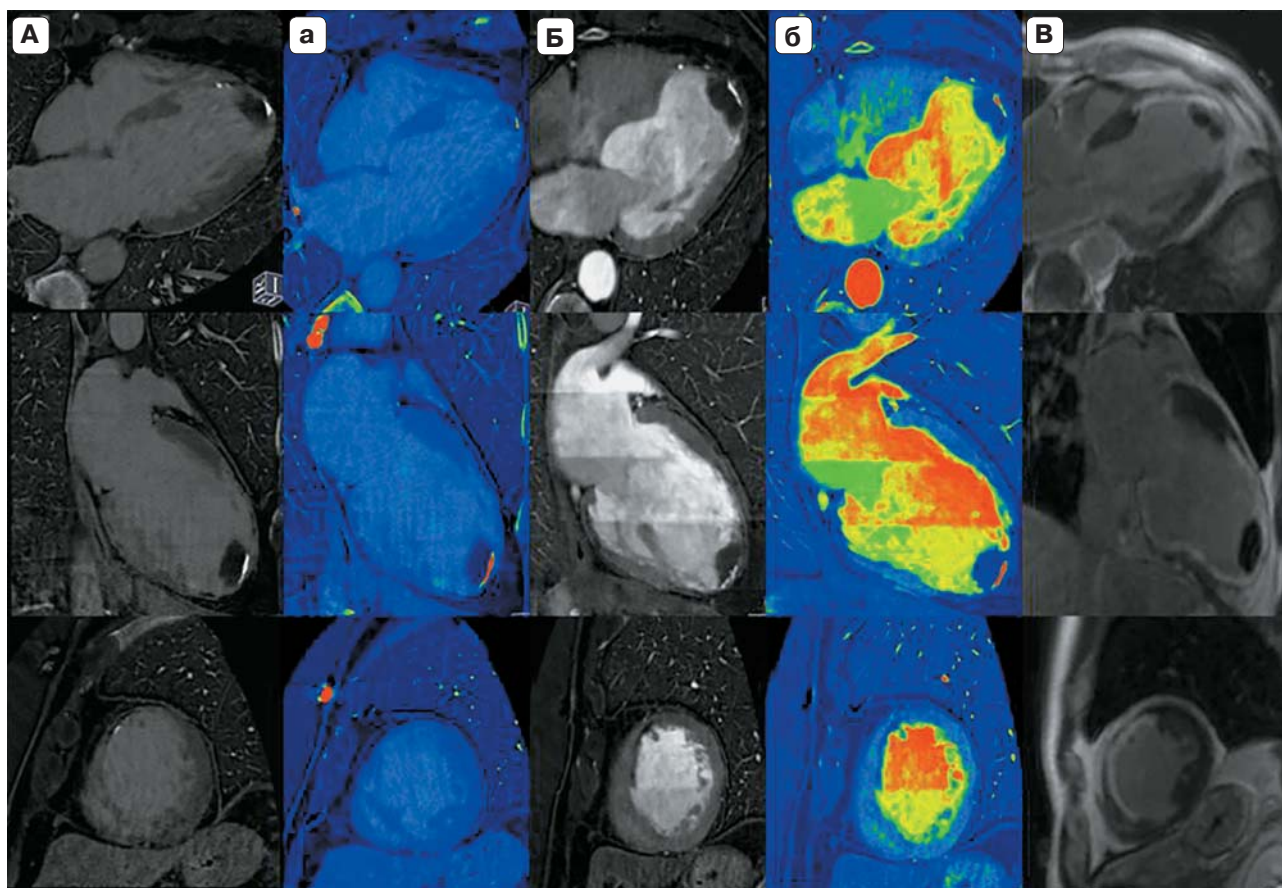


Рис. 1. Серошкальные и цветные карты распределения йода при КТА (А, а) и DECT (Б, б) при сопоставлении с данными MPT с отсроченным контрастированием.

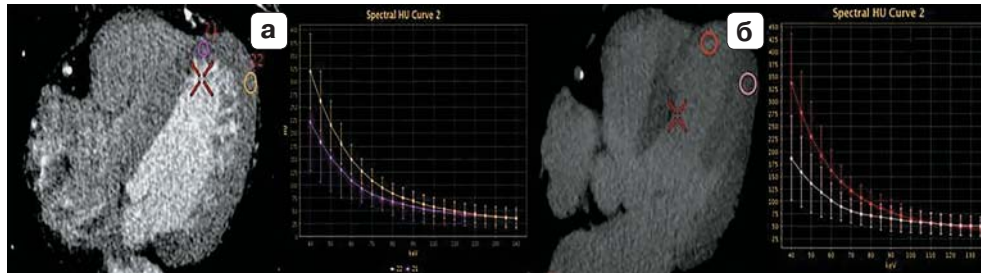


Рис. 2. Построение спектральных кривых путем обработки виртуальных монохромных изображений, полученных на 40–100 кэВ – энергетических уровнях при перфузии (а) и отсроченном контрастировании (б). 1, 3 – рубец, 2, 4 – нормальный миокард.

помощью отсроченного контрастирования миокарда двумя независимыми исследователями (7 и 4 года опыта работы в КТ-ангиографии соответственно). Данные КТ сравнивали с результатами МРТ с контрастированием с использованием 17-сегментной модели миокарда (АНА), четырехбалльной шкалы трансмуральности (1 балл – 0–25% толщины миокарда, 2 балла – 25–50%, 3 балла – 50–75%, 4 балла – 75–100%), четырехбалльной шкалы качества визуализации (1 – низкое, 2 – среднее, 3 – хорошее, 4 – отличное).

Количественный анализ данных ДЭКТ.

Концентрация йода в пораженном и здоровом участке миокарда была измерена и нормализована относительно концентрации йода в аорте. Далее рассчитывалось соотношение контрастшум (CNR) между нормальным миокардом и рубцом как для изображений при КТА (CNRKTA), так и для DECT (CNRDECT) по формулам:

$$CNR = [100\% - (\text{нормализованная концентрация йода в миокарде} - \text{нормализованная концентрация йода в рубце})] \cdot 100\% / [\text{нормализованная концентрация йода в миокарде}].$$

Кроме того, были оценены спектральные кривые распределения йода в нормальном и рубцово-измененном миокарде (рис. 2). Спектральные кривые были получены из виртуальных монохромных изображений на 40–100 кэВ – энергетических уровнях. Для КТА и DECT был рассчитан наклон спектральных кривых распределения йода для нормального и рубцово-измененного миокарда [18]. Также было рассчитано соотношение наклонов спектральных кривых между нормальным и рубцово-измененным миокардом при КТА и DECT.

Статистический анализ. Для статической ДЭКТ-перфузии и отсроченной ДЭКТ посегментно были рассчитаны такие показатели информативности метода, как чувствительность, специфичность, диагностическая точность, при сравнении с данными МРТ с отсроченным контрастированием.

Корреляция данных по числу рубцово-измененных сегментов и степени трансмуральности поражения при ДЭКТ (КТА и DECT) и отсроченном контрастировании при МРТ была вычислена с помощью коэффициента корреляции Спирмана.

Согласованность между исследователями относительно концентрации йода и значений наклона кривой была оценена с помощью интраклассового коэффициента корреляции (ICC).

Статистическая значимость различий концентрации йода, наклонов спектральных кривых распределения йода в неизменном и измененном миокарде была оценена с помощью t-теста после определения нормального распределения с помощью теста Колмогорова–Смирнова. Статистическая значимость различий соотношения наклонов спектральных кривых распределения йода в неизменном и рубцово-измененном миокарде для артериальной и отсроченной фаз ДЭКТ, а также средних значений баллов визуальной оценки качества изображений в артериальную и отсроченную фазы была оценена с помощью U-теста Манна–Уитни.

Весь статистический анализ был проведен при помощи программного обеспечения (IBM SPSS Statistics, version 21).

Результаты

Интраклассовый коэффициент корреляции между двумя исследователями относительно концентрации йода и значений наклонов спектральных кривых составил $r = 0,859$ и $r = 0,996$ соответственно ($p < 0,0001$).

Коэффициент корреляции Спирмана в определении пораженных сегментов миокарда ЛЖ и степени трансмуральности между КТА и МРТ составил $r = 0,84$, между DECT и МРТ $r = 0,87$ ($p < 0,05$).

Чувствительность, специфичность, диагностическая точность при сравнении с отсроченными последовательностями МРТ в определении рубцово-измененных сегментов для КТА фазы составила 95, 90, 95%, для DECT 96, 88, 99% соответ-



Рис. 3. Сравнение данных по оценке степени трансмуральности по четырехбалльной шкале трансмуральности при DECT с отсроченным контрастированием и постконтрастной МРТ. По оси ординат – балл трансмуральности.

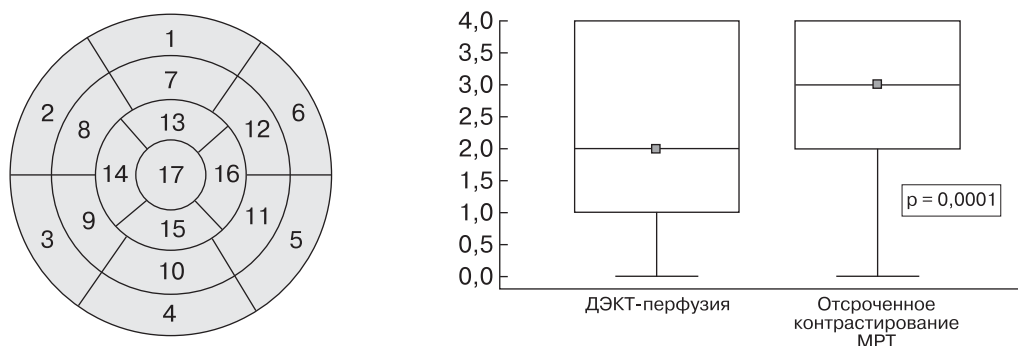


Рис. 4. Сравнение данных по оценке степени трансмуральности по четырехбалльной шкале трансмуральности при DECT-перфузии и постконтрастной МРТ. По оси ординат – балл трансмуральности.

венно. Значимой разницы между показателями чувствительности, специфичности, диагностической точности ДЭКТ в артериальную и отсроченную фазы выявлено не было ($p = 0,32$). Однако качество изображений и соотношение нормализованной концентрации йода в нормальном и рубцово-измененном миокарде было значимо выше для DECT ($p < 0,0001$).

Недооценка степени трансмуральности поражения миокарда при посегментном анализе в сравнении с МРТ выявлялась как при КТА, так и при отсроченной DECT (рис. 3, 4).

Была выявлена статистически значимая разница значений наклонов спектральных кривых нор-

мального и рубцово-измененного миокарда как для КТА ($p < 0,0001$), так и для DECT ($p < 0,0001$) (табл. 1).

При сравнении значений соотношений наклонов спектральных кривых между неизменным и рубцово-измененным миокардом для КТА и DECT статистически значимой разницы значений выявлено не было ($p = 0,32$) (табл. 2).

Средний балл визуальной оценки качества изображений был значимо выше для DECT, чем для КТА ($3,61 \pm 0,05$ против $0,89 \pm 0,07$; $p < 0,005$) (рис. 5). Соотношение нормализованной концентрации йода в нормальном и рубцово-измененном миокарде были значимо выше для DECT, чем для КТА ($51,1 \pm 11,2$ против $23,7 \pm 12,8$; $p = 0,008$) (рис. 6).

Таблица 1. Сравнение значений наклонов спектральных кривых нормального и рубцово-измененного миокарда для КТА и DECT

Методика	Среднее значение наклона спектральной кривой (нормальный миокард)	SD	Среднее значение наклона спектральной кривой (рубец)	SD	P
Статическая перфузия	1,73	0,82	4,03	0,97	<0,0001
Отсроченное контрастирование	4,05	0,9	2,02	0,9	<0,0001



Таблица 2. Сравнение значений соотношений наклонов спектральных кривых между неизменным и рубцово-измененным миокардом для КТА и DECT

Методика	Среднее соотношение наклонов спектральных кривых	SD	p
Статическая перфузия	0,44	0,21	0,32
Отсроченное контрастирование	0,49	0,18	

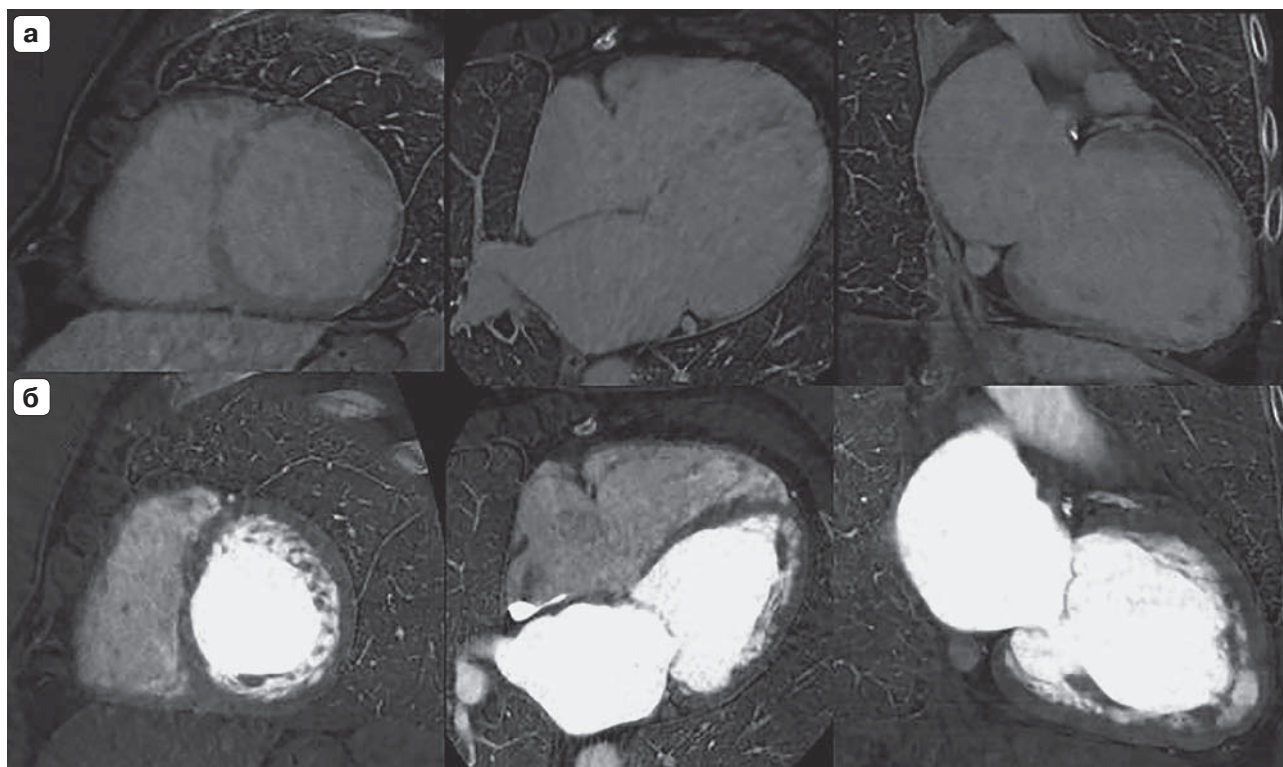


Рис. 5. Средний балл качества визуализации (по четырехбалльной шкале) для DECT в отсроченную фазу (а) и КТ-перфузии (б).

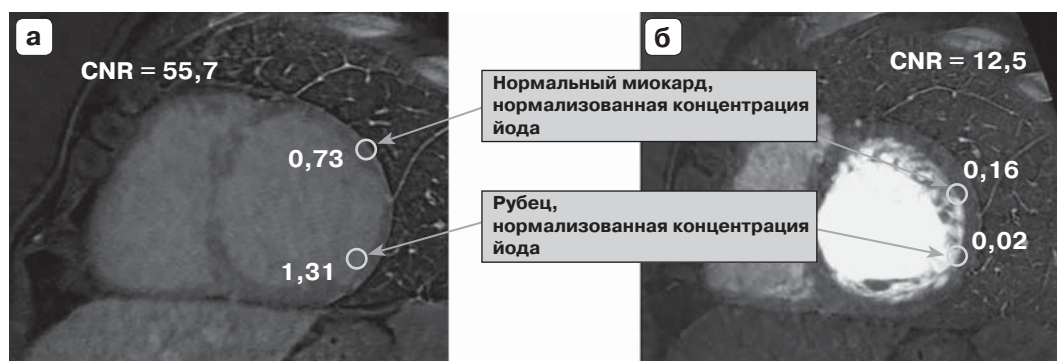
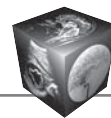


Рис. 6. Сравнение возможности диагностики рубцовых изменений миокарда количественно путем расчета нормализованной концентрации йода в рубце и здоровом миокарде для DECT (а) и КТ-перфузии (б).



Обсуждение

Безусловно, главная и первоочередная роль КТ в диагностике ИБС – это уникальная возможность неинвазивной оценки стеноза коронарных артерий. Однако в последнее время с развитием ДЭКТ становится возможным дифференцировать жизнеспособный миокард с рубцово-измененным или ишемизированным миокардом, что было затруднительно при моноэнергетической КТ.

В настоящее время доказана высокая диагностическая точность ДЭКТ при определении хронических инфарктов миокарда в сопоставлении с данными МРТ с контрастированием [12, 14, 15, 19, 20]. Результаты нашего исследования полностью согласовываются с данным литературы, показывая высокую чувствительность, специфичность, диагностическую точность ДЭКТ как в артериальную фазу, так и при отсроченном контрастировании. Оба метода, КТА и DECT, имели высокую корреляцию с данными МРТ при посегментном анализе. Таким образом, ДЭКТ является перспективным методом комплексной диагностики ИБС путем оценки состояния коронарного русла, а также одновременной оценки состояния миокарда (нарушения перфузии или рубцовые изменения) в рамках одного исследования [9, 10]. Однако необходимо проводить дополнительные клинические исследования для определения оптимального протокола сканирования, учитывая его стоимость и влияние на ведение пациента и прогноз.

В ряде последующих публикаций по ДЭКТ обсуждался вопрос, имеют ли отсроченные последовательности дополнительную диагностическую значимость при определении рубцово-измененного миокарда при включении их в протокол сканирования после стресс-перфузии и перфузии покоя [16, 17]. По результатам некоторых исследований включение отсроченных последовательностей в протокол МСКТ (нативная фаза для оценки коронарного кальция, стресс-перфузия и перфузия покоя) не повысило чувствительности, специфичности и диагностической точности метода. В связи с этим долгое время обсуждался вопрос об исключении отсроченных последовательностей из протокола МСКТ с целью уменьшения лучевой нагрузки на пациента.

Нами было проведено исследование, целью которого стала попытка определить оптимальный протокол сканирования при диагностике рубцовых изменений миокарда с помощью ДЭКТ путем сопоставления результатов КТА (статическая перфузия в покое) и DECT. Согласно нашим данным, обе методики оказались весьма эффективными.

Показатели чувствительности, специфичности и диагностической точности данных двух методов значимо не отличались. Кроме того, нами был предложен метод количественной, а не качественной, как ранее, дифференцировки рубцово-измененного и нормального миокарда путем построения спектральных кривых и расчет их наклона. Показатель соотношения наклонов спектральных кривых может стать объективным критерием разницы содержания йодного контраста в нормальном и рубцово-измененном миокарде, например в случае затруднительной или сомнительной качественной и визуальной оценки.

Таким образом, становится возможным разработать качественный критерий оценки рубцов миокарда, что снижает субъективность и операторозависимость методики. При этом важно отметить, что, по нашим данным, значение соотношения наклонов кривых между рубцом и неизмененным миокардом для КТА значимо не отличалось от такового при DECT. Иными словами, согласно объективным количественным критериям, DECT не обладает более высокой диагностической ценностью в сравнении с КТА. Однако в настоящее время рутинно в практике все же более широко используется метод визуальной качественной оценки дефектов перфузии или участков накопления контрастного препарата. Следовательно, диагностическая значимость DECT, согласно анализу среднего балла качества получаемых изображений, а также такому показателю, как соотношение концентрации йода в рубце и неизменном миокарде, оказывается выше, чем КТА.

Выводы

ДЭКТ может стать комплексным методом диагностики ИБС за счет оценки степени стеноза коронарных артерий и состояния миокарда в рамках одного исследования. Статическая ДЭКТ-перфузия при КТА и DECT с контрастированием обладают высокой диагностической точностью в диагностике рубцовых изменений миокарда в сравнении с МРТ с отсроченным контрастированием. Тем не менее диагностическая ценность DECT оказалась выше, чем статической ДЭКТ-перфузии при КТА. Анализ данных виртуальных монохромных спектральных изображений путем построения спектральных кривых может быть эффективно использован для количественной оценки концентрации йода в нормальном и рубцово-измененном миокарде как в случае статической ДЭКТ-перфузии в ангиографическую фазу, так и при DECT.



Список литературы / References

1. Грамович В.В., Синицын В.Е. ГМП. Количественная оценка перфузии миокарда с помощью магнитно-резонансной томографии у больных хронической ишемической болезнью сердца. *Кардиология*. 2004; 8: 4–12. Gramovich V.V., Sinitsyn V.E. Quantitative myocardial perfusion assessment with magnetic resonance imaging in patients with coronary artery disease. *Kardiologiya*. 2004; 8: 4–12. (In Russian)
2. Архипова И.М., Мершина Е.А. СВЕ. Роль КТ коронарографии в диагностике ИБС на амбулаторном этапе. *Поликлиника*. 2013; 3–1: 18–21. Arkhipova I.M., Merschina E.A., Sinitsyn V.E. CT-angiography in CAD evaluation for outpatient. *Poliklinika*. 2013; 3–1: 18–21. (In Russian)
3. Arnoldi E., Lee Y.S., Ruzsics B., Weininger M., Spears J.R., Rowley C.P., Chiaramida S.A., Costello P., Reiser M.F., Schoepf U.J. CT detection of myocardial blood volume deficits: Dual-energy CT compared with single-energy CT spectra. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2011; 5 (6): 421–429. DOI:10.1016/j.jcct.2011.10.007.
4. Flohr T.G., McCollough C.H., Bruder H., Petersilka M., Gruber K., Süß C., Grasruck M., Stierstorfer K., Krauss B., Raupach R., Primak A.N., Küttner A., Achenbach S., Becker C., Kopp A., Ohnesorge B.M. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur. Radiol.* 2006; 16 (2): 256–268. DOI:10.1007/s00330-005-2919-2.
5. Johnson T.R.C., Krauß B., Sedlmair M., Grasruck M., Bruder H., Morhard D., Fink C., Weckbach S., Lenhard M., Schmidt B., Flohr T., Reiser M.F., Becker C.R. Material differentiation by dual energy CT: Initial experience. *Eur. Radiol.* 2007; 17 (6): 1510–1517. DOI:10.1007/s00330-006-0517-6.
6. Petersilka M., Bruder H., Krauss B., Stierstorfer K., Flohr T.G. Technical principles of dual source CT. *Eur. J. Radiol.* 2008; 68(3): 362–368. DOI:10.1016/j.ejrad.2008.08.013.
7. Koonce J.D., Vliegenthart R., Schoepf U.J. Accuracy of dual-energy computed tomography for the measurement of iodine concentration using cardiac CT protocols: validation in a phantom model. *Eur. Radiol.* 2014; 24: 512–518. DOI:10.1007/s00330-013-3040-6.
8. Kang D.K., Schoepf U.J., Bastarrika G., Nance J.W., Abro J.A., Ruzsics B. Dual-energy computed tomography for integrative imaging of coronary artery disease: principles and clinical applications. *Semin. Ultrasound CT MR*. 2010; 31(4): 276–291. DOI:10.1053/j.sult.2010.05.004.
9. Ruzsics B., Schwarz F., Schoepf U.J., Lee Y.S., Bastarrika G., Chiaramida S.A., Costello P., Zwerner, P.L. Comparison of dual-energy computed tomography of the heart with single photon emission computed tomography for assessment of coronary artery stenosis and of the myocardial blood supply. *Am. J. Cardiol.* 2009; 104 (3): 318–326. DOI:10.1016/j.amjcard.2009.03.051.
10. Wang R., Yu W., Wang Y., He Y., Yang L., Bi T., Jiao J., Wang Q., Chi L., Yu Y., Zhang Z. Incremental value of dual-energy CT to coronary CT angiography for the detection of significant coronary stenosis: comparison with quantitative coronary angiography and single photon emission computed tomography. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2011; 27 (5): 647–656. DOI:10.1007/s10554-011-9881-7.
11. Gerber B.L., Belge B., Legros G.J., Lim P., Poncelet A., Pasquet A., Gisellu G., Coche E., Vanoverschelde J.L. Characterization of acute and chronic myocardial infarcts by multidetector computed tomography: Comparison with contrast-enhanced magnetic resonance. *Circulation*. 2006; 113 (6): 823–833. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.104.529511.
12. Nikolaou K., Knez A., Sagmeister S., Wintersperger B.J., Boekstegers P., Steinbeck G., Reiser M.F., Becker C.R. Assessment of myocardial infarctions using multidetector-row computed tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2004; 28 (2): 286–292. DOI:10.1097/00004728-200403000-00021.
13. Rubinshtein R., Miller T.D., Williamson E.E., Kirsch J., Gibbons R.J., Primak A.N., McCollough C.H., Araoz P.A. Detection of myocardial infarction by dual-source coronary computed tomography angiography using quantitated myocardial scintigraphy as the reference standard. *Heart*. 2009; 95 (17): 1419–1422. DOI:10.1136/hrt.2008.158618.
14. Hoffmann U., Millea R., Enzweiler C., Ferencik M., Gulick S., Titus J., Achenbach S., Kwiat D., Sosnovik D., Brady T.J. Acute myocardial infarction: contrast-enhanced multi-detector row CT in a porcine model. *Radiology*. 2004; 231 (3): 697–701. DOI:10.1148/radiol.2313030132.
15. George R.T., Silva C., Cordeiro M.A.S., Silva C., Cordeiro M.A.S., DiPaula A., Thompson D.R., McCarthy W.F., Ichihara T., Lima J.A.C., Lardo A.C.M. Multidetector Computed Tomography Myocardial Perfusion Imaging During Adenosine Stress. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2006; 48 (1): 153–160. DOI:10.1016/j.jacc.2006.04.014.
16. Bettencourt N., Chiribiri A., Schuster A., Ferreira N., Sampaio F., Pires-Morais G., Santos L., Melica B., Rodrigues A., Braga P., Azevedo L., Teixeira M., Leite-Moreira A., Silva-Cardoso J., Nagel E., Gama V. Direct comparison of cardiac magnetic resonance and multidetector computed tomography stress-rest perfusion imaging for detection of coronary artery disease. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2013; 61(10): 1099–1107. DOI:10.1016/j.jacc.2012.12.020.
17. Meinel F.G., De Cecco C.N., Schoepf U.J., Nance J.W., Silverman J.R., Flowers B.A., Henzler T. First-Arterial-Pass Dual-Energy CT for Assessment of Myocardial Blood Supply: Do We Need Rest, Stress, and Delayed Acquisition? Comparison with SPECT. *Radiology*. 2013; 270 (3): 131183. DOI:10.1148/radiol.13131183.
18. Chen A., Liu A., Liu J., Tian S., Wang H., Liu Y. Application of dual-energy spectral CT imaging in differential diagnosis of bladder cancer and benign prostate hyperplasia. *Medicine (Baltimore)*. 2016; 95 (52): e5705. DOI:10.1097/MD.00000000000005705.
19. Goetti R., Feuchtner G., Stolzmann P., Donati O.F., Wieser M., Plass A., Frauenfelder T., Leschka S., Alkadhi H. Delayed enhancement imaging of myocardial viability: Low-dose high-pitch CT versus MRI. *Eur. Radiol.* 2011; 21 (10): 2091–2099. doi:10.1007/s00330-011-2149-8.
20. Vliegenthart R., Henzler T., Moscariello A., Ruzsics B., Bastarrika G., Oudkerk M., Schoepf U.J. CT of coronary heart disease: Part 1, CT of myocardial infarction, ischemia, and viability. *Am. J. Roentgenol.* 2012; 198 (3): 531–547. DOI:10.2214/AJR.11.7082.

Поступила в редакцию 16.06.2017.
Принята к печати 1.07.2017.

Received on 16.06.2017.
Accepted for publication on 1.07.2017.