



УДК 616.1

DOI 10.17802/2306-1278-2021-10-4-6-16

РАДИОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕКСТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭПИКАРДИАЛЬНОЙ ЖИРОВОЙ ТКАНИ ПРИ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКОМ ПОРАЖЕНИИ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ

Е.В. Попов, Ж.Ж. Анашбаев, А.Н. Мальцева, С.И. Сазонова

Научно-исследовательский институт кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», ул. Киевская, 111а, Томск, Российская Федерация, 634012

Основные положения

• Радиомика – перспективный метод получения количественных данных из диагностических изображений. Информация об изменениях эпикардиальной жировой ткани при атеросклеротическом поражении коронарных артерий может служить ранним диагностическим критерием ишемической болезни сердца. Подобных исследований с использованием радиомики ранее не проводилось.

Цель

Исследовать ассоциацию радиомических характеристик эпикардиальной жировой ткани (ЭЖТ) на бесконтрастной компьютерной томографии (КТ) сердца с выраженностью обструктивного поражения коронарного русла и ишемии миокарда.

Материалы и методы

В исследование ретроспективно включены 68 пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) (средний возраст $63,5 \pm 9,4$ года; 45 мужчин и 23 женщины), а также 15 лиц (средний возраст $30 \pm 4,8$ года; 14 мужчин и 1 женщина) без сердечно-сосудистых заболеваний, составившие группу контроля. Всем обследуемым выполнены мультиспиральная компьютерная коронароангиография, определение индекса коронарного кальция, нагрузочная перфузионная сцинтиграфия миокарда. На бесконтрастных КТ-изображениях сердца определяли радиомические характеристики ЭЖТ (текстуальный анализ по градациям серого цвета) с помощью программного обеспечения 3D-Sliser и модуля SliserRadiomics (версия 4.10.2). Полученные показатели сравнивали между группами исследования и контроля, а также в подгруппах больных, разделенных в зависимости от степени обструкции коронарных артерий, размера дефекта перфузии и значения индекса коронарного кальция.

Результаты

Сравнительный анализ радиомических показателей ЭЖТ у пациентов с ИБС и группы контроля показал наличие статистически значимых различий. В то же время корреляционный анализ в группе исследования не продемонстрировал связи между радиомическими показателями и размером дефекта перфузии, индексом коронарного кальция, степенью стеноза просвета коронарных артерий.

Заключение

Текстуальные характеристики ЭЖТ у пациентов с ИБС отличаются от таковых у лиц без сердечно-сосудистой патологии. В то же время данные показатели не ассоциированы с выраженностью обструктивного поражения коронарных артерий, значением индекса коронарного кальция, а также размером дефекта перфузии по данным сцинтиграфии.

Ключевые слова

Атеросклероз коронарных артерий • Ишемическая болезнь сердца • Радиомика • Текстуальный анализ

Поступила в редакцию: 17.07.2021; поступила после доработки: 08.08.2021; принята к печати: 03.09.2021

RADIOMIC FEATURES OF EPICARDIAL ADIPOSE TISSUE IN CORONARY ATHEROSCLEROSIS

E.V. Popov, Zh.Zh. Anashbaev, A.N. Maltseva, S.I. Sazonova

Cardiology Research Institute, Federal State Budgetary Scientific Institution "Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences", 111a, St. Kievskaya, Tomsk, Russian Federation, 634012

Для корреспонденции: Евгений Викторович Попов, popov-yevgeniy92@mail.ru; адрес: ул. Киевская, 111а, Томск, Россия, 634012

Corresponding author: Evgeniy V. Popov, popov-yevgeniy92@mail.ru; address: 111a, St. Kievskaya, Tomsk, Russia, 634012

Highlights

• Radiomics is considered to be a promising method for getting some quantitative data from the diagnostic images. The information about epicardial adipose tissue changes in atherosclerotic lesions of the coronary arteries can be used as an early diagnostic criterion of coronary heart disease. No similar research in radiomics was conducted before.

Aim	To investigate the association of the radiomic characteristics of epicardial adipose tissue (EAT) on contrast-free computed tomography (CT) of the heart with the severity of obstructive coronary lesion and myocardial ischemia.
Methods	The study included 68 patients with coronary heart disease (mean age of 63.5 ± 9.4 , 45 men and 23 women), and 15 patients (mean age 30 ± 4.8 ; 14 men and 1 woman) without cardiovascular disease as a control group. All the patients underwent multispiral computed coronary angiography, coronary calcium scores (CCS) determination and stress myocardial perfusion scintigraphy. Radiomic characteristics of EAT (texture analysis by gradations of gray color) were determined on non-contrast computer tomogram images of the heart using 3D-Sliser software and the SliserRadiomics module (version 4.10.2). The obtained indicators were compared between a control and under the study groups as well as between subgroups of patients divided according to the degree of obstruction of the coronary arteries, the size of the perfusion defect, and the value of the CCS.
Results	The comparative analysis of radiomic indicators of EAT between patients with coronary artery disease and the control group showed the presence of statistically significant differences between them. At the same time, the correlation analysis in the study group did not reveal any correlations between the radiomic parameters and the size of the perfusion defect, CCS or degree of stenosis of the lumen of the coronary arteries.
Conclusion	The textural characteristics of EAT in patients with coronary heart disease differ from those in individuals without cardiovascular pathology. At the same time, these indicators are not associated with the severity of obstructive lesions of the coronary arteries, the value of the CCS, and the size of the perfusion defect according to scintigraphy.
Keywords	Coronary atherosclerosis • Cardiac ischemia • Radiomics • Texture analysis

Received: 17.07.2021; received in revised form: 08.08.2021; accepted: 03.09.2021

Список сокращений

ИБС – ишемическая болезнь сердца	КТ – компьютерная томография
КА – коронарные артерии	ЭЖТ – эпикардальная жировая ткань
КИ – кальциевый индекс	

Введение

Несмотря на активные меры, предпринимаемые в последние десятилетия по профилактике и лечению сердечно-сосудистых заболеваний, ишемическая болезнь сердца (ИБС) остается одной из ведущих причин смертности трудоспособного населения во всем мире [1, 2]. Определение кардиоваскулярного риска является основой для выбора тактики лечения ИБС, а также медикаментозной профилактики неблагоприятных сердечно-сосудистых событий. В связи с этим актуален поиск маркеров, позволяющих наиболее точно прогнозировать наличие у пациента атеросклеротического поражения коронарных артерий (КА).

В последние годы активно исследуют возможность использования показателя объема эпикардального жира, определенного различными визуализирующими методами (эхокардиография, компьютерная томография (КТ)), в качестве одного из таких маркеров. Основанием для этого послужили многочисленные работы [3, 4], в которых показано, что эпикардальная жировая ткань (ЭЖТ) является сложным эндокринным органом, продуцирующим целый ряд биологически активных веществ – адипокинов, способных диффундировать в слой интима – медиа близлежащего сосуда, влияя на его вазомоторную функцию и приводя к воспалительному ответу [5, 6].

Учитывая тесную анатомическую близость ЭЖТ к КА, высказано предположение, что местное воспаление способствует образованию и росту мягкотканых (некальцинированных) атеросклеротических бляшек и последующим неблагоприятным клиническим событиям.

КТ на сегодняшний день является стандартным ведущим методом диагностики многих заболеваний, в том числе в кардиологии, обладающим высокой тканевой разрешающей способностью и воспроизводимостью. В связи с этим использование КТ для определения объемных показателей ЭЖТ представляется наиболее точным и оправданным. В последние годы проведено несколько крупных исследований [5–7], в которых предпринята попытка выявить ассоциацию показателя объема ЭЖТ с наличием и выраженностью атеросклеротического поражения КА, однако авторы получили отрицательные результаты. Мы предположили, что на рост атеросклеротических бляшек в сосудах сердца в большей степени могут влиять не качественные, а количественные характеристики ЭЖТ, отражающие ее структуру и распределение в сердце. Для получения таких характеристик на КТ-изображениях можно использовать ультрасовременную развивающуюся медицинскую технологию, относящуюся к персонализированной медицине, – радиомику [8]. Радиомика – метод компьютерной обработки медицинских изображений, преобразующий их в числовые данные, вычисляемые в больших количествах при помощи программных приложений. Получаемые числовые данные уникальны для каждого пациента, определяют многие структурные характеристики исследуемой ткани, которые невозможно выявить визуально. В современной литературе мы не нашли работ, в которых бы была изучена взаимосвязь радиомических характеристик ЭЖТ на бесконтрастных КТ-изображениях и выраженности обструктивного поражения КА и ишемии миокарда.

Цель исследования – изучить ассоциацию радиомических характеристик ЭЖТ на бесконтрастных КТ сердца с выраженностью обструктивного поражения коронарного русла и ишемии миокарда.

Материалы и методы

В исследование ретроспективно включены 68 пациентов (средний возраст $63,5 \pm 9,4$ года; 45 мужчин и 23 женщины) с ИБС I–III функционального класса, которые проходили обследование и лечение в НИИ кардиологии Томского НИМЦ в 2013–2019 гг. (Томск, Россия). Группу контроля составили 15 лиц (средний возраст $30 \pm 4,8$ года; 14 мужчин и 1 женщина) без сердечно-сосудистых заболеваний. Исследование одобрено заседанием комитета учреждения по биомедицинской этике (протокол № 134 от 11 июня 2015 г). Клиническая характеристика участников группы исследования представлена в табл. 1.

Критерии включения больных в исследование: 1) возраст ≥ 18 и < 80 лет; 2) хронический коронарный синдром; 3) синусовый ритм.

Критерии исключения: 1) острый коронарный синдром или инсульт давностью менее месяца; 2) реваскуляризация миокарда в анамнезе; 3) острый коронарный синдром или реваскуляризация в интервале между однофотонной эмиссионной компьютерной томографией и коронароангиографией; 4) нестабильная гемодинамика; 5) сердечная недостаточность $> III$ ФК по NYHA; фракция выброса левого желудочка $< 40\%$; 6) клапанные поражения сердца со степенью стеноза или недостаточности $> I$; 7) воспалительные заболевания сердца; 8) кардиомиопатии; 9) фибрилляция предсердий; 10) атриовентрикулярная блокада $> I$ ст.; 11) тяжелые формы легочной патологии, приводящие к дыхательной недостаточности (бронхиальная астма, тяжелые формы хронической обструктивной болезни легких); 12) индекс массы тела > 40 кг/м²; 13) несердечные заболевания в фазе декомпенсации;

Таблица 1. Клиническая характеристика пациентов группы исследования
Table 1. Clinical characteristics of patients in the study group

Показатель / Parameter	Значение / Value
Возраст / Age, M \pm m	63,5 \pm 9,4
Предтестовая вероятность ИБС / CAD probability %, M \pm m	44 \pm 25
Функциональный класс хронической сердечной недостаточности по NYHA / NYHA Classification – The Stages of Heart Failure	I–III
Гипертоническая болезнь / Hypertonic disease, %	85
Сахарный диабет / Diabetes, %	12
Курение / Smoking, %	19
Ожирение / Obesity, %	51
Гиперхолестеринемия / Hypercholesterolemia, %	45

Примечание: ИБС – ишемическая болезнь сердца; NYHA – Нью-Йоркская ассоциация сердца.
Note: CAD – coronary heart disease; NYHA – New York Heart Association.

14) аллергия на йод, гиперчувствительность к фармакологическим стресс-агентам (аденозинтрифосфат); 15) почечная недостаточность >II ст.; 16) несоблюдение хотя бы одного из критериев включения.

В период госпитализации всем пациентам проведено полное клинико-инструментальное обследование, включавшее перфузионную сцинтиграфию миокарда с ^{99m}Tc -метокси-изобутил-изонитрилом («Технетрил», ^{99m}Tc), ОАО «Диамед», Россия) и мультиспиральную компьютерную коронароангиографию [9].

Перфузионная сцинтиграфия миокарда выполнена по двухдневному протоколу «нагрузка – покой» с коррекцией аттенуации (низкодозовая компьютерная томография), в соответствии с рекомендациями Европейского общества ядерной медицины [10]. Нагрузочный тест проводили с использованием внутривенного введения аденозинтрифосфата в дозе 140 мкг/кг/мин. Запись изображений – через 90 мин после введения радиофармпрепарата на гибридном однофотонно-эмиссионном и рентгеновском компьютерном томографе GE Discovery NM/CT 570c (GE Healthcare; Милуоки, Висконсин, США) с использованием низкоэнергетического мультипинхол-коллиматора (Multi-Pinhole collimator) в 19 проекций в матрицу 32×32 пикселя (размер пикселя 4 мм). Изображения реконструировали на специализированной рабочей станции (Xeleris II, GE Healthcare; Хайфа, Израиль). Полученные данные обработаны при помощи программного обеспечения Corridor4DM (4DM, Invia Medical Imaging Solutions; Энн-Арбор, Мичиган, США) с реориентацией левого желудочка по короткой и длинной осям сердца, а также построением 17-сегментарной полярной карты левого желудочка. Анализ локальных нарушений перфузии миокарда в каждом сегменте проводили визуально и количественно по 5-балльной шкале (от 0 до 4) с определением общего индекса нарушения перфузии при нагрузке (SSS) и в покое (SRS), рассчитанных как сумма баллов в гипопер-

фузируемых сегментах [11–13].

Для определения кальциевого индекса (КИ) выполняли бесконтрастную КТ области сердца с проспективной ЭКГ-синхронизацией и дальнейшей реконструкцией в 75% фазу R-R-интервала сердечного цикла. Индекс коронарного кальция вычисляли полуавтоматическим методом на рабочей станции Advantage Workstations 4.3 (GE Healthcare).

Мультиспиральную компьютерную томографию сердца выполняли от уровня бифуркации трахеи до диафрагмы с задержкой дыхания (6–8 с). Для контрастирования КА использовали внутривенную инфузию йопамидола (370 мг йода/мл) («Йопамиро», Врассо, Италия) в объеме 60–110 мл со скоростью 4–5,5 мл/с. Запись исследования проводили в ретроспективном режиме ЭКГ-синхронизации. Параметры записи были следующие: напряжение на трубке 120 кВ, сила тока 300–600 мА с ЭКГ-модуляцией, скорость вращения трубки 0,4 с, питч 0,20–0,22 (в зависимости от частоты сердечных сокращений). Изображения реконструированы по стандартным протоколам с толщиной срезов 0,625 мм. Компьютерно-томографическая серия обработана на рабочей станции Advantage Workstations 4.3 (GE Healthcare).

Радиомические характеристики получены с помощью программного обеспечения 3D-Sliser и модуля Radiomics (версия 4.10.2). Сегментацию ЭЖТ на бесконтрастной КТ проводили полуавтоматическим методом. Выделение области интереса производили от бифуркации легочного ствола до основания сердца, с учетом плотности жировой ткани (от –190 до –30 HU) (рис. 1). С помощью расширения SliserRadiomics получены радиомические показатели: статистика первого порядка (First order); статистика второго порядка (матрица совпадений уровня серого – GLCM, матрица зависимостей уровня серого – GLDM, матрица длины пробега уровня серого – GLRM, матрица зоны уровня серого – GLZM, матрица различий соседних уровней серого – NGLDM) [4]. Общее количество полученных радиомических показателей составило 93. С учетом

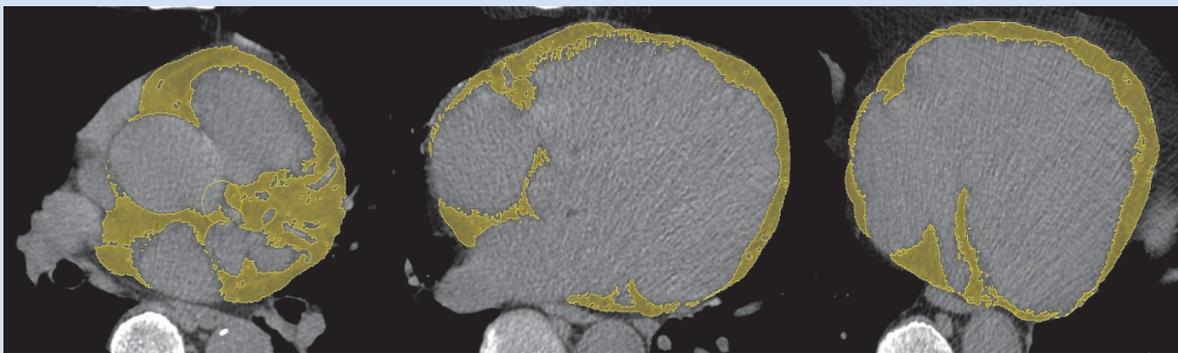


Рисунок 1. Сегментация эпикардальной жировой ткани на бесконтрастных КТ-изображениях сердца. Желтым цветом обозначена выделенная эпикардальная жировая ткань

Figure 1. Segmentation of epicardial adipose tissue in non-contrast images of the heart. Highlighted epicardial adipose tissue is shown in yellow

опыта использования радиомических показателей в предыдущих исследованиях [14–18] для анализа были выбраны следующие показатели, характеризующие распределение серого цвета на изображениях и однородность структуры ЭЖТ:

1. **высокий уровень серого / high gray level emphasis (HGLE)** – характеризует распределение более высоких значений уровня серого на изображениях;

2. **неоднородность уровня серого / gray level nonuniformity (GLN)** – характеризует сходство значений интенсивности уровня серого на изображении;

3. **автокорреляция / autocorrelation** – является мерой величины тонкости и грубости текстуры;

4. **асимметрия / skewness** – отражает измеряет асимметрию распределения значений относительно среднего значения;

5. **процент выполнения / run percentage** – характеризует грубость тканевой текстуры;

6. **отклонение уровня серого / gray level variance (GLV)** – характеризует дисперсию интенсивности уровня серого;

7. **размер зоны неравномерности / size zone nonuniformity (SZN)** – характеризует изменчивость объемов размерных зон на изображении;

8. **занятость / busyness** – мера перехода от пик-

селя к соседнему пикселю. Высокое значение для занятости указывает на «занятое» изображение с быстрыми изменениями интенсивности между пикселями и его соседями [19].

Статистический анализ

Статистическая обработка результатов выполнена при помощи программ STATISTICA 10.0 (StatSoft Inc., Талса, Оклахома, США), SPSS 18.0 (SPSS Inc., Чикаго, Иллинойс, США). Для определения характера распределения полученных данных использован критерий нормальности Шапиро – Уилка (распределение считали нормальным при $p > 0,05$). При описании количественных показателей применены межквартильные интервалы (25-й и 75-й процентиля) для совокупностей, не подчиняющихся закону нормального распределения. Статистическую значимость межгрупповых различий величин оценивали при помощи непараметрического критерия Манна – Уитни. Оценку корреляционных связей между парами количественных признаков осуществляли с помощью непараметрического рангового коэффициента Спирмена.

Схема исследования представлена на рис. 2.

Результаты

Сравнительный анализ радиомических показателей ЭЖТ у пациентов с ИБС и группы контроля показал статистически значимые различия по всем параметрам (табл. 2). В то же время по результатам корреляционного анализа в группе исследования не выявлено связи между радиомическими показателями и размером дефекта перфузии на фоне нагрузочной пробы, значением КИ, степенью стеноза КА (табл. 3).

Далее мы предположили, что текстура ЭЖТ подвергается изменению по мере прогрессирования атеросклеротического поражения КА, на что могут указывать радиомические характеристики. В связи с этим для анализа мы применили три варианта деления группы пациентов с ИБС на подгруппы (рис. 2).

Вариант 1. В зависимости от степени стеноза КА [10, 20]: 1-я подгруппа – менее 50% ($n = 37$); 2-я подгруппа – со стенозами 50% и более ($n = 31$). Однако сравнение радиомических показателей между ними не показало достоверно значимых различий (табл. 4).

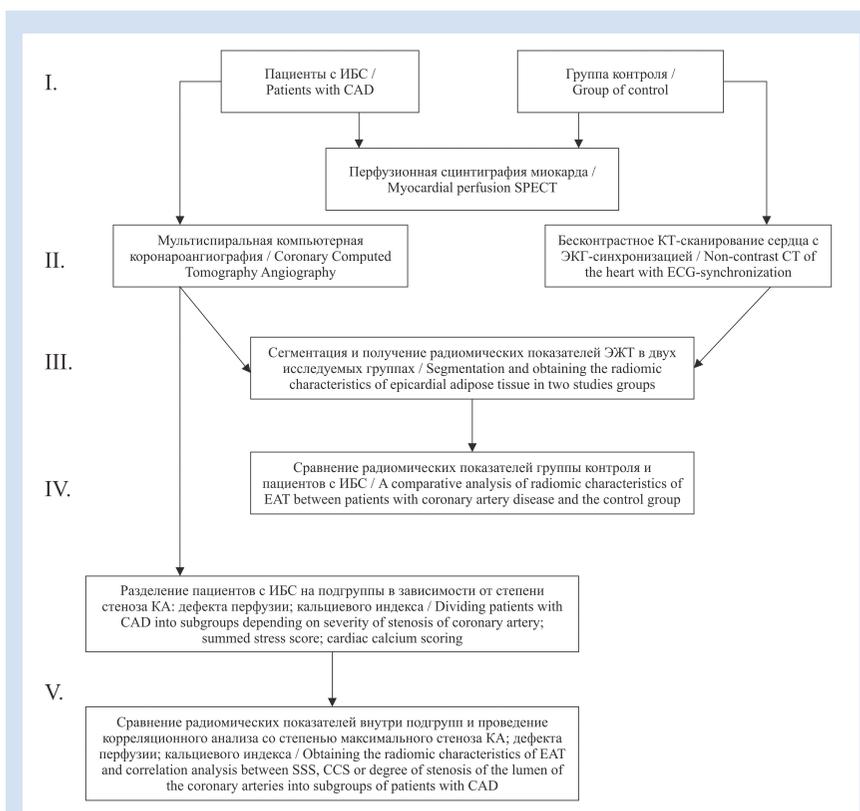


Рисунок 2. Схема исследования

Примечание: ИБС – ишемическая болезнь сердца; КА – коронарная артерия; КТ – компьютерная томография; ЭЖТ – эпикардальная жировая ткань; ЭКГ – электрокардиография; SSS – суммарный индекс дефекта перфузии на нагрузке.

Figure 2. Study design

Note: CAD – coronary heart disease; CCS – coronary calcium scoring; CT – computed tomography; EAT – epicardial adipose tissue; ECG – electrocardiography; SSS – summed stress score.

Таблица 2. Сравнительный анализ радиомических характеристик эпикардиальной жировой ткани у пациентов с ИБС и группы контроля**Table 2.** Comparative analysis of the radiomic characteristics of epicardial adipose tissue of patients with coronary artery disease and the control group

Показатель / Radiomic features	Пациенты с ИБС / Patients with CAD (n = 68), Me (Q 25; Q 75)	Контроль / Control (n = 15), Me (Q 25; Q 75)	p
Высокий уровень серого / HGLE	28,05 (26,51; 29,32)	30,03 (29,45; 30,49)	0,000657
Неоднородность уровня серого / GLN	49 034,37 (40 394,35; 61 709)	36 584 (32 651,7; 42 074,7)	0,008509
Автокорреляция / Autocorrelation	25,29 (23,83; 26,26)	26,98 (26,06; 27,41)	0,013558
Асимметрия / Skewness	-0,29 (-0,48; -0,18)	-0,68 (-0,72; -0,63)	0,000009
Отклонение уровня серого / GLV	1,89 (1,78; 1,99)	2,36 (2,30; 2,48)	0,000007
Процент выполнения / Run Percentage	0,77 (0,74; 0,79)	0,81 (0,77; 0,85)	0,023005
Размер зоны неоднородности / SZN	4 295,87 (3 541,88; 5 363,95)	6 607,1 (6 234,47; 7 797,56)	0,000093
Высокий уровень серого / HGLE	1 002,4 (829,72; 1 371,96)	793,15 (688,85; 939,03)	0,024418

Примечание: ИБС – ишемическая болезнь сердца.**Note:** CHD – coronary heart disease; CAD – coronary artery disease GLN – gray level nonuniformity; GLV – gray level variance; HGLE – high gray level emphasis; SZN – size zone nonuniformity.**Таблица 3.** Анализ корреляции между радиомическими характеристиками эпикардиальной жировой ткани и размером дефекта перфузии на фоне нагрузочной пробы, индексом коронарного кальция и степенью стеноза коронарных артерий у пациентов с ишемической болезнью сердца**Table 3.** Analysis of the correlation between the radiomic characteristics of epicardial adipose tissue and the size of the perfusion defect against the background of the stress test, the coronary calcium score and the degree of coronary artery stenosis in patients with coronary artery disease

Показатель / Radiomic features	Коэффициент корреляции Спирмена / Spearman's correlation coefficient (p)		
	SSS	КИ / CCS	Выраженность стеноза КА / Severity of stenosis CA
Высокий уровень серого / HGLE	-0,28	-0,26	-0,29
Неоднородность уровня серого / GLN	0,2	0,21	0,23
Автокорреляция / Autocorrelation	-0,25	-0,23	-0,23
Асимметрия / Skewness	0,3	0,34	-0,34
Отклонение уровня серого / GLV	0,18	-0,25	-0,34
Процент выполнения / Run Percentage	-0,1	-0,2	-0,24
Размер зоны неоднородности / SZN	-0,3	-0,27	-0,26
Занятость / Byseness	0,2	0,16	0,18

Примечание: КА – коронарная артерия; КИ – кальциевый индекс; SSS – суммарный индекс дефекта перфузии на нагрузке.**Note:** CA – coronary artery; CCS – coronary calcium scoring; GLN – gray level nonuniformity; GLV – gray level variance; HGLE – high gray level emphasis; SSS – summed stress score; SZN – size zone nonuniformity.**Таблица 4.** Радиомические характеристики эпикардиальной жировой ткани на КТ-изображениях сердца в подгруппах пациентов с ишемической болезнью сердца, разделенных по степени стеноза коронарных артерий**Table 4.** Radiomic characteristics of epicardial adipose tissue on CT images of the heart of patients with coronary artery disease, in subgroups separated by the degree of stenosis of the coronary arteries

Показатель / Radiomic features	Пациенты со стенозом менее 50% / Patients with stenosis up to 50% (n = 37), Me (Q 25; Q 75)	Пациенты со стенозом более 50% / Patients with stenosis over 50% (n = 31), Me (Q 25; Q 75)	p
Высокий уровень серого / HGLE	28,09 (26,63; 29,32)	27,52 (26,21; 28,56)	0,191
Неоднородность уровня серого / GLN	51 558,25 (41 010,89; 61 708,57)	48 673,76 (41 162,9; 63 805,29)	0,902
Автокорреляция / Autocorrelation	25,48 (24,08; 26,31)	24,86 (23,63; 25,99)	0,179
Асимметрия / Skewness	-0,30 (-0,48; -0,19)	-0,27 (-0,43; -0,1)	0,248
Отклонение уровня серого / GLV	1,88 (1,78; 1,98)	1,85 (1,76; 1,94)	0,603
Процент выполнения / Run Percentage	0,76 (0,74; 0,79)	0,76 (0,73; 0,79)	0,358
Размер зоны неоднородности / SZN	4 308,23 (3 819,36; 5 031,41)	4 017,37 (3 253,09; 5 116,91)	0,346
Занятость / Byseness	1 068,87 (829,72; 1 371,96)	1 002,86 (855,06; 1 302,69)	0,921

Note: GLN – gray level nonuniformity; GLV – gray level variance; HGLE – high gray level emphasis; SZN – size zone nonuniformity.

Вариант 2. В зависимости от КИ [21]: 1-я подгруппа, 1–100, – минимальное и незначительное поражение КА (n = 36); 2-я подгруппа, более 101, – умеренное и тяжелое поражение КА (n = 32). При анализе статистически достоверных различий также выявить не удалось (табл. 5).

Вариант 3. В зависимости от размера дефекта перфузии [11, 22] на фоне нагрузочной пробы: 1-я подгруппа с дефектами перфузии менее 7 баллов (n = 48); 2-я подгруппа – с дефектами перфузии более 7 баллов (n = 20). Последующий статистический анализ не выявил достоверных различий (табл. 6).

Обсуждение

В данной работе продемонстрировано, что радиомические характеристики ЭЖТ у пациентов с атеросклеротическим поражением КА отличаются от таковых у лиц без сердечно-сосудистой патологии. Подобное может указывать на ранние измене-

ния в текстуре ЭЖТ, которые не меняются по мере прогрессирования заболевания. Ранее уже показано, что увеличение объема ЭЖТ ассоциировано с тяжестью ИБС [3, 6, 7, 14, 23]. Также в ряде исследований выявлено, что объем ЭЖТ увеличивается регионарно в области нахождения некальцинированных атеросклеротических бляшек, коррелирует с регионарной ишемией миокарда и повышенной периваскулярной экспрессией адипоцитов [5, 24]. При этом в области нормального миокарда или зоны рубца объем ЭЖТ сохраняет неизменные значения [7]. Однако до сих пор не удалось полностью определить причинно-следственную связь между ишемией миокарда и объемом ЭЖТ.

В нашем исследовании показано отсутствие ассоциации между текстурными характеристиками ЭЖТ и выраженностью стеноза КА, размером дефекта перфузии и индексом коронарного кальция. Это указывает на то, что радиомические показатели

Таблица 5. Радиомические характеристики эпикардиальной жировой ткани в подгруппах пациентов с ишемической болезнью сердца, разделенных по значению кальциевого индекса

Table 5. Radiomic characteristics of epicardial adipose tissue of patients with coronary artery disease in subgroups, divided by the value of the calcium score

Показатель / Radiomic features	Пациенты с КИ 1–100 / Patients with CCS = 1–100 (n = 36), Me (Q 25; Q 75)	Пациенты с КИ более 101 / Patients with CCS = 101 (n = 32), Me (Q 25; Q 75)	p
Высокий уровень серого / HGLE	28,06 (26,85; 29,4)	27,56 (26,28; 28,78)	0,237
Неоднородность уровня серого / GLN	48 673,76 (39 962,85; 56 378,03)	50 365,88 (41 271,56; 64 895,94)	0,349
Автокорреляция / Autocorrelation	25,30 (24,41; 26,36)	24,79 (23,7; 26,08)	0,2
Асимметрия / Skewness	-0,29 (-0,49; -0,20)	-0,27 (-0,46; -0,1)	0,183
Отклонение уровня серого / GLV	1,87 (1,78; 1,99)	1,88 (1,76; 1,95)	0,629
Процент выполнения / Run Percentage	0,77 (0,74; 0,79)	0,76 (0,73; 0,79)	0,452
Размер зоны неоднородности / SZN	4 392,46 (3 466,07; 5 197,68)	4 107,26 (3 421,84; 5 178,05)	0,505
Занятость / Byseness	1 011,31 (811,20; 1 332,84)	1 042,14 (832,50; 1 566,55)	0,647

Примечание: КИ – кальциевый индекс.

Note: CCS – coronary calcium scoring; GLN – gray level nonuniformity; GLV – gray level variance; HGLE – high gray level emphasis; SZN – size zone nonuniformity.

Таблица 6. Радиомические характеристики эпикардиальной жировой ткани у пациентов с ишемической болезнью сердца, разделенных по размеру дефекта перфузии на фоне нагрузочной пробы

Table 6. Radiomic characteristics of epicardial adipose tissue of patients with coronary artery disease, divided by summed stress score

Показатель / Radiomic features	SSS <7 (n = 48), Me (Q 25; Q 75)	SSS >7 (n = 31), Me (Q 25; Q 75)	p
Высокий уровень серого / HGLE	28,05 (26,38; 28,94)	27,60 (26,51; 28,65)	0,23
Неоднородность уровня серого / GLN	49 637,04 (40 394,35; 61 961,71)	50 220,11 (42 148,77; 64 106,86)	0,9
Автокорреляция / Autocorrelation	25,51 (23,93; 26,1)	24,86 (23,66; 25,69)	0,163
Асимметрия / Skewness	-0,29 (-0,47; -0,18)	-0,28 (-0,46; -0,19)	0,109
Отклонение уровня серого / GLV	1,86 (1,77; 1,95)	1,89 (1,79; 2,08)	0,527
Процент выполнения / Run Percentage	0,75 (0,73; 0,79)	0,77 (0,75; 0,78)	0,315
Размер зоны неоднородности / SZN	4 276,57 (3 541,88; 4 747,02)	4 257,37 (3 286,95; 5 294,92)	0,315
Занятость / Byseness	974,61 (829,72; 1 327,39)	1 020,22 (891,92; 1 509,57)	0,9

Примечание: SSS – суммарный индекс дефекта перфузии на нагрузке.

Note: GLN – gray level nonuniformity; GLV – gray level variance; HGLE – high gray level emphasis; SSS – summed stress score; SZN – size zone nonuniformity.

ЭЖТ на бесконтрастных КТ-изображениях сердца не могут быть использованы в качестве маркера для прогнозирования у пациента атеросклеротического поражения КА. Вероятно, указанный способ обработки и анализа КТ-изображений может иметь более высокую прогностическую ценность при контрастных исследованиях.

Так, недавно продемонстрировано, что использование радиомического анализа повышает диагностическую точность мультиспиральной компьютерной коронароангиографии в выявлении специфических маркеров уязвимости атеросклеротических бляшек, что подтверждалось данными внутрисосудистого ультразвукового исследования и оптической когерентной томографии [15–18, 25]. В другой работе выявлена взаимосвязь радиомических КТ-характеристик атеросклеротических бляшек и периваскулярной жировой ткани с результатами позитронно-эмиссионной томографии с NaF18, визуализирующей воспалительный процесс [14–18].

Таким образом, радиомический анализ изображений в кардиологии открывает перспективы для определения новых маркеров различных патологических процессов, которые можно будет использовать как для выявления ранних изменений ткани, так и прогноза заболевания. Однако для понимания эффективности данного подхода необходимы даль-

нейшие исследования на больших выборках и сопоставление данных, получаемых при текстурном анализе, с другими методами исследования, такими как различные модальности лучевой диагностики, лабораторные исследования, гистологическая верификация.

Заключение

Текстурные характеристики эпикардальной жировой ткани пациентов с ишемической болезнью сердца отличаются от таковых у лиц без сердечно-сосудистой патологии. В то же время данные показатели не ассоциированы с выраженностью обструктивного поражения коронарных артерий, значением индекса коронарного кальция, а также размером дефекта перфузии по данным сцинтиграфии.

Конфликт интересов

Е.В. Попов заявляет об отсутствии конфликта интересов. Ж.Ж. Анашбаев заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.Н. Мальцева заявляет об отсутствии конфликта интересов. С.И. Сазонова заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Авторы заявляют об отсутствии финансирования исследования.

Информация об авторах

Попов Евгений Викторович, клинический ординатор лаборатории радионуклидных методов исследования Научно-исследовательского института кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-0772-6042

Анашбаев Жанат Жуманалиевич, клинический ординатор лаборатории радионуклидных методов исследования Научно-исследовательского института кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-3169-0326.

Мальцева Алина Николаевна, клинический ординатор, лаборант-исследователь лаборатории радионуклидных методов исследования Научно-исследовательского института кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-1311-0378

Сазонова Светлана Ивановна, доктор медицинских наук ведущий научный сотрудник лаборатории радионуклидных методов исследования Научно-исследовательского института кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-2799-3260

Author Information Form

Popov Evgeniy V., resident at Nuclear department of Cardiology Research Institute, Federal State Budgetary Scientific Institution “Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences”, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-0772-6042

Anashbaev Zhanat Zh., resident at Nuclear department of Cardiology Research Institute, Federal State Budgetary Scientific Institution “Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences”, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-3169-0326.

Maltseva Alina N., resident and laboratory researcher at Nuclear department of Cardiology Research Institute, Federal State Budgetary Scientific Institution “Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences”, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-1311-0378

Sazonova Svetlana I., PhD, leading researcher at Nuclear department of Cardiology Research Institute, Federal State Budgetary Scientific Institution “Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences”, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-2799-3260

Вклад авторов в статью

ПЕВ – получение и интерпретация данных исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

АЖЖ – получение и интерпретация данных исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

МАН – получение и интерпретация данных исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ССИ – вклад в концепцию и дизайн исследования, написание статьи, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Author Contribution Statement

PEV – data collection and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

AZhZH – data collection and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

MAN – data collection and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

SSI – contribution to the concept and design of the study, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демографический ежегодник России. Статистический сборник. Росстат. Москва; 2019. 252 с. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Dem_ejegod-2019.pdf (rosstat.gov.ru) (дата обращения 15.11.2021)
2. Townsend N., Wilson L., Bhatnagar P., Wickramasinghe K., Rayner M., Nichols M. Cardiovascular disease in Europe: epidemiological update 2016. *Eur Heart J.* 2016;37(42):3232-3245. doi: 10.1093/eurheartj/ehw334.
3. Dey D., Wong N.D., Tamarappoo B., Nakazato R., Gransar H., Cheng V.Y., Ramesh A., Kakadiaris I., Germano G., Slomka P.J., Berman D.S. 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):136-41. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2009.08.032.
4. Berg A.H., Scherer P.E. Adipose tissue, inflammation, and cardiovascular disease. *Circ Res.* 2005; 96(9):939–949. doi: 10.1161/01.RES.0000163635.62927.34
5. Alexopoulos N., McLean D.S., Janik M., Arepalli C.D., Stillman A.E., Raggi P. Epicardial adipose tissue and coronary artery plaque characteristics. *Atherosclerosis.* 2010; 210(1):150-4. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2009.11.020.
6. Khawaja T., Greer C., Thadani S.R., Kato T.S., Bhatia K., Shimbo D., Kontak A., Bokhari S., Einstein A.J., Schulze P.C. Increased Regional Epicardial Fat Volume Associated with Reversible Myocardial Ischemia in Patients with Suspected Coronary Artery Disease. *Journal of Nuclear Cardiology.* 2015; 22(2): 325–333. doi:10.1007/s12350-014-0004-4
7. Ohashi N., Yamamoto H., Horiguchi J., Kitagawa T., Kunita E., Utsunomiya H., Oka T., Kohno N., Kihara Y. Association between visceral adipose tissue area and coronary plaque morphology assessed by CT angiography. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2010; 3(9):908-17. doi: :10.1016/j.jcmg.2010.06.014
8. Shaikh F., Franc B., Mulero F. Radiomics as Applied in Precision Medicine. In: *Clinical Nuclear Medicine.* Ahmadzadehfar H., Biersack H.J., Freeman L.M., Zuckier L.S. editors. 2nd ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2020. 193-206.
9. Завадовский К.В., Гуля М.О., Саушкин В.В., Саушкина Ю.В., Лишманов Ю.Б. Совмещенная однофотонная эмиссионная и рентгеновская компьютерная томография сердца: методические аспекты. 2016; 97(4):235-242. doi: 10.20862/0042-4676-2016-97-4-8-15
10. Neumann F.-J., Sousa-Uva M., Ahlsson A., Alfonso F., Banning A. P., Benedetto U. 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization. The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *European Heart Journal.* 2018; 40(37): 87-165. doi: 10.1093/eurheartj/ehy394
11. Ficarò E., Lee B., Kritzman J., Corbett J. The Michigan method for quantitative nuclear cardiology. Corridor4DM: The Michigan method for quantitative nuclear cardiology. *Journal of Nuclear Cardiology.* 2007; 14(4):455-65. doi: 10.1016/j.nuclcard.2007.06.006
12. Prasad M., Slomka P.J., Fish M., Kavanagh P., Gerlach J., Hayes S., Berman D. S., Germano G. Improved quantification and normal limits for myocardial perfusion stress-rest change. *Journal of Nuclear Medicine.* 2010; 51(2): 204-9. doi: 10.2967/jnumed.109.067736
13. Cerqueira M.D., Weissman N. J., Dilsizian V., Jacobs A. K., Kaul S., Laskey W. K., Pennell D.J., Rumberger J.A., Ryan T., Verani M.S.; American Heart Association Writing Group on Myocardial Segmentation and Registration for Cardiac Imaging. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the cardiac imaging committee of the council on clinical cardiology of the American heart association. *Circulation.* 2002; 105: 539-542. doi: 10.1161/hc0402.102975
14. Oikonomou E.K., Williams M.C., Kotanidis C.P., Desai M.Y., Marwan M., Antonopoulos A.S., et al. A novel machine learning-derived radiotranscriptomic signature of perivascular fat improves cardiac risk prediction using coronary CT-angiography. *European Heart Journal.* 2019; 40(43):3529-3543. doi: 10.1093/eurheartj/ehz592
15. Kolossváry M., Karady J., Szilveszter B., Kitslaar P., Hoffmann U., Merkely B., Maurovich-Horvat P. Radiomic features are superior to conventional quantitative computed tomographic metrics to identify coronary plaques with Napkin-Ring Sign. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2017;10(12), e006843. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.117.006843
16. Kolossváry M., Kellermayer M., Merkely B., Maurovich-Horvat P., Maurovich-Horvat P. Cardiac computed tomography radiomics: a comprehensive review on radiomic techniques. *J Thorac Imaging.* 2018; 33(1):26–34. doi: 10.1097/RTI.0000000000000268
17. Lambin P., Rios-Velazquez E., Leijenaar R., Carvalho S., van Stiphout R.G., Granton P., Zegers C.M., Gillies R., Boellard R., Dekker A., Aerts H.J. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur J Cancer.* 2012; 48(4):441-6. doi: 10.1016/j.ejca.2011.11.036

18. De Jong M.C., Genders T.S.S., Van Geuns R.-J., Moelker A., Hunink M.G.M. Diagnostic performance of stress myocardial perfusion imaging for coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis. *European Radiology*. 2012; 22 (9): 1881–1895. doi: 10.1007/s00330-012-2434-1

19. Radiomic Features. Available at: <https://pyradiomics.readthedocs.io/en/latest/features.html>. (accessed: 01.07.2020)

20. Knuuti J., Wijns W., Saraste A., Capodanno D., Barbato E., Funck-Brentano C., Prescott E., Storey R.F., Deaton C., Cuisset T., Agewall S., Dickstein K., Edvardsen T., Escaned J., Gersh B.J., Svitil P., Gilard M., Hasdai D., Hatala R., Mahfoud F., Masip J., Muneretto C., Valgimigli M., Achenbach S., Bax J.J.; ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. The Task Force for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*. 2019;41: 407-477. doi:10.1093/eurheartj/ehz425

21. Agatston A.S., Janowitz W.R., Hildner F.J., Zusmer N.R., Viamonte M., Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *Journal of the American College of Cardiology*. 1990; 15(4): 827-832. doi:10.1016/0735-1097(90)90282-T

22. Hyafil F., Gimelli A., Slart R.H.J.A., Georgoulis P., Rischpler C., Lubberink M., Sciagra R., Bucierius J., Agostini

D., Verberne H.J., behalf of the Cardiovascular Committee of the European Association of Nuclear Medicine (EANM). EANM procedural guidelines for myocardial perfusion scintigraphy using cardiac-centered gamma cameras. *European J Hybrid Imaging*. 2019; 3(11): doi.org/10.1186/s41824-019-0058-2

23. A.N. Kokov, N.K. Brel, V.L. Masenko, O.V. Gruzdeva, V.N. Karetnikova, V.V. Kashtalap, O.L. Barbarash. Quantitative assessment of visceral adipose depot in patients with ischemic heart disease by using of modern tomographic methods. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2017;3:113-119. doi: 10.17802/2306-1278-2017-6-3-113-119. (In Russian)

24. Mazurek T., Zhang L., Zalewski A., Mannion J.D., Diehl J.T., Arafat H., Sarov-Blat L., O'Brien S., Keiper E.A., Johnson A.G., Martin J., Goldstein B.J., Shi Y. Human epicardial adipose tissue is a source of inflammatory mediators. *Circulation*. 2003; 108(20):2460-6. doi: 10.1161/01.CIR.0000099542.57313.C5

25. Kolossváry M., Park J., Bang J.I., Zhang J., Lee J.M., Paeng J.C., Merkely B., Narula J., Kubo T., Akasaka T., Koo B.K., Maurovich-Horvat P. Identification of invasive and radionuclide imaging markers of coronary plaque vulnerability using radiomic analysis of coronary computed tomography angiography. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 2019; 20(11): 1250–1258. doi: 10.1093/ehjci/jez033

REFERENCES

1. Demographic book of Russia. Statistical book. Rosstat. Moscow; 2019. 252 p. Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Dem_ejegod-2019.pdf (rosstat.gov.ru) (accessed 15.11.2021) (In Russian)

2. Townsend N., Wilson L., Bhatnagar P., Wickramasinghe K., Rayner M., Nichols M. Cardiovascular disease in Europe: epidemiological update 2016. *Eur Heart J*. 2016;37(42):3232-3245. doi: 10.1093/eurheartj/ehw334.

3. Dey D., Wong N.D., Tamarappoo B., Nakazato R., Gransar H., Cheng V.Y., Ramesh A., Kakadiaris I., Germano G., Slomka P.J., Berman D.S. 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):136-41. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2009.08.032.

4. Berg A.H., Scherer P.E. Adipose tissue, inflammation, and cardiovascular disease. *Circ Res*. 2005; 96(9):939–949. doi: 10.1161/01.RES.0000163635.62927.34

5. Alexopoulos N., McLean D.S., Janik M., Arepalli C.D., Stillman A.E., Raggi P. Epicardial adipose tissue and coronary artery plaque characteristics. *Atherosclerosis*. 2010; 210(1):150-4. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2009.11.020.

6. Khawaja T., Greer C., Thadani S.R., Kato T.S., Bhatia K., Shimbo D., Kontak A., Bokhari S., Einstein A.J., Schulze P.C. Increased Regional Epicardial Fat Volume Associated with Reversible Myocardial Ischemia in Patients with Suspected Coronary Artery Disease. *Journal of Nuclear Cardiology*. 2015; 22(2): 325–333. doi:10.1007/s12350-014-0004-4

7. Ohashi N., Yamamoto H., Horiguchi J., Kitagawa T., Kunita E., Utsunomiya H., Oka T., Kohno N., Kihara Y. Association between visceral adipose tissue area and coronary plaque morphology assessed by CT angiography. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2010; 3(9):908-17. doi: 10.1016/j.jcmg.2010.06.014

8. Shaikh F., Franc B., Mulero F. Radiomics as Applied in Precision Medicine. In: *Clinical Nuclear Medicine*. Ahmadzadehfar H., Biersack H.J., Freeman L.M., Zuckier L.S. editors. 2nd ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2020. 193-206.

9. Zavadovskij K.V., Gulja M.O., Saushkin V.V., Saushkina Ju.V., Lishmanov Ju.B. Superimposed single-photon emission computed tomography and X-ray computed tomography of the

heart: Methodical aspects. 2016; 97(4):235-242.(In Russian) doi: 10.20862/0042-4676-2016-97-4-8-15.

10. Neumann F.-J., Sousa-Uva M., Ahlsson A., Alfonso F., Banning A. P., Benedetto U. 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization. The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *European Heart Journal*. 2018; 40(37): 87-165. doi: 10.1093/eurheartj/ehy394

11. Ficaro E., Lee B., Kritzman J., Corbett J. The Michigan method for quantitative nuclear cardiology. *Corridor4DM: The Michigan method for quantitative nuclear cardiology*. *Journal of Nuclear Cardiology*. 2007; 14(4):455-65. doi: 10.1016/j.nuclcard.2007.06.006

12. Prasad M., Slomka P.J., Fish M., Kavanagh P., Gerlach J., Hayes S., Berman D. S., Germano G. Improved quantification and normal limits for myocardial perfusion stress-rest change. *Journal of Nuclear Medicine*. 2010; 51(2): 204-9. doi: 10.2967/jnumed.109.067736

13. Cerqueira M.D., Weissman N. J., Dilsizian V., Jacobs A. K., Kaul S., Laskey W. K., Pennell D.J., Rumberger J.A., Ryan T., Verani M.S.; American Heart Association Writing Group on Myocardial Segmentation and Registration for Cardiac Imaging. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the cardiac imaging committee of the council on clinical cardiology of the American Heart Association. *Circulation*. 2002; 105: 539-542. doi: 10.1161/hc0402.102975

14. Oikonomou E.K., Williams M.C., Kotanidis C.P., Desai M.Y., Marwan M., Antonopoulos A.S., et al. A novel machine learning-derived radiotranscriptomic signature of perivascular fat improves cardiac risk prediction using coronary CT-angiography. *European Heart Journal*. 2019; 40(43):3529-3543. doi: 10.1093/eurheartj/ehz592

15. Kolossváry M., Karady J., Szilveszter B., Kitslaar P., Hoffmann U., Merkely B., Maurovich-Horvat P. Radiomic features are superior to conventional quantitative computed tomographic metrics to identify coronary plaques with Napkin-Ring Sign. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017;10(12), e006843. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.117.006843

16. Kolossváry M., Kellermayer M., Merkely B., Maurovich-Horvat P., Maurovich-Horvat P. Cardiac computed tomography radiomics: a comprehensive review on radiomic techniques. *J Thorac Imaging*. 2018; 33(1):26–34. doi: 10.1097/RTI.0000000000000268
17. Lambin P., Rios-Velazquez E., Leijenaar R., Carvalho S., van Stiphout R.G., Granton P., Zegers C.M., Gillies R., Boellard R., Dekker A., Aerts H.J. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur J Cancer*. 2012; 48(4):441-6. doi: 10.1016/j.ejca.2011.11.036
18. De Jong M.C., Genders T.S.S., Van Geuns R.-J., Moelker A., Hunink M.G.M. Diagnostic performance of stress myocardial perfusion imaging for coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis. *European Radiology*. 2012; 22 (9): 1881–1895. doi: 10.1007/s00330-012-2434-1
19. Radiomic Features. Available at: <https://pyradiomics.readthedocs.io/en/latest/features.html>. (accessed: 01.07.2020)
20. Knuuti J., Wijns W., Saraste A., Capodanno D., Barbato E., Funck-Brentano C., Prescott E., Storey R.F., Deaton C., Cuisset T., Agewall S., Dickstein K., Edvardsen T., Escaned J., Gersh B.J., Svitil P., Gilard M., Hasdai D., Hatala R., Mahfoud F., Masip J., Muneretto C., Valgimigli M., Achenbach S., Bax J.J.; ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. The Task Force for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*. 2019;41: 407-477. doi:10.1093/eurheartj/ehz425
21. Agatston A.S., Janowitz W.R., Hildner F.J., Zusmer N.R., Viamonte M., Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *Journal of the American College of Cardiology*. 1990; 15(4): 827-832. doi:10.1016/0735-1097(90)90282-T
22. Hyafil F., Gimelli A., Slart R.H.J.A., Georgoulas P., Rischpler C., Lubberink M., Sciagra R., Bucarius J., Agostini D., Verberne H.J., behalf of the Cardiovascular Committee of the European Association of Nuclear Medicine (EANM). EANM procedural guidelines for myocardial perfusion scintigraphy using cardiac-centered gamma cameras. *European J Hybrid Imaging*. 2019; 3(11): doi.org/10.1186/s41824-019-0058-2
23. A.N Kokov, N.K. Brel, V.L. Masenko, O.V. Gruzdeva, V.N. Karetnikova, V.V. Kashtalap, O.L. Barbarash. Quantitative assessment of visceral adipose depot in patients with ischemic heart disease by using of modern tomographic methods. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2017;3:113-119. doi: 10.17802/2306-1278-2017-6-3-113-119. (In Russian)
24. Mazurek T., Zhang L., Zalewski A., Mannion J.D., Diehl J.T., Arafat H., Sarov-Blat L., O'Brien S., Keiper E.A., Johnson A.G., Martin J., Goldstein B.J., Shi Y. Human epicardial adipose tissue is a source of inflammatory mediators. *Circulation*. 2003; 108(20):2460-6. doi: 10.1161/01.CIR.0000099542.57313.C5
25. Kolossváry M., Park J., Bang J.I., Zhang J., Lee J.M., Paeng J.C., Merkely B., Narula J., Kubo T., Akasaka T., Koo B.K., Maurovich-Horvat P. Identification of invasive and radionuclide imaging markers of coronary plaque vulnerability using radiomic analysis of coronary computed tomography angiography. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 2019; 20(11): 1250–1258. doi: 10.1093/ehjci/jez033

Для цитирования: Попов Е.В., Анашбаев Ж.Ж., Мальцева А.Н., Сазонова С.И. Радиомические характеристики текстурных изменений эпикардальной жировой ткани при атеросклеротическом поражении коронарных артерий. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2021;10(4): 6-16. DOI: 10.17802/2306-1278-2021-10-4-6-16

To cite: Popov E.V., Anashbaev Zh.Zh., Maltseva A.N., Sazonova S.I. Radiomic features of epicardial adipose tissue in coronary atherosclerosis. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2021;10(4): 6-16. DOI: 10.17802/2306-1278-2021-10-4-6-16
