

## МСКТ сканирование: – автоматический выбор сердечной фазы с использованием алгоритма phaseXact

R.M.S. Joemai  
Медицинский центр  
университета  
Лейдена, Лейден,  
Нидерланды

**phaseXact определяет оптимальную для диагностики коронарных артерий фазу и улучшает рабочий процесс**

### Введение

Количество обследований с использованием многодетекторной (мультисрезовой) компьютерной томографии (MDCT син. MSCT) непрерывно растет. В данной технологии используется более широкий, по сравнению с одно и 2-срезовыми системами, детектор и максимально сокращено время оборота рентгеновской трубки. В недавно опубликованном многоцентровом международном исследовании Core64 было показано, что МСКТ сканирование сердца при помощи 64-срезового МСКТ сканера является очень точным в определении заболеваний коронарных сосудов<sup>2</sup>. А представленный в 2007 году новый КТ сканер фирмы Toshiba Aquilion ONE оказался еще более совершенным. Это первый КТ сканер с шириной рентгеновского пучка 160 мм и временем оборота трубки 0.35 с. Aquilion ONE стал новой эпохой в МСКТ сердца. Он позволяет просканировать всё сердце менее чем за один оборот гентри и менее чем за одно сердечное сокращение, обеспечивая получение изображений отличного качества и высочайшей диагностической ценности (Рис. 1)<sup>3,4</sup>.

Самым большим преимуществом коронарной МСКТ по сравнению с традиционной катетеризацией сердца является то, что она выполняется неинвазивно. Это минимизирует дискомфорт для пациентов и предотвращает связанный с катетеризацией риск.

Во время МСКТ сканирования производится регистрация и сохранение сырых данных с синхронизацией по ЭКГ. Реконструкция изображений начинается после выбора подходящей сердечной фазы, т.е. фазы с минимальным движением сердца. Выбор оптимальной фазы - фазы относительного покоя - является важным фактором для исключения артефактов движения и получения изображений достаточного качества для клинической оценки.

Выбор оптимальной фазы может выполняться тремя способами:

1. Использование одной, заранее определённой фазы.
2. Ручной выбор лучшей фазы (фазы с минимальным движением по всему сердечному циклу) в результате визуального наблюдения.

*Рис. 1. При использовании нового КТ сканера Aquilion ONE всё сердце можно просканировать за один оборот с использованием широкого рентгеновского пучка, при этом производится одновременная запись ЭКГ. В результате только одного оборота можно получить отличное качество изображений*

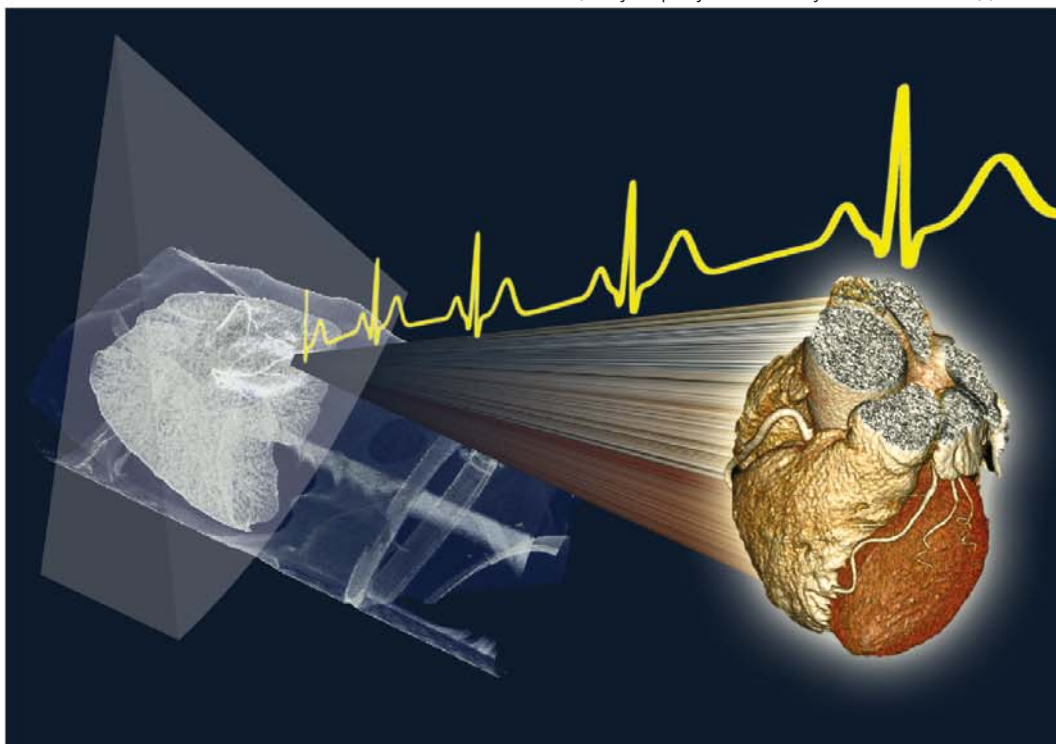
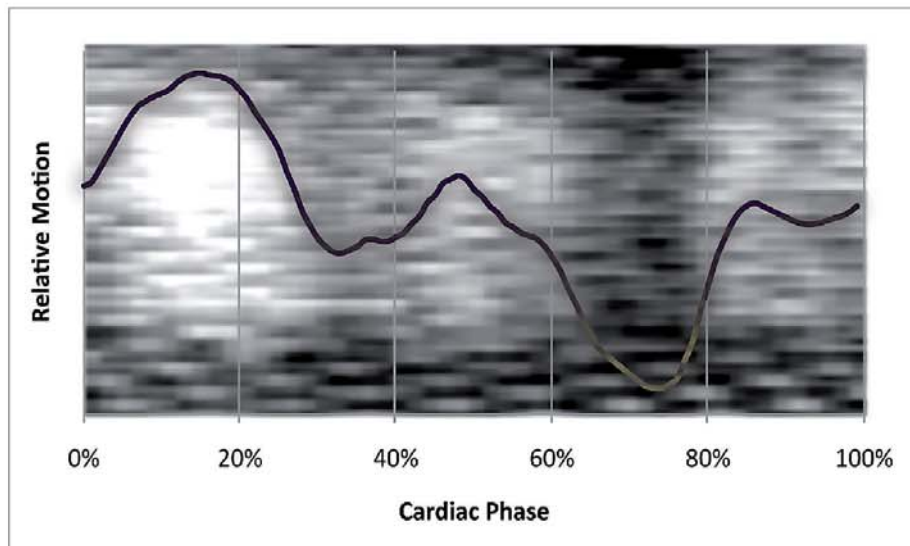


Рис. 2. На фоне изображения показана карта движений, которая используется для вычисления графика движения



3. Использование алгоритма (phaseXact, Toshiba Medical Systems, Япония), который позволяет определить оптимальную фазу автоматически<sup>5,6</sup>.

Первый способ хорошо подходит для реконструкции изображений коронарных артерий при относительно низких значениях сердечного ритма. При более высоких значениях на изображениях могут появиться неприемлемые артефакты движения.

Выбор лучшей фазы вручную путём визуального наблюдения требует гораздо большего времени, но может давать значительно лучшие изображения по сравнению с предыдущим способом.

Алгоритм автоматического определения оптимальной фазы покоя с минимумом движения может давать значительные преимущества в клинической практике. Однако необходимо отметить, что клинические исследования и сравнение с другими методиками реконструкции пока не проводились.

Задачей данного исследования было оценить три способа выбора оптимальной фазы для реконструкции изображений и влияние каждого из способов на их качество при использовании для коронарной ангиографии 64-срезового МСКТ.

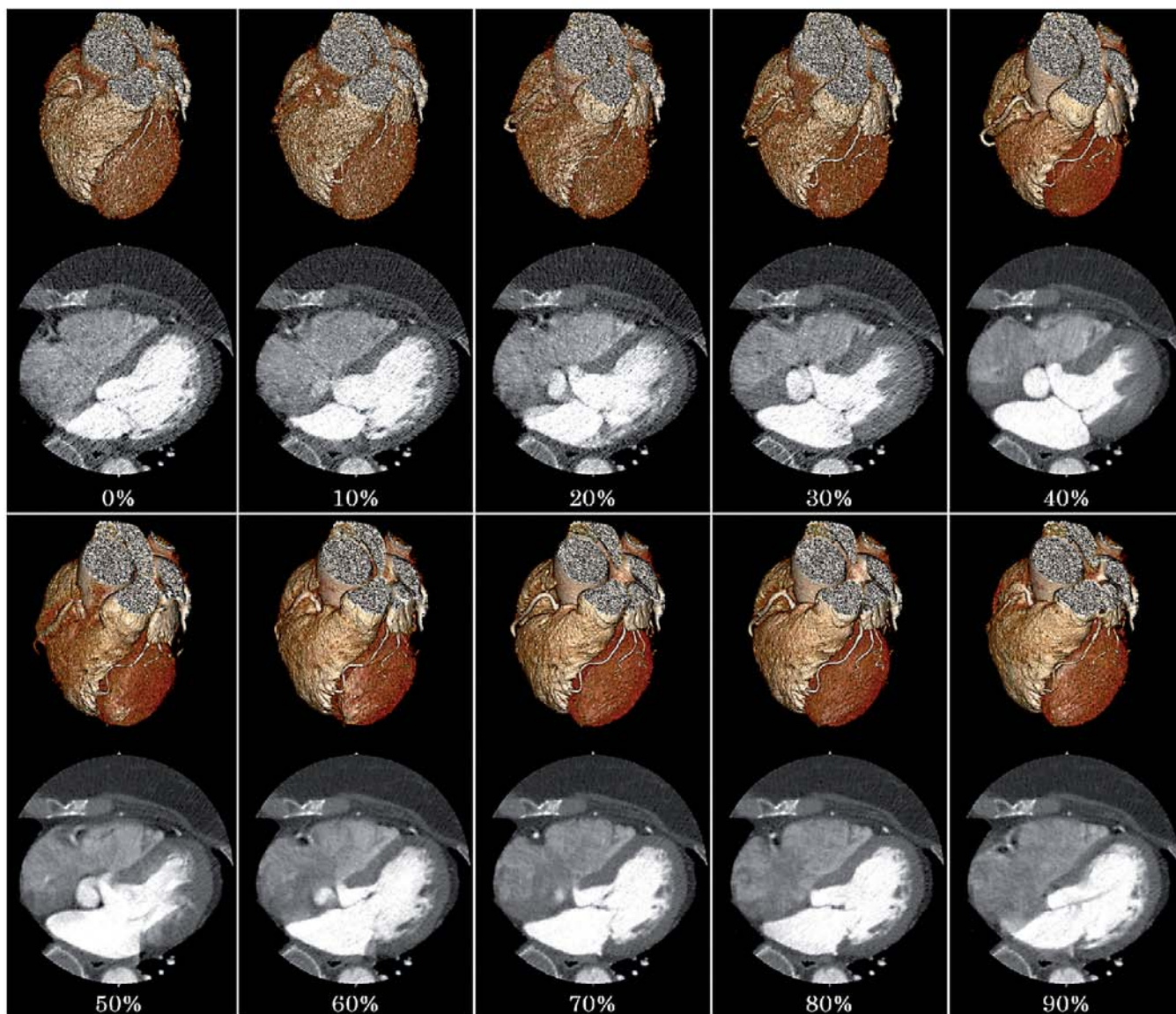
### Материалы и методы, пациенты

Были выбраны обследования коронарной КТ ангиографии 40 пациентов (23 мужчины, 17 женщин; средний возраст - 56 лет; диапазон возраста 30 - 78 лет). Группа была скомпонована из 20 следующих друг за другом пациентов с частотой сердечного ритма  $\leq 65$  ударов в минуту (уд./мин.) (средняя частота 55 уд./мин.; диапазон - 48 - 64 уд./мин.) и 20 других пациентов с частотой сердечного ритма  $> 65$  уд./мин. (средняя частота 76 уд./мин.; диапазон - 66 - 105 уд./мин.). Реальная частота сердечного ритма накладывалась на среднее значение сердечного ритма во время сбора данных изображений; изменчивость частоты сердечного ритма не принималась во внимание. Всем пациентам по клиническим показаниям была выполнена коронарная КТ ангиография для оценки коронарных артерий.

Рис. 3. Рядом с 3D изображением показаны MPR, которые были реконструированы при помощи программы Vessel View на консоли КТ сканера фирмы Тошиба. Программное обеспечение реконструировало два типа MPR. Правое изображение MPR было использовано для оценки в данном исследовании. На 3D изображении зелёной линией показана реконструированная коронарная артерия



Рис. 4. Реконструкция изображений для пациентки в возрасте 55 лет с частотой сердечного ритма 57 уд./мин. при помощи КТ сканера фирмы Тошиба Aquilion ONE. Показаны реконструкции 3D изображений (верхнее изображение) и аксиальные изображения (нижнее изображение) для каждой фазы сердца с интервалом 10%. В данном примере сердечная фаза с минимумом движения находится в точке 70%. При уменьшении величины смещений по интервалу определение оптимальной фазы становится более точным



#### Параметры сканирования и реконструкции

Коронарная КТ ангиография с контрастным усилением была проведена с использованием МСКТ сканера (Aquilion 64, фирма Toshiba).

Сбор данных проводился при установке следующих параметров: коллимация среза 64 x 0.5 мм, напряжение на рентгеновской трубке 120 - 135 кВ (в зависимости от массы тела пациента), ток через трубку 300 - 400 мА (в зависимости от массы тела пациента), поле обзора сканирования 240 или 320 мм. Оптимальное значение питч-фактора и время оборота определялись автоматически программным обеспечением <sup>SURE</sup>Cardio (фирмы Toshiba) для получения оптимального временного разрешения при любой частоте сердечного ритма.

Изображения реконструировались с толщиной срезов

0.5 мм и интервалом 0.3 мм. Реконструкции производились с мягким ядром свёртки (FC11) в сочетании с фильтром подавления шума Quantum Denoising Software+ и фильтром компенсации артефактов от хода луча с жёсткостью Boost3D.

#### Анализ изображений

Для анализа изображений использовались три следующих способа выбора фаз.

**Использование заранее определённой фазы.** Самая лучшая фаза для коронарной КТА определялась экспериментально для пациентов с частотой сердечного ритма  $\leq 65$  уд./мин. (20 пациентов) и  $> 65$  уд./мин. (20 пациентов). Это делалось с использованием визуального изучения всех фаз сердца с интервалом 5%. Фаза в точке 75%, после R-зубца, была признана оптимальной для значений частоты сердечного ритма  $\leq 65$  уд./мин. Однако, для значений  $> 65$  уд./мин. оптимальная фаза находилась



Оценка аксиальных изображений			
	Все пациенты	< 65 уд./мин.	> 65 уд./мин.
Среднее ± стандартное отклонение (SD)			
Предварительный	2.69±1.09	1.98±0.76	3.40±0.88
Ручной	2.28±0.57	1.96±0.51	2.59±0.44
Автоматический	2.46±0.72	2.36±0.95	2.56±0.40
Среднее различие ± SD			
Предварительный-Ручной	0.41±0.75	0.01±0.45	0.81±0.78
Предварительный-Автоматический	0.23±1.10	-0.39±0.94	0.84±0.89
Ручной-Автоматический	-0.19±0.71	-0.40±0.80	0.03±0.54
Тест Вилкоксона (р-значение)			
Предварительный-Ручной	0.005	0.864	0.001
Предварительный-Автоматический	0.19	0.093	0.002
Ручной-Автоматический	0.144	0.049	0.75
Оценка изображений MPR			
	Все пациенты	< 65 уд./мин.	> 65 уд./мин.
Среднее ± стандартное отклонение (SD)			
Предварительный	2.13±0.46	1.91±0.38	2.35±0.44
Ручной	1.92±0.35	1.95±0.37	1.88±0.34
Автоматический	1.95±0.45	2.14±0.47	1.76±0.34
Среднее различие ± SD			
Предварительный-Ручной	0.22±0.69	-0.04±0.59	0.47±0.70
Предварительный-Автоматический	0.18±0.84	-0.23±0.77	0.59±0.71
Ручной-Автоматический	-0.03±0.66	-0.19±0.75	0.12±0.52
Тест Вилкоксона (р-значение)			
Предварительный-Ручной	0.091	0.746	0.011
Предварительный-Автоматический	0.167	0.284	0.004
Ручной-Автоматический	0.976	0.241	0.274

Таблица 1. Средние баллы и средние различия в баллах при оценке аксиальных изображений и мультипланарных реформатирований (MPR)

в точке 50% после R-зубца. В зависимости от значений частоты сердечного ритма одна из этих фаз сердца была использована в способе предварительного выбора фазы.

**Выбор фазы вручную.** Выбор самой лучшей фазы вручную достигался путём визуального изучения множества сердечных фаз. Выбор производился путём реконструкции одного среза на уровне середины желудочка с включением всех трёх коронарных артерий. На этом уровне реконструировались все фазы сердца от R-зубца до R-зубца с временными интервалами в 20 мс. Это давало до 50 фаз при частоте сердечного ритма 60 уд./мин. Если на одном уровне не удавалось получить достаточно информации, использовалось несколько уровней.

**Автоматический выбор фазы.** Автоматический выбор фазы стал возможным при использовании алгоритма автоматического выбора оптимальной фазы для КТА сердца и реконструкции изображений в точке минимального движения. Алгоритм создаёт карту движений на базе сырых данных путём их вычитания из данных, полученных по интервалу с опережением по фазе на 4%. Карта движения сырых данных показывает степень

движения по всему сердечному циклу. Из карты движений путём интерполяции получают график движения (Рис. 2).

Далее, алгоритм проводит реконструкцию в самой лучшей фазе с минимальными смещениями. Оптимальная фаза определяется при помощи программного обеспечения в течение 4 секунд. Это программное обеспечение является частью программы планирования обследования, при этом не требуется никакого ручного вмешательства от момента начала сканирования до завершения реконструкции.

Три способа выбора фаз дали соответственно три объёма данных для каждого пациента. Изображения коронарных артерий сравнивались четырьмя исследователями двумя способами: путём оценки аксиальных изображений и мультипланарных реконструкций (MPR).

Аксиальные изображения просматривались на специальной рабочей станции (Vitre 2, версия 3.9, Vital Images). Исследователи оценивали качество изображений и классифицировали качество изображений коронарных артерий

при помощи количественной пятибалльной шкалы (1 = высокое качество, 5 = низкое качество). Воспринятые различия в качестве изображения между тремя реконструированными объёмами, даже при наличии очень малых различий, исследователям должны были оценивать по этим пяти градациям.

Мультипланарные реконструкции получали и оценивали на консоли КТ сканера с использованием методики полуавтоматического обнаружения сосудов Vessel View (Toshiba). После позиционирования центральной линии просвета сосудов программное обеспечение создавало изображения, на которых сосуд отображался вдоль прямой линии (Рис. 3). MPR выполнялись для каждой коронарной артерии, т.е., для правой коронарной артерии (RCA), левой передней нисходящей коронарной артерии (LAD) и огибающей коронарной артерии. MPR оценивались в соответствии с критерием принудительного выбора (трехбалльная шкала). Этот критерий использовался для точной оценки небольших различий. Исследователям предложили присваивать MPR с самым лучшим качеством балл 1, средним - 2 и худшим - 3 в соответствии с наличием смещений в изображениях. Полностью отображённой в длину каждой коронарной артерии со всеми сегментами присваивалась одна градация.

#### Анализ данных

Определялись средние значения баллов всех четырёх исследователей для каждого пациента с целью

последующего статистического анализа. Эти средние значения баллов сравнивались попарно при помощи теста знаковых рядов Вилкоксона.

### Результаты

На Рис. 4 показан пример различных сердечных фаз в рамках одного сердечного цикла, полученных при использовании системы Aquilion ONE фирмы Toshiba, для пациентки в возрасте 55 лет с частотой сердечного ритма 57 уд./мин.. Реконструкции изображений производилась с интервалом 10%. Они показали, что артефакты движения являются минимальными в точке 70% интервала R-R. При уменьшении шагов реконструкции по интервалу можно более точно определить оптимальную сердечную фазу.

В Таблице 1 перечислены средние значения баллов и разбросы для различных способов выбора фазы. Эти значения усреднялись по всем четырём исследователям для каждого пациента и каждой методики реконструкции. В этой же таблице приведены суммарные результаты, которые включают средние различия и р-значения.

Все пациенты. Если анализировать данные для всех пациентов, видна тенденция в обеих методиках оценки (т.е., аксиальные и MPR), которая показывает лучшие результаты для способа выбора фазы вручную (более низкие средние баллы), а затем идёт способ автоматического выбора фазы. Сравнение выбора фазы с предварительной установкой и вручную показало статистически достоверное отличие при оценке аксиальных изображений ( $p = 0.005$ ). При других сравнениях достоверных различий установлено не было.

Пациенты с частотой сердечного ритма  $\leq 65$  уд./мин. Для пациентов с относительно низкими значениями ЧСС (65 уд./мин.) анализ аксиальных изображений дал самое низкое значение баллов (самое высокое качество изображений) для способа ручного выбора фазы. При оценке изображений MPR самые низкие баллы были получены для способа предварительного выбора. Однако не было установлено никакой статистически достоверной разницы в качестве изображений между всеми тремя способами выбора фазы.

Пациенты с частотой сердечного ритма  $> 65$  уд./мин. Для пациентов с относительно высокой ЧСС ( $> 65$  уд./мин.) обе методики оценки (т.е., аксиальные и MPR) показали преимущество автоматического способа определения фазы, а затем выбора фазы вручную. Автоматический выбор фазы дал статистически достоверное улучшение качества изображения по сравнению со способом предварительной установки для анализа аксиальных ( $p = 0.002$ ) и MPR ( $p = 0.004$ ) изображений. Выбор фазы вручную также дал значительно лучшее качество изображений по сравнению со способом предварительного выбора фазы (оценка аксиальных изображений -  $p = 0.001$ ; MPR -  $p = 0.011$ ). Между способами автоматического и ручного выбора фазы не было установлено никакой статистически достоверной разницы.

### Обсуждение

Задачей исследования было оценить значение трёх различных способов выбора фазы при выполнении коронарной ангиографии с

использованием 64-срезового МСКТ для клинических пациентов. Анализ аксиальных изображений для всех пациентов показал статистически достоверное преимущество результатов для способа выбора фазы вручную по сравнению со способом предварительного выбора. В других сравнениях для всех пациентов не было установлено никакой статистически достоверной разницы.

Реконструкция изображения в точке 75% интервала R-R (во время диастолы) для пациентов с ЧСС  $\leq 65$  уд./мин., как правило, даёт для диагностики изображение достаточно хорошего качества. Однако при более высоких значениях частоты сердечного ритма оптимальная фаза зачастую сдвигается в систолу ( $\pm 50\%$ )<sup>7,8</sup>. Установленная предварительно фаза в точке 75% является простым и низкокзатратным по времени способом, но применять его можно только для пациентов с низкой частотой сердечного ритма. Для пациентов с высокой частотой сердечного ритма необходимо приложить больше усилий для того, чтобы реконструировать изображения коронарных артерий без артефактов движения, при этом зачастую производится ряд реконструкций при определении самой лучшей фазы для диагностической оценки основных коронарных артерий. Для таких сложных случаев наиболее подходящим является способ автоматического определения фазы, который может обеспечить такое же качество изображений, как и при выборе фазы вручную.

Объяснением хорошей работы способа автоматического определения фазы при высоких значениях частоты сердечного ритма является то, что он производит вычисление фазы с минимальным движением при использовании всего региона сканирования. Выбор фазы вручную производится на уровне одного-двух срезов, но при этом сегменты коронарных артерий с наличием смещения могут выпасть из этих срезов, что приведёт к менее точному определению фазы по сравнению с автоматическим определением, которое учитывает движение всего объёма. Тем не менее, способ определения фазы вручную показал результаты, которые были сравнимы со способом автоматического выбора оптимальной фазы для реконструкции.

Способ автоматического выбора фазы показал при всех сравнениях отсутствие какой-либо статистически достоверной разницы по сравнению со способом выбора фазы вручную. При значениях частоты сердечного ритма  $> 65$  уд./мин. способ автоматического выбора фазы дал самые высокие баллы при оценке изображений. Практическими преимуществами такого способа выбора фазы, по сравнению с ручным, являются: простота в использовании, отсутствие необходимости вмешательства оператора и экономия времени.

### Ссылки

#### References

- Joemai RM, Geleijns J, Veldkamp WJ, de Roos A, Kroft LJ. Automated cardiac phase selection with 64-MDCT coronary angiography. *AJR Am J Roentgenol.* 2008 Dec;191(6):1690-7.
- Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, Arbab-Zadeh A, Niinuma H, Gottlieb I, Paul N, Clouse ME, Shapiro EP, Hoe J, Lardo AC, Bush DE, de Roos A, Cox C, Brinker J, Lima JA. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT. *N Engl J Med.* 2008 Nov 27;359(22):2324-36.
- Hein PA, Romano VC, Lembcke A, May J, Rogalla P. Initial experience with a chest pain protocol using 320-slice volume MDCT. *Eur Radiol.* 2009 May;19(5):1148-55.
- Rybicki F, Otero HJ, Steigner ML. Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2008; 24 (5): 535-546.
- Ota T, Hein I, Okumura M, Anno H, Katada K. Clinical usefulness of automatic phase selection in coronary CT angiography (CTA). *Proceeding of SPIE 2007 Medical Imaging: (MI 6510-94).*
- Blobel J, Okumura M, Ota T, Tsuyuki M, de Vries H, Hall J, Mews J. Heart-Rate Adaptive CT Image Reconstruction with automatic phase detection. *VISIONS 2007;11:27-31 (ISSN 1617-2876).*
- Giesler T, Baum U, Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E, Mennicke M, Bautz W, Kalender WA, Daniel WG, 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 Oct;179(4):911-6.
- Wintersperger BJ, Nikolaou K, von Ziegler F, Johnson T, Rist C, Leber A, Flohr T, Knez A, Reiser MF, Becker CR. Image quality, motion artifacts, and reconstruction timing of 64-slice coronary computed tomography angiography with 0.33-second rotation speed. *Invest Radiol.* 2006 May;41(5):436-42.