

Зинсу Жанвьер,
Аспирант кафедры госпитальной терапии
медицинского института НИУ БелГУ г.Белгород.
Zinsu Janvier,
postgraduate student, Department of Hospital Therapy
of the Medical Institute of the National Research University of Belgorod

Перуцкий Дмитрий Николаевич,
кандидат медицинских наук, доцент
кафедры госпитальной терапии НИУ БелГУ г.Белгород.
Perutsky Dmitry Nikolaevich, Candidate of Medical Sciences,
Associate Professor of the Department of Hospital Therapy
of the National Research University of Belgorod

МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ДИАГНОСТИКЕ РЕМОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА ПРИ ИНФАРКТЕ МИОКАРДА LEFT VENTRICULAR REMODELING ASSESSMENT FOLLOWING MYOCARDIAL INFARCTION

Аннотация: Ремоделирование левого желудочка обычно происходит при остром инфаркте миокарда (ОИМ) и часто связано с сердечной недостаточностью и повышением частоты смертей после острого инфаркта миокарда. Ранняя оценка ремоделирования левого желудочка с помощью различных методов визуализации может предотвращать серьезные неблагоприятные сердечные осложнения. Прогнозирование ремоделирования левого желудочка (ЛЖ) важно для прогнозирования исхода у пациентов с инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST (ИМпST). Целью данного обзора является освещение различных методов визуализации, которые позволят нам получить доступ к ремоделированию левого желудочка в раннем периоде заболевания и оценивать предикторы ремоделирования левого желудочка после инфаркