



Оригинальная статья

Волюметрия эпикардального жира по данным низкодозной компьютерной томографии органов грудной клетки: исследование с разработанным фантомом сокращающегося сердца

Чернина В.Ю.¹ • Кульберг Н.С.¹ • Алешина О.О.¹ • Корб Т.А.¹ • Блохин И.А.¹ • Морозов С.П.¹ • Гомболевский В.А.¹

Чернина Валерия Юрьевна – начальник сектора исследований в лучевой диагностике¹; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0302-293X>
✉ 127051, г. Москва, ул. Петровка, 24–1, Российская Федерация.
Тел.: +7 (964) 636 99 92.
E-mail: chernina909@gmail.com

Кульберг Николай Сергеевич – канд. физ.-мат. наук, руководитель отдела разработки средств медицинской визуализации¹; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7046-7157>.
E-mail: kulberg@npcmr.ru

Алешина Ольга Олеговна – мл. науч. сотр. сектора исследований в лучевой диагностике¹; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9924-0204>.
E-mail: olya.aleshina.tula@gmail.com

Корб Татьяна Александровна – мл. науч. сотр. сектора исследований в лучевой диагностике¹; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9291-1466>.
E-mail: t-anya@list.ru

Блохин Иван Андреевич – мл. науч. сотр. сектора исследований в лучевой диагностике¹; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2681-9378>.
E-mail: i.blokhin@npcmr.ru

Морозов Сергей Павлович – д-р мед. наук, профессор, директор¹; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6545-6170>.
E-mail: morozov@npcmr.ru

Гомболевский Виктор Александрович – канд. мед. наук, руководитель отдела научных медицинских исследований¹; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1816-1315>.
E-mail: g_victor@mail.ru

Обоснование. С 2017 г. в Москве реализуется пилотный проект скрининга рака легкого с использованием протоколов низкодозной компьютерной томографии (НДКТ) органов грудной клетки. Пациенты, включаемые в скрининговую программу, имеют факторы риска развития ишемической болезни сердца (ИБС). Ранее установлена связь объема эпикардальной жировой ткани (ЭЖТ) с атеросклерозом коронарных артерий, ИБС и фибрилляцией предсердий.

Цель – доказать возможность применения протокола НДКТ для волюметрии ЭЖТ с использованием фантома сокращающегося сердца.

Материал и методы. Исследование проведено с разработанным фантомом сокращающегося сердца и фантомом органов грудной клетки в 2 этапа. На 1-м этапе просканированы 2 куски жировой ткани внутри и вне фантома органов грудной клетки по протоколам КТ и НДКТ. На 2-м этапе просканирован фантом сокращающегося сердца вне и внутри фантома органов грудной клетки. Дополнительно были проведены сканирования с добавлением к фантому сердца фантома коронарных сосудов с имитацией коронарного кальция. Разработка фантома сокращающегося сердца выполнена в течение 3 месяцев. Сканирования фантома проведены в течение одного дня. Определены пределы плотностей жировой ткани по данным НДКТ, а также погрешность волюметрии ЭЖТ по данным КТ и НДКТ органов грудной клетки. Измерения объемов жировой ткани выполнены рентгенологом дважды с помощью полуавтоматического программного обеспечения.

Результаты. По результатам 1-го этапа определены оптимальные границы плотности для волюметрии жировой ткани по данным НДКТ в скрининге рака легкого от -250 до -30 НУ. По

результатам 2-го этапа выявлено, что при всех вариантах экспериментов с фантомом сердца средняя погрешность волюметрии жировой ткани не превышает 5%, кроме случая сканирования сокращающегося сердца с кальцием по протоколу КТ в фантоме органов грудной клетки с индексом массы тела 29 (-5,92%). При добавлении фантома коронарного кальция к фантому сердца по данным НДКТ отмечается повышение погрешности как в эксперименте с фантомом с индексом массы тела 23, так и с фантомом с индексом массы тела 29, в среднем на 4%.

Заключение. Волюметрию ЭЖТ по данным НДКТ в скрининге рака легкого возможно проводить, в том числе у пациентов с наличием коронарного кальция, при установке порога плотности жира от -250 до -30 НУ. Однако принимая во внимание фантомный дизайн, дальнейшие исследования следует планировать с участием пациентов, с учетом корреляции объемов ЭЖТ между данными НДКТ для скрининга рака легкого и КТ-коронарографией.

Ключевые слова: эпикардальная жировая ткань, волюметрия, компьютерная томография, низкодозная компьютерная томография

Для цитирования: Чернина ВЮ, Кульберг НС, Алешина ОО, Корб ТА, Блохин ИА, Морозов СП, Гомболевский ВА. Волюметрия эпикардального жира по данным низкодозной компьютерной томографии органов грудной клетки: исследование с разработанным фантомом сокращающегося сердца. Альманах клинической медицины. 2021;49(1):61–71. doi: 10.18786/2072-0505-2021-49-006.

Поступила 11.12.2020; доработана 01.02.2021; принята к публикации 08.02.2021; опубликована онлайн 02.03.2021

¹ ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, г. Москва, ул. Петровка, 24–1, Российская Федерация

Эпикардальная жировая ткань (ЭЖТ) – висцеральная жировая ткань, окружающая сердце и коронарные артерии. Она может способствовать развитию коронарного атеросклероза за счет местного производства провоспалительных цитокинов с паракринным эффектом [1–3]. В ряде исследований показано наличие связи объема ЭЖТ с атеросклерозом коронарных артерий [4, 5], ишемической болезнью сердца (ИБС) [6, 7], фибрилляцией предсердий и основными неблагоприятными сердечно-сосудистыми явлениями (смерть от кардиальных причин, нефатальный инфаркт миокарда, стенокардия, проведенная кардиореанимация) [8, 9]. В соответствии с данными систематического обзора о прогностической ценности количественного определения ЭЖТ, пороговым значением следует считать 125 мл [10].

К неинвазивным методам оценки ЭЖТ относятся эхокардиография, компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография [11]. Ранее было доказано, что волюметрия по данным эхокардиографии имеет низкую воспроизводимость между врачами, наибольшие трудности возникали при плохом акустическом окне и большой массе тела пациента [12]. КТ позволяет визуализировать весь объем жировой ткани и, соответственно, проводить волюметрию более точно [11]. Основная проблема заключается в высокой трудоемкости и времязатратности ручной и полуавтоматической методик волюметрии по данным КТ органов грудной клетки. Однако этот вопрос может быть решен с помощью алгоритма машинного обучения, позволяющего проводить волюметрию автоматическим путем менее чем за 1 минуту [13].

С 2017 г. в Москве реализуется пилотный проект скрининга рака легкого, в рамках которого используются протоколы низкодозной КТ (НДКТ) органов грудной клетки с лучевой нагрузкой менее 1 мЗв [14]. С помощью этой методики наряду с очагами в легких представляется возможным оценивать объем жировой ткани, окружающей сердце. Пациенты, включаемые в данную скрининговую программу, имеют факторы риска развития ИБС: возраст старше 55 лет и длительный стаж курения.

Цель – доказать возможность применения протокола НДКТ для волюметрии ЭЖТ с использованием фантома сокращающегося сердца.

Материал и методы

Дизайн исследования

Данное исследование с использованием разработанного фантома сокращающегося сердца

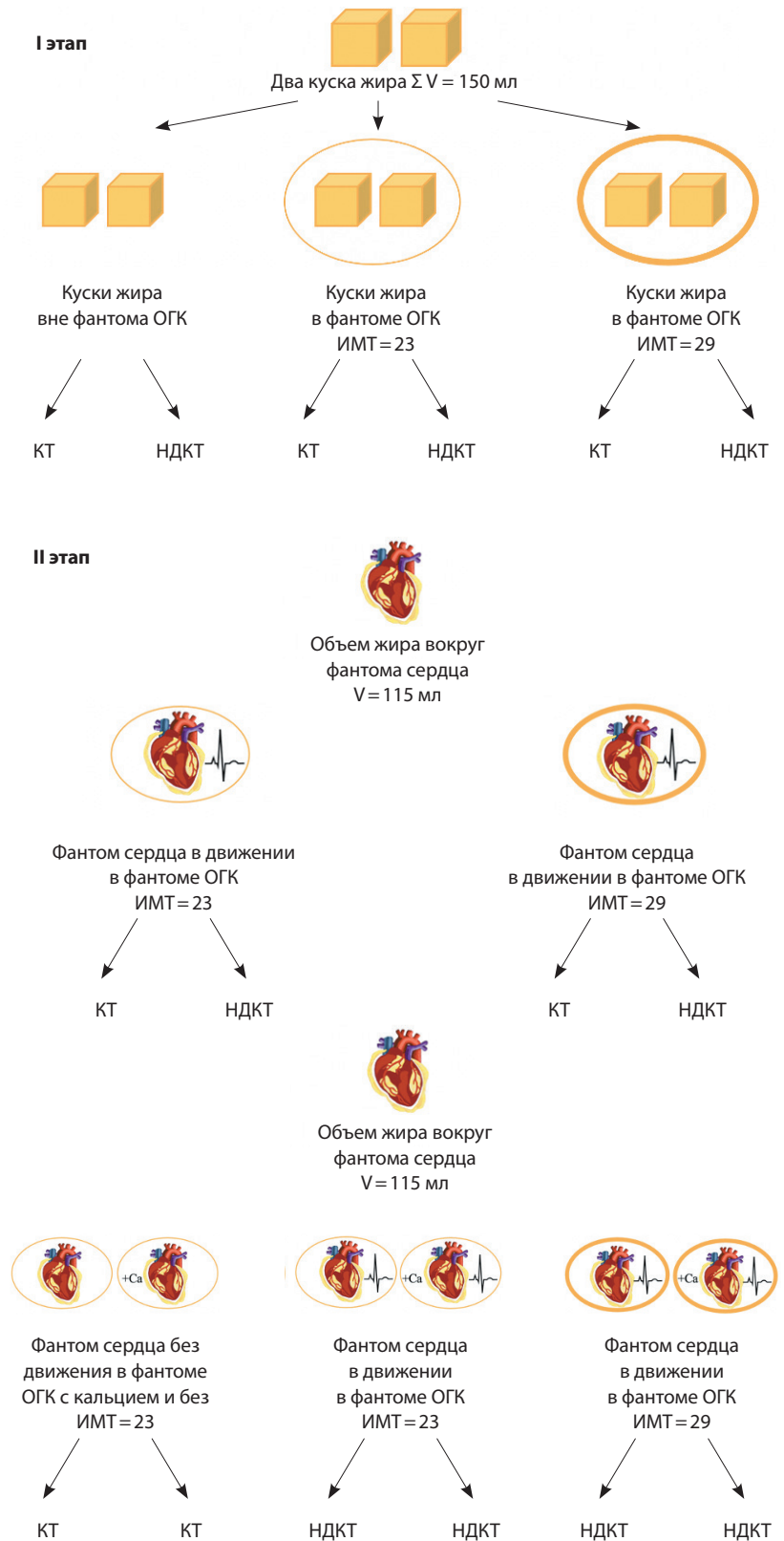


Рис. 1. Дизайн исследования; ИМТ – индекс массы тела, КТ – компьютерная томография, НДКТ – низкодозная компьютерная томография, ОГК – органы грудной клетки



Рис. 2. Фотография 2 кусков жировой ткани, помещенных в фантом органов грудной клетки Multipurpose Chest Phantom N1 "LUNGMAN"



Рис. 3. **А** – фотография фантома сердца, покрытого жировой тканью, в сравнении с размерами расположенного рядом свиного сердца; **Б** – фотография фантома сердца, покрытого жировой тканью и помещенного в фантом органов грудной клетки Multipurpose Chest Phantom N1 "LUNGMAN"



Рис. 4. Фотография фантома сердца, окруженного жировой тканью, с тремя катетерами с кальцием в просветах

и фантома органов грудной клетки Multipurpose Chest Phantom N1 "LUNGMAN" состояло из двух этапов (рис. 1). На первом этапе 2 куска жировой ткани были помещены в фантом органов грудной клетки (рис. 2). По протоколам КТ и НДКТ проведены сканирования органов грудной клетки. На втором этапе выполнено сканирование разработанного фантома сокращающегося сердца вне и внутри фантома органов грудной клетки Multipurpose Chest Phantom N1 "LUNGMAN" (рис. 3). Дополнительно были проведены сканирования с добавлением к фантому сердца фантома коронарных сосудов с имитацией коронарного кальция (рис. 4).

Критерии соответствия

К создаваемому фантому сокращающегося сердца с ЭЖТ были предъявлены следующие требования:

- фантом сердца может имитировать движения стенок сердца при сокращении;
- ударный объем эквивалентен нормальному ударному объему здорового взрослого человека в покое (55–90 мл);
- частота сокращений эквивалентна частоте сокращений сердца здорового взрослого человека (60–100 уд/мин);

- плотность жировой ткани вокруг фантома сердца по данным КТ органов грудной клетки сопоставима с плотностью реального жира вокруг сердца (от -190 до -30 HU) [15];
- жировая ткань вокруг фантома сердца имеет объем, эквивалентный нормальному значению ЭЖТ взрослого человека (~125 мл) [10];
- фантом сердца можно помещать в антропометрический фантом грудной клетки Multipurpose Chest Phantom N1 "LUNGMAN";
- фантом сердца является сборно-разборным, что способствует удобству корректировок различных параметров;
- фантом сердца не содержит высокоплотных структур, создающих артефакты на изображении;
- КТ-сканирование возможно проводить без присутствия человека непосредственно рядом с фантомом.

Условия проведения

Все этапы исследования проводились на базе ГБУЗ г. Москвы «Городская поликлиника № 62 ДЗМ». В этом амбулаторном центре, как и во всех медицинских организациях, где проводится проект скрининга рака легкого, установлен компьютерный томограф Toshiba Aquilion 64 (Canon, Япония) [16].



Продолжительность исследования

Фантом сокращающегося сердца разработан в течение 3 месяцев. Все сканирования фантома выполнены за один день.

Описание эксперимента

На первом этапе сканировали куски жира. Подготовка жира заключалась в выборе куска без дополнительных включений при возможности расчета объема с помощью измерительного цилиндра методом вытеснения объема воды. Таким образом, было необходимо подготовить куски жира так, чтобы они помещались в цилиндр полностью. Было подготовлено 2 куска жира, суммарный объем составил 150 мл.

Перед сканированиями проводили калибровку аппарата КТ на 120 и 135 кВ с полем обзора FOV LL, L, M, S, SS, разогрев трубки до 10%. Затем куски жира были просканированы внутри и вне фантома органов грудной клетки с индексом массы тела (ИМТ) 23 и 29 по протоколам КТ и НДКТ органов грудной клетки. Волюметрия по данным КТ органов грудной клетки проводилась в диапазоне плотностей от -190 до -30 НУ. Волюметрия по данным НДКТ проводилась в различных диапазонах: нижняя граница от -260 до -190 НУ с шагом 10 единиц, верхняя граница от -30 до +30 НУ с шагом 10 единиц.

НДКТ органов грудной клетки выполнена на компьютерном томографе Toshiba Aquilion 64 специально разработанным низкодозным протоколом для пациентов разных весовых категорий (до 69 кг, от 70 до 89 кг, более 90 кг): напряжение на трубке 135 кВ, сила тока на трубке 15 мА для ИМТ 23 и 25 мА для ИМТ 29, скорость ротации трубки 0,5 с, питч 1,484, толщина среза 1 мм. Все исследования были проведены с дозой лучевой нагрузки до 1 мЗв, шаг между срезами был равен 0,8 мм, фильтр FC07 [16].

КТ органов грудной клетки выполнена на компьютерном томографе Toshiba Aquilion 64 по стандартному протоколу от производителя: напряжение на трубке 120 кВ, автоматическая модуляция силы тока, скорость ротации трубки 0,5 с, питч 0,938, толщина среза 1,0 мм, шаг между срезами 0,8 мм, мягкотканый фильтр FC07.

На втором этапе осуществляли сканирование разработанного фантома сердца. Общий объем жира, окружающего фантом сердца, был предварительно подготовлен и измерен с помощью измерительного цилиндра. Суммарный объем составил 115 мл. Перед сканированиями выполняли калибровку аппарата КТ по воздуху. Затем фантом сердца был просканирован отдельно

и вместе с фантомом органов грудной клетки с ИМТ 23 и 29 по вышеописанным протоколам КТ и НДКТ органов грудной клетки.

Основной исход исследования

Были поставлены следующие задачи:

1) определить диапазон плотностей по шкале Хаунсфилда для жировой ткани по данным НДКТ органов грудной клетки;

2) оценить погрешность волюметрии ЭЖТ по данным КТ и НДКТ органов грудной клетки.

На первом этапе исследования требовалось определить границы диапазона плотностей по шкале Хаунсфилда для жировой ткани, при которых погрешность волюметрии жира является наименьшей относительно референсного значения 150 мл (золотой стандарт). При выборе порогового значения для сегментации жира оптимальным считался вариант с завышением показателя волюметрии для увеличения чувствительности теста ввиду планируемого использования метода в оппортунистическом скрининге пациентов с высоким риском ИБС.

На втором этапе во всех экспериментах оценивалась средняя погрешность волюметрии жировой ткани относительно референсного объема жировой ткани, покрывающей фантом сердца, равного 115 мл.

Дополнительные исходы исследования

Дополнительно оценивали влияние фантома коронарного кальция и уровня шума при разных протоколах КТ-сканирования на волюметрию жировой ткани, окружающей фантом сокращающегося сердца.

Анализ в подгруппах

Анализ волюметрии проводился при всех вариантах экспериментов как по данным КТ, так и по данным НДКТ, а также отдельно в экспериментах с фантомом стационарного и сокращающегося сердца по данным КТ и НДКТ. Оценка влияния кальция на волюметрию жировой ткани выполнена в подгруппе НДКТ в фантомах грудной клетки с ИМТ 23 и 29. Дополнительно оценивали уровень шума при всех вариантах экспериментов по данным КТ и НДКТ.

Методы регистрации исходов

Измерения объемов жировой ткани по данным КТ-исследований были проведены врачом-рентгенологом с 11-летним опытом работы с помощью рабочей станции Syngo.via VB20 (Siemens, Германия). Для повышения точности измерения

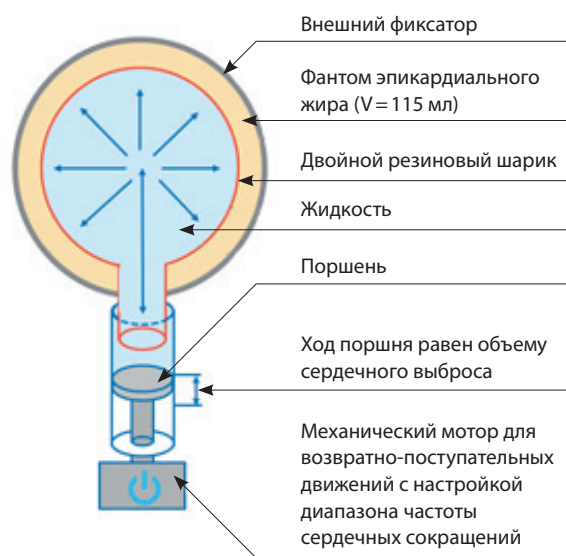


Рис. 5. Схема разработанного фантома сокращающегося сердца, покрытого жировой тканью

были проведены дважды при каждом КТ-исследовании (после первого раунда волюметрии все исследования в случайном порядке были продемонстрированы врачу повторно через 2 недели).

Этическая экспертиза

Данное фантомное исследование проведено без участия пациентов, вследствие чего заключения этического комитета не требовалось.

Статистический анализ

Данное фантомное исследование не требовало предварительного расчета размера выборки. Для обработки данных использован программный пакет Stata 14 (StataCorp, США). Проводилась оценка погрешности волюметрии жировой ткани относительно известных референсных объемов. Ввиду фантомной природы исследования для представления результатов использована описательная статистика. Погрешность волюметрии оценивалась как отклонение инструментально определенного объема жировой ткани от объема, изначально заложенного в фантом. С учетом двукратного повторения измерений рассчитывалось среднее значение погрешности со стандартным отклонением в процентах от референсного объема жировой ткани.

Результаты

Объекты исследования

В исследовании использовался разработанный фантом сокращающегося сердца. Фантом

не разделен на камеры и имитирует сокращение левого желудочка. Стенки полости выполнены из двух воздушных шариков, вставленных друг в друга. Стенки шарика присоединены к шприцу с поршнем. Поршень выполняет возвратно-поступательные движения с помощью механического мотора со скоростью 75 ударов в минуту. Изменение объема воды в шприце при возвратно-поступательном движении поршня составляет 60 мл, что соответствует ударному объему здорового взрослого человека в покое. Объем воды в полости шарика также равен 60 мл. Таким образом, система заполнена водой с диапазоном изменения объема от 60 до 120 мл, что соответствует конечно-диастолическому объему взрослого человека. Снаружи шарик покрыт полосками жировой ткани и зафиксирован сумкой, которая имитирует сумку перикарда. Схема фантома отражена на рис. 5.

Основные результаты исследования

По результатам первого этапа выявлено, что погрешность волюметрии вне фантома органов грудной клетки в диапазоне плотностей от -190 до -30 НУ как по данным КТ, так и по данным НДКТ не превышает 1%. При помещении кусков жира в фантом органов грудной клетки погрешность измерений по данным КТ, и НДКТ не превышала 5%. При этом наименьшая погрешность измерения выявлена в диапазоне плотностей от -250 до -30 НУ. Данные измерений приведены в табл. 1.

По результатам второго этапа установлено: при всех вариантах экспериментов с фантомом сердца средняя погрешность волюметрии жировой ткани не превышает 5%, кроме случая сканирования фантома сокращающегося сердца с фантомом коронарного кальция по протоколу КТ в фантоме органов грудной клетки с ИМТ 29 (-5,92%). Погрешности волюметрии ЭЖТ по данным КТ (ИМТ 23) в экспериментах со стационарным и сокращающимся сердцем равны по модулю, но различаются по знаку (3,89% для сердца без движения и -3,89% для сокращающегося сердца).

Сводные данные обобщены в табл. 2. Данные КТ и НДКТ для разных экспериментов с сокращающимся фантомом сердца отображены на рис. 6.

При сопоставлении погрешностей волюметрии жира в экспериментах с фантомом сокращающегося сердца наиболее точной оказалась волюметрия в эксперименте по протоколу НДКТ с ИМТ 23 с незначительной переоценкой объема (на 0,35%).

**Таблица 1.** Оценка погрешности волюметрии жировой ткани по данным компьютерной томографии и низкодозной компьютерной томографии относительно известного референсного значения объема (150 мл)

Модальность	Нижний порог плотности, HU	Верхний порог плотности, HU	Погрешность измерения, %
Вне фантома			
КТ	-190	-30	0,78
НДКТ	-190	-30	0,31
Внутри фантома, ИМТ 23			
Изменение верхнего порога			
КТ	-190	-30	0,67
НДКТ	-190	-40	-0,61
НДКТ	-190	-30	0,09
НДКТ	-190	-20	0,17
НДКТ	-190	-10	0,20
НДКТ	-190	0	0,26
НДКТ	-190	10	0,28
НДКТ	-190	20	0,30
НДКТ	-190	30	0,30
Изменение нижнего порога			
НДКТ	-260	-30	2,81
НДКТ	-250	-30	2,43
НДКТ	-240	-30	2,07
НДКТ	-230	-30	1,66
НДКТ	-220	-30	1,25
НДКТ	-210	-30	0,83
НДКТ	-200	-30	0,37
НДКТ	-190	-30	0,16
НДКТ	-180	-30	-0,71
НДКТ	-170	-30	-0,59
Внутри фантома, ИМТ 29			
Изменение верхнего порога			
КТ	-190	-30	-0,29
НДКТ	-190	-40	-4,32
НДКТ	-190	-30	-2,97
НДКТ	-190	-20	-2,12
НДКТ	-190	-10	-1,64
НДКТ	-190	0	-1,38
НДКТ	-190	10	-1,24
НДКТ	-190	20	-1,17
НДКТ	-190	30	-0,89
Изменение нижнего порога			
НДКТ	-260	-30	1,36
НДКТ	-250	-30	0,09
НДКТ	-240	-30	-0,27
НДКТ	-230	-30	-0,68
НДКТ	-220	-30	-1,16
НДКТ	-210	-30	-1,67
НДКТ	-200	-30	-2,25
НДКТ	-190	-30	-2,97
НДКТ	-180	-30	-0,85
НДКТ	-170	-30	-1,23

HU (англ. Hounsfield units) – единицы Хаунсфилда, ИМТ – индекс массы тела, КТ – компьютерная томография, НДКТ – низкодозная компьютерная томография

При сравнении погрешности волюметрии ЭЖТ при сокращающемся сердце между протоколами КТ и НДКТ с ИМТ 23 отмечается переоценка объема по данным НДКТ (-3,89% для КТ и 0,35% для НДКТ). При аналогичном сопоставлении между данными при ИМТ 29 выявлена недооценка объемов в обоих случаях, однако

волюметрия по данным НДКТ была точнее, чем по данным КТ (-5,92% для КТ и -0,81% для НДКТ).

Дополнительные результаты исследования

При оценке влияния кальция на волюметрию жировой ткани, окружающей сокращающееся сердце, по данным НДКТ отмечается увеличение погрешности как в эксперименте с фантомом с ИМТ 23, так и с фантомом с ИМТ 29 в среднем на 4,1%. Данные НДКТ с фантомом сокращающегося сердца и добавленным фантомом коронарного кальция представлены на рис. 7.

Уровень шума, то есть стандартное отклонение (англ. standard deviation, SD) значений пикселей на полученных изображениях, для жира в фантоме по данным НДКТ был в 2,53 раза выше, чем по данным КТ (23,3 и 9,2 HU соответственно). Для воды в фантоме среднее значение SD составило 10,2 HU при КТ и 31,8 HU при НДКТ, что соответствует разнице в 3,11 раза. Увеличение уровня шума при использовании НДКТ коррелирует с уменьшением показателя «сигнал – шум» за счет второй компоненты.

Обсуждение

По данным проведенного фантомного исследования доказана возможность использования протокола НДКТ для волюметрии ЭЖТ с обязательной корректировкой пороговых значений плотности жира. Оптимальными границами плотности жировой ткани по данным НДКТ органов грудной клетки следует признать границы от -250 до -30 HU. Погрешность волюметрии фантома эпикардального жира с фантомом сокращающегося сердца по данным НДКТ органов грудной клетки для скрининга рака легкого не превышает 5%.

Обсуждение основных результатов исследования. Количественные показатели ЭЖТ зависят от пороговых значений плотности, используемых для определения жировой ткани. Ранее установленные пороговые значения варьируются от -250 до -190 HU для нижнего предела и от -50 до -30 HU для верхнего предела плотности [4, 17–20]. Границы плотности от -190 до -30 HU для оценки жировой ткани по данным стандартной КТ приняты в качестве референсных значений и наиболее часто используются в исследованиях [21, 22]. В нашем исследовании волюметрия кусков жира по данным КТ органов грудной клетки в указанных границах плотности также продемонстрировала низкую погрешность измерения (менее 1%). Однако для данных НДКТ с такими

**Таблица 2.** Сводная таблица экспериментов II этапа исследования с определением средних значений погрешностей волюметрии

Протокол	Фантом сердца в движении	Добавление фантома коронарного кальция к фантому сердца	Нижний порог плотности, HU	Верхний порог плотности, HU	ИМТ	Среднее значение погрешности, % (Mean ± σ)	Среднее значение SD жировой ткани, HU	Среднее значение SD воды, HU
КТ	Нет	Нет	-190	-30	23	3,89 ± 3,84	9	10
	Да	Нет	-190	-30	23	-3,89 ± 6,8	10	10
	Нет	Да	-190	-30	23	2,34 ± 2,88	9	11
	Да	Да	-190	-30	29	-5,92 ± 2,66	10	10
	Нет	Да	-190	-30	29	4,68 ± 3,53	8	10
НДКТ	Да	Нет	-250	-30	23	0,35 ± 3,6	20	23
	Да	Да	-250	-30	23	-1,31 ± 4,17	21	21
	Да	Да	-250	-30	23	-4,38 ± 3,28	25	27
	Да	Нет	-250	-30	29	-0,81 ± 1,64	32	41
	Да	Да	-250	-30	29	-4,29 ± 4,99	42	47

HU (англ. Hounsfield units) – единицы Хаунсфилда; SD (англ. standard deviation) – уровень шума, то есть стандартное отклонение значений пикселей на КТ-изображении; σ – среднеквадратическое отклонение, рассчитанное в ходе повторения измерений; ИМТ – индекс массы тела, КТ – компьютерная томография, НДКТ – низкодозная компьютерная томография

же диапазонами плотностей погрешность измерения увеличилась до 5%, что указывает на необходимость корректировки границ для исследований НДКТ в скрининге рака легкого. Наименьшая погрешность волюметрии жировой ткани зафиксирована в границах плотности от -250 до -30 HU (до 0,2%). В работе М. Magwan и соавт. доказано, что для предотвращения завышения объема ЭЖТ по данным НДКТ следует снижать верхний порог до -40 HU [23]. Отметим: в вышеуказанном исследовании использовали протокол с напряжением на трубке, сниженным до 100 кВ, тогда как мы проводили НДКТ с повышением напряжения на трубке до 135 кВ. Преимущество нашего исследования заключается в том, что измеряемый объем жировой ткани был заранее известен, что позволило использовать его в качестве золотого стандарта.

Ранее уже проводились исследования с применением фантомов сердца [24, 25]. Однако они были направлены на оценку целесообразности использования низкодозных протоколов для визуализации коронарных артерий по данным КТ [24], изучение дозы облучения, качества изображения, точности измерения стеноза и денситометрии по данным КТ с ЭКГ-синхронизацией [25], а также на исследование артефактов от

металлических конструкций [26]. Мы не нашли фантомные исследования, посвященные оценке плотности и волюметрии ЭЖТ как по данным КТ, так и НДКТ органов грудной клетки. В г. Москве все исследования НДКТ в рамках скрининга рака легкого проводятся с дозой лучевой нагрузки менее 1 мЗв, что соответствует критериям для профилактических рентгеновских исследований взрослого населения на территории Российской Федерации (СанПиН 2.6.1.1192–03), а также рекомендациям Европейского общества по скринингу рака легкого (2020 г.) [27]. Из-за порогового значения дозы лучевой нагрузки данные НДКТ имеют больший уровень шума, чем стандартные изображения КТ, что диктует необходимость изменения принятых пороговых значений плотности жировой ткани для корректной волюметрии. Кроме того, следует учитывать, что НДКТ-исследования выполняются без ЭКГ-синхронизации, вследствие чего в области структур средостения могут визуализироваться двигательные артефакты. По результатам нашего исследования, несмотря на увеличение уровня шума, доказана возможность волюметрии ЭЖТ по данным НДКТ с погрешностью менее 5% при условии использования пороговой плотности от -250 до -30 HU. Для сравнения, средняя погрешность волюметрии в фантомном

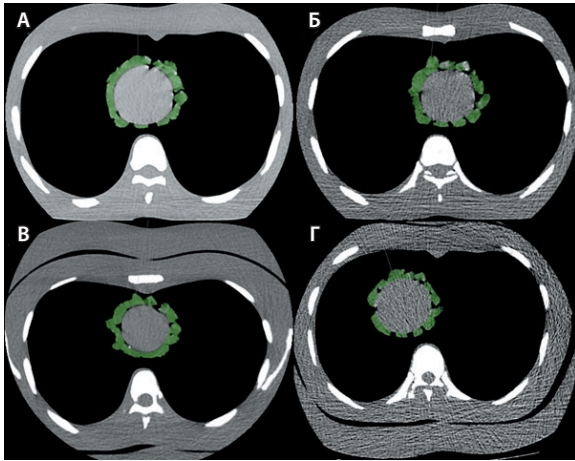


Рис. 6. Аксиальные срезы фантома органов грудной клетки с сокращающимся сердцем по протоколам компьютерной томографии (КТ) и низкодозной КТ (НДКТ). Зеленым цветом выделена жировая ткань, покрывающая сердце. **А** – КТ сокращающегося сердца в фантоме органов грудной клетки с индексом массы тела (ИМТ) 23; **Б** – НДКТ сокращающегося сердца в фантоме органов грудной клетки с ИМТ 23; **В** – КТ сокращающегося сердца в фантоме органов грудной клетки с ИМТ 29; **Г** – НДКТ сокращающегося сердца в фантоме органов грудной клетки с ИМТ 29

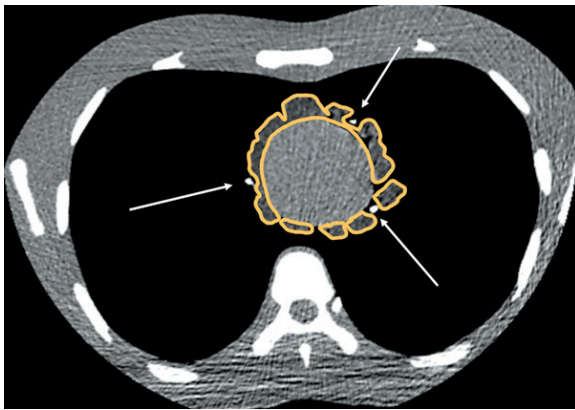


Рис. 7. Аксиальный срез низкодозной компьютерной томографии (НДКТ) фантома органов грудной клетки с сокращающимся сердцем с жировой тканью и кальцием. Внутри желтых контуров обозначен фантом эпикардиальной жировой ткани, белыми стрелками указаны фантомы коронарных сосудов с имитацией коронарного кальция

исследовании по измерению легочных узлов при использовании протокола сканирования с эффективной дозой менее 1 мЗв не превышала 10% [28]. В другой работе при применении КТ для оценки коронарного кальция погрешность волюметрии ЭЖТ с использованием разработанной программы автоматической компьютерной диагностики по сравнению с ручной сегментацией

составила до 6% [29]. Таким образом, полученная в результате настоящего исследования погрешность волюметрии ЭЖТ при НДКТ соответствует данным литературы и не служит препятствием к проведению проспективной валидации.

Особый интерес представляет оценка объема ЭЖТ по данным КТ-коронарографии, поскольку данный метод рекомендован для выявления стеноза коронарных артерий у пациентов с низким и промежуточным риском атеросклероза коронарных артерий [30]. По данным КТ-коронарографии было отмечено, что на количественные показатели ЭЖТ влияют различные технические параметры, в том числе использование контрастного усиления, фаза сердечного цикла, а также использование алгоритмов итеративной реконструкции [31, 32]. По данным постконтрастной фазы, на изменение плотности жировой ткани вокруг просвета сосуда могут влиять два возможных механизма: эффекты частичного объема и интерполяция (сглаживание) изображений, а также кровоснабжение окружающих жировых тканей коронарными артериями. Частичные объемные эффекты и интерполяция изображений влияют прежде всего на жировую ткань, непосредственно окружающую сосуды, и проявляются снижением ее плотности.

Ограничения исследования

Данное исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, все этапы проведены на фантомах. Разработанный фантом сердца невозможно разделить на камеры (он имитирует левый желудочек), также отсутствует возможность имитации всех структур сердца (мышечная стенка сердца, клапаны). В организме человека ЭЖТ имеет более сложную форму, что может повлиять на точность волюметрии. Во-вторых, все измерения объемов проводились полуавтоматически одним исследователем. Однако каждое исследование было измерено дважды, поэтому значительного влияния ручного измерения на полученные результаты не ожидается.

Заключение

По результатам исследования с фантомом сокращающегося сердца, покрытого жировой тканью, и фантомом органов грудной клетки доказана возможность использования протокола НДКТ для волюметрии ЭЖТ в скрининге рака легкого, в том числе у пациентов с наличием коронарного кальция, при установке порога плотности жира от -250 до -30 HU. Полученные результаты позволяют оценивать объем ЭЖТ по данным НДКТ,



проводимой в рамках проекта по скринингу рака легкого в г. Москве. Принимая во внимание фантомный дизайн, представляется необходимым проведение дальнейших исследований с участием

пациентов, с учетом корреляции объемов ЭЖТ между данными НДКТ органов грудной клетки и КТ-коронарографии. Работа в этом направлении будет продолжена. ☺

Дополнительная информация

Финансирование

Работа проведена без привлечения дополнительного финансирования со стороны третьих лиц.

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Участие авторов

В.Ю. Чернина – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, анализ полученных данных, статистическая обработка данных, написание текста; Н.С. Кульберг – дизайн и разработка экспериментальной части исследования, анализ результатов, написание текста; О.О. Алешина – анализ и интерпретация результатов исследования, написание текста; Т.А. Корб – анализ клинико-экспериментальных результатов исследования, написание текста, редактирование рукописи; И.А. Блохин – написание текста, редактирование рукописи; С.П. Морозов – концепция и дизайн статьи, утверждение

итогового варианта текста рукописи; В.А. Гомболевский – концепция и дизайн статьи, редактирование текста, утверждение итогового варианта текста рукописи. Все авторы прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией, согласны нести ответственность за все аспекты работы и гарантируют, что ими надлежащим образом были рассмотрены и решены вопросы, связанные с точностью и добросовестностью всех частей работы.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении экспериментов: Е.В. Паниной, зав. отделом развития лабораторного дела в лучевой диагностике ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», председателю секции развития среднего медицинского персонала МРО РОПР, заместителю председателя Союза медицинских сестер; М.Р. Мангурсузяну – врачу-рентгенологу, зав. отделением лучевой диагностики ГБУЗ «ГП № 62 ДЗМ»; Е.А. Филиной – аналитику отдела развития лабораторного дела в лучевой диагностике ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», рентгенолаборанту ГБУЗ «ГП № 62 ДЗМ».

Литература / References

- Cherian S, Lопасчук GD, Carvalho E. Cellular cross-talk between epicardial adipose tissue and myocardium in relation to the pathogenesis of cardiovascular disease. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2012;303(8):E937–E949. doi: 10.1152/ajpendo.00061.2012.
- Karmazyn M, Purdham DM, Rajapurohitam V, Zeidan A. Signalling mechanisms underlying the metabolic and other effects of adipokines on the heart. *Cardiovasc Res.* 2008;79(2):279–286. doi: 10.1093/cvr/cvn115.
- Patel VB, Shah S, Verma S, Oudit GY. Epicardial adipose tissue as a metabolic transducer: role in heart failure and coronary artery disease. *Heart Fail Rev.* 2017;22(6):889–902. doi: 10.1007/s10741-017-9644-1.
- Dey D, Wong ND, Tamarappoo B, Nakazato R, Gransar H, Cheng VY, Ramesh A, Kakadiaris I, Germano G, Slomka PJ, Berman DS. Computer-aided non-contrast CT-based quantification of pericardial and thoracic fat and their associations with coronary calcium and metabolic syndrome. *Atherosclerosis.* 2010;209(1):136–141. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2009.08.032.
- Nakanishi R, Rajani R, Cheng VY, Gransar H, Nakazato R, Shmilovich H, Otaki Y, Hayes SW, Thomson LE, Friedman JD, Slomka PJ, Berman DS, Dey D. Increase in epicardial fat volume is associated with greater coronary artery calcification progression in subjects at intermediate risk by coronary calcium score: a serial study using non-contrast cardiac CT. *Atherosclerosis.* 2011;218(2):363–368. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2011.07.093.
- Tamarappoo B, Dey D, Shmilovich H, Nakazato R, Gransar H, Cheng VY, Friedman JD, Hayes SW, Thomson LE, Slomka PJ, Rozanski A, Berman DS. Increased pericardial fat volume measured from noncontrast CT predicts myocardial ischemia by SPECT. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2010;3(11):1104–1112. doi: 10.1016/j.jcmg.2010.07.014.
- Janik M, Hartlage G, Alexopoulos N, Mirzoyev Z, McLean DS, Arepalli CD, Chen Z, Stillman AE, Raggi P. Epicardial adipose tissue volume and coronary artery calcium to predict myocardial ischemia on positron emission tomography-computed tomography studies. *J Nucl Cardiol.* 2010;17(5):841–847. doi: 10.1007/s12350-010-9235-1.
- Wong CX, Abed HS, Molaee P, Nelson AJ, Brooks AG, Sharma G, Leong DP, Lau DH, Middeldorp ME, Roberts-Thomson KC, Wittert GA, Abhayaratna WP, Worthley SG, Sanders P. Pericardial fat is associated with atrial fibrillation severity and ablation outcome. *J Am Coll Cardiol.* 2011;57(17):1745–1751. doi: 10.1016/j.jacc.2010.11.045.
- Cheng VY, Dey D, Tamarappoo B, Nakazato R, Gransar H, Miranda-Peats R, Ramesh A, Wong ND, Shaw LJ, Slomka PJ, Berman DS. Pericardial fat burden on ECG-gated noncontrast CT in asymptomatic patients who subsequently experience adverse cardiovascular events. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2010;3(4):352–360. doi: 10.1016/j.jcmg.2009.12.013.
- Spearman JV, Renker M, Schoepf UJ, Krazinski AW, Herbert TL, De Cecco CN, Nietert PJ, Meinel FG. Prognostic value of epicardial fat volume measurements by computed tomography: a systematic review of the literature. *Eur Radiol.* 2015;25(11):3372–3381. doi: 10.1007/s00330-015-3765-5.
- Чернина ВЮ, Морозов СП, Низовцова ЛА, Блохин ИА, Ситдииков ДИ, Гомболевский ВА. Роль количественной оценки висцеральной жировой ткани сердца как предиктора развития сердечно-сосудистых событий. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2019;100(6):387–394. doi: 10.20862/0042-4676-2019-100-6-387-394. [Chernina VYu, Morozov SP, Nizovtsova LA, Blokhin IA, Sitdikov DI, Gombolevskiy VA. [The Role of Quantitative Assessment of Visceral Adipose Tissue of the Heart as a Predictor for Cardiovascular Events]. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine.* 2019;100(6):387–394. Russian. doi: 10.20862/0042-4676-2019-100-6-387-394.]
- Kim BJ, Kang JG, Lee SH, Lee JY, Sung KC, Kim BS, Kang JH. Relationship of Echocardiographic Epicardial Fat Thickness and Epicardial Fat Volume by Computed Tomography



- with Coronary Artery Calcification: Data from the CAESAR Study. *Arch Med Res.* 2017;48(4): 352–359. doi: 10.1016/j.arcmed.2017.06.010.
13. Чернина ВЮ, Писов МЕ, Беляев МГ, Бекк ИВ, Замятина КА, Корб ТА, Алешина ОО, Щукина ЕА, Соловьев АВ, Скворцов РА, Филатова ДА, Ситдииков ДИ, Чеснокова АО, Морозов СП, Гомболевский ВА. Волюметрия эпикардальной жировой ткани: сравнение полуавтоматического измерения и алгоритма машинного обучения. *Кардиология.* 2020;60(9):46–54. doi: 10.18087/cardio.2020.9.n1111. [Chernina VY, Pisov ME, Belyaev MG, Bekk IV, Zamyatina KA, Korb TA, Aleshina OO, Shukina EA, Solovlev AV, Skvortsov RA, Filatova DA, Sitdikov DI, Chesnokova AO, Morozov SP, Gombolevsky VA. [Epicardial Fat Tissue Volumetry: Comparison of Semi-Automatic Measurement and the Machine Learning Algorithm]. *Kardiologiya [Cardiology].* 2020;60(9):46–54. Russian. doi: 10.18087/cardio.2020.9.n1111.]
14. Морозов СП, Кузьмина ЕС, Ветшева НН, Гомболевский ВА, Лантух ЗА, Полищук НС, Лайпан АШ, Ермолаев СО, Панина ЕВ, Блохин ИА. Московский скрининг: скрининг рака легкого с помощью низкодозовой компьютерной томографии. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины.* 2019;27(5):630–636. doi: 10.32687/0869-866X-2019-27-si1-630-636. [Morozov SP, Kuzmina ES, Vetsheva NN, Gombolevskiy VA, Lantukh ZA, Polishuk NS, Lai-pan AS, Ermolaev SO, Panina EV, Blokhin IA. [Moscow Screening: Lung Cancer Screening With Low-Dose Computed Tomography]. *Probl Sotsialnoi Gig Zdravookhraneniia Istor Med.* 2019;27(Special Issue):630–636. Russian. doi: 10.32687/0869-866X-2019-27-si1-630-636.]
15. Goeller M, Achenbach S, Marwan M, Doris MK, Cadet S, Commandeur F, Chen X, Slomka PJ, Gransar H, Cao JJ, Wong ND, Albrecht MH, Rozanski A, Tamarappoo BK, Berman DS, Dey D. Epicardial adipose tissue density and volume are related to subclinical atherosclerosis, inflammation and major adverse cardiac events in asymptomatic subjects. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2018;12(1):67–73. doi: 10.1016/j.jcct.2017.11.007.
16. Гомболевский ВА, Блохин ИА, Лайпан АШ, Ермолаев СО, Панина ЕВ, Чернина ВЮ, Николаев АЕ, Морозов СП. Методические рекомендации по скринингу рака легкого. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 56. М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»; 2020. 53 с. [Gombolevskiy VA, Blokhin IA, Laypan AS, Ermolaev SO, Panina EV, Chernina VYu, Nikolaev AE, Morozov SP. [Methodical recommendations for lung cancer screening]. *Seriya "Luchshie praktiki luchevoy i instrumen-tal'noy diagnostiki"* [Best Practices in Imaging Series]. Issue 56. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; 2020. 53 p. Russian.]
17. Mahabadi AA, Massaro JM, Rosito GA, Levy D, Murabito JM, Wolf PA, O'Donnell CJ, Fox CS, Hoffmann U. Association of pericardial fat, intrathoracic fat, and visceral abdominal fat with cardiovascular disease burden: the Framingham Heart Study. *Eur Heart J.* 2009;30(7): 850–856. doi: 10.1093/eurheartj/ehn573.
18. Thanassoulis G, Massaro JM, Hoffmann U, Mahabadi AA, Vasan RS, O'Donnell CJ, Fox CS. Prevalence, distribution, and risk factor correlates of high pericardial and intrathoracic fat depots in the Framingham heart study. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2010;3(5):559–566. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.110.956706.
19. Alexopoulos N, McLean DS, Janik M, Arepalli CD, Stillman AE, Raggi P. Epicardial adipose tissue and coronary artery plaque characteristics. *Atherosclerosis.* 2010;210(1):150–154. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2009.11.020.
20. Ueno K, Anzai T, Jinzaki M, Yamada M, Jo Y, Maekawa Y, Kawamura A, Yoshikawa T, Tanami Y, Sato K, Kuribayashi S, Ogawa S. Increased epicardial fat volume quantified by 64-multidetector computed tomography is associated with coronary atherosclerosis and totally occlusive lesions. *Circ J.* 2009;73(10): 1927–1933. doi: 10.1253/circj.cj-09-0266.
21. Yoshizumi T, Nakamura T, Yamane M, Islam AH, Menju M, Yamasaki K, Arai T, Kotani K, Funahashi T, Yamashita S, Matsuzawa Y. Abdominal fat: standardized technique for measurement at CT. *Radiology.* 1999;211(1):283–286. doi: 10.1148/radiology.211.1.r99ap15283.
22. Ding J, Hsu FC, Harris TB, Liu Y, Kritchevsky SB, Szklo M, Ouyang P, Espeland MA, Lohman KK, Criqui MH, Allison M, Blumke DA, Carr JJ. The association of pericardial fat with incident coronary heart disease: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Am J Clin Nutr.* 2009;90(3):499–504. doi: 10.3945/ajcn.2008.27358.
23. Marwan M, Koenig S, Schreiber K, Ammon F, Goeller M, Bittner D, Achenbach S, Hell MM. Quantification of epicardial adipose tissue by cardiac CT: Influence of acquisition parameters and contrast enhancement. *Eur J Radiol.* 2019;121:108732. doi: 10.1016/j.ejrad.2019.108732.
24. Fei X, Du X, Li P, Liao J, Shen Y, Li K. Effect of dose-reduced scan protocols on cardiac coronary image quality with 64-row MDCT: a cardiac phantom study. *Eur J Radiol.* 2008;67(1): 85–91. doi: 10.1016/j.ejrad.2007.07.008.
25. Horiguchi J, Kiguchi M, Fujioka C, Shen Y, Arie R, Sunasaka K, Ito K. Radiation dose, image quality, stenosis measurement, and CT densitometry using ECG-triggered coronary 64-MDCT angiography: a phantom study. *AJR Am J Roentgenol.* 2008;190(2):315–320. doi: 10.2214/AJR.07.2191.
26. Groves DW, Acharya T, Steveson C, Schuzer JL, Rollison SF, Nelson EA, Sirajuddin A, Sathya B, Bronson K, Shanbhag SM, Chen MY. Performance of single-energy metal artifact reduction in cardiac computed tomography: A clinical and phantom study. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2020;14(6):510–515. doi: 10.1016/j.jcct.2020.04.005.
27. Kauczor HU, Baird AM, Blum TG, Bonomo L, Bostantzoglou C, Burghuber O, Čepická B, Comanescu A, Couraud S, Devaraj A, Jespersen V, Morozov S, Agmon IN, Peled N, Powell P, Prosch H, Ravara S, Rawlinson J, Revel MP, Silva M, Snoeckx A, van Ginneken B, van Meerbeeck JP, Vardavas C, von Stackelberg O, Gaga M; European Society of Radiology (ESR) and the European Respiratory Society (ERS). ESR/ERS statement paper on lung cancer screening. *Eur Radiol.* 2020;30(6):3277–3294. doi: 10.1007/s00330-020-06727-7.
28. Wielpütz MO, Lederlin M, Wroblewski J, Dinkel J, Eichinger M, Biederer J, Kauczor HU, Puderbach M. CT volumetry of artificial pulmonary nodules using an ex vivo lung phantom: influence of exposure parameters and iterative reconstruction on reproducibility. *Eur J Radiol.* 2013;82(9):1577–1583. doi: 10.1016/j.ejrad.2013.04.035.
29. Dey D, Suzuki Y, Suzuki S, Ohba M, Slomka PJ, Polk D, Shaw LJ, Berman DS. Automated quantitation of pericardiac fat from noncontrast CT. *Invest Radiol.* 2008;43(2):145–153. doi: 10.1097/RLI.0b013e31815a054a.
30. Marano R, Rovere G, Savino G, Flammia FC, Carafa MRP, Steri L, Merlino B, Natale L. CCTA in the diagnosis of coronary artery disease. *Radiol Med.* 2020;125(11):1102–1113. doi: 10.1007/s11547-020-01283-y.
31. Oda S, Utsunomiya D, Funama Y, Yuki H, Kidoh M, Nakaura T, Takaoka H, Matsumura M, Katahira K, Noda K, Oshima S, Tokuyasu S, Yamashita Y. Effect of iterative reconstruction on variability and reproducibility of epicardial fat volume quantification by cardiac CT. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2016;10(2):150–155. doi: 10.1016/j.jcct.2015.10.006.
32. Bucher AM, Joseph Schoepf U, Krazinski AW, Silverman J, Spearman JV, De Cecco CN, Meinel FG, Vogl TJ, Geyer LL. Influence of technical parameters on epicardial fat volume quantification at cardiac CT. *Eur J Radiol.* 2015;84(6): 1062–1067. doi: 10.1016/j.ejrad.2015.03.018.



Cardiac visceral fat volume estimation from low-dose chest computed tomography: a study with a designed beating heart phantom

V.Yu. Chernina¹ • N.S. Kulberg¹ • O.O. Aleshina¹ • T.A. Korb¹ • I.A. Blokhin¹ • S.P. Morozov¹ • V.A. Gombolevskiy¹

Background: Since 2017, a pilot project for lung cancer screening by chest low dose computed tomography (LDCT) has been implemented in Moscow. Patients to be included into the screening have risk factors for ischemic heart disease (IHD). The association between epicardial adipose tissue (EAT) volume and coronary artery atherosclerosis, IHD, and atrial fibrillation has been demonstrated previously.

Aim: To demonstrate the feasibility of LDCT-based EAT volumetry using a dynamic (contracting) heart phantom.

Materials and methods: The study was performed with the designed dynamic heart phantom and chest phantom in two stages. At stage I, two adipose tissue pieces were scanned inside and outside the chest phantom using CT and LDCT. At stage II, the dynamic heart phantom was scanned outside and inside the chest phantom. In addition, we scanned the heart phantom with a coronary calcium phantom. The contracting heart phantom was developed within three months. All scans of the phantom were performed within one day. We determined the adipose tissue thresholds in LDCT and the EAT volumetric error with both chest CT and LDCT. Measurements of the adipose tissue volumes were performed by the radiologist twice with semi-automatic software.

Results: The results of stage I helped to identify optimal density thresholds for LDCT-based adipose tissue volumetry in lung cancer screening, ranging from -250 HU to -30 HU. The stage II results

showed that for all heart phantom scanning variants, the average EAT volumetry error did not exceed 5%, except for the case of contracting heart phantom with added coronary calcium in a chest phantom with body mass index (BMI) 29 (-5.92%). Adding the coronary calcium phantom to the heart phantom in LDCT increased the error by an average of 4% in BMI 23 and BMI 29 chest phantoms.

Conclusion: LDCT-based EAT volumetry with fat density threshold from -250 HU to -30 HU is feasible in lung cancer screening, including patients with coronary calcium. However, considering the phantom design, further patient studies, and correlation of EAT volumes between LDCT for lung cancer screening and coronary CT angiography are required.

Key words: epicardial adipose tissue, volumetry, computed tomography, low dose computed tomography

For citation: Chernina VYu, Kulberg NS, Aleshina OO, Korb TA, Blokhin IA, Morozov SP, Gombolevskiy VA. Cardiac visceral fat volume estimation from low-dose chest computed tomography: a study with a designed beating heart phantom. *Almanac of Clinical Medicine*. 2021;49(1):61–71. doi: 10.18786/2072-0505-2021-49-006.

Received 11 December 2020; revised 1 February 2021; accepted 8 February 2021; published online 2 March 2021

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Authors' contributions

V.Yu. Chernina, the study concept and design, data collection and management, analysis of the results, statistical analysis, text writing; N.S. Kulberg, design and project of experimental part of the study, analysis of the results, text writing; O.O. Aleshina, analysis and interpretation of the study results, text writing; T.A. Korb, analysis of the clinical and experimental results of the study, text writing and editing; I.A. Blokhin, text writing and editing; S.P. Morozov, concept and design of the paper, approval of the final version of the manuscript; V.A. Gombolevskiy, concept and design of the paper, text editing, approval of the final version of the manuscript. All the authors have read and approved the final version of the manuscript before submission, agreed to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge E.V. Panina, Head of Department of the Laboratory Developments in Radiology Diagnostics, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department, Chairman of the Nursing Section of the Russian Association of Nurses, Deputy Chairman of the Union of Nurses; M.R. Mangursuzyan, Radiologist, Head of Department of Radiology Diagnostics, Municipal Polyclinic No. 62, Moscow Healthcare Department; E.A. Filina, Analyst, Department of the Laboratory Developments in Radiology Diagnostics, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department, Radiology Technician of Municipal Polyclinic No. 62, Moscow Healthcare Department.

Valeria Yu. Chernina – MD, Head of Radiology Research Sector¹; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0302-293X>

✉ 24–1 Petrovka ul., Moscow, 127051, Russian Federation. Tel.: +7 (964) 636 99 92. E-mail: chernina909@gmail.com

Nikolay S. Kulberg – PhD (in Phys. and Math.), Head of Medical Imaging Department¹; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7046-7157>.

E-mail: kulberg@npcmr.ru

Olga O. Aleshina – MD, Junior Research Fellow, Radiology Research Sector¹; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9924-0204>.

E-mail: olya.aleshina.tula@gmail.com

Tatiana A. Korb – Junior Research Fellow, Radiology Research Sector¹; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9291-1466>. E-mail: t-anya@list.ru

Ivan A. Blokhin – MD, Junior Research Fellow, Radiology Research Sector¹; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2681-9378>.

E-mail: i.blokhin@npcmr.ru

Sergey P. Morozov – MD, PhD, Professor, Director¹; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6545-6170>. E-mail: morozov@npcmr.ru

Victor A. Gombolevskiy – MD, PhD, Head of Medical Research Department¹; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1816-1315>. E-mail: g_victor@mail.ru

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department; 24–1 Petrovka ul., Moscow, 127051, Russian Federation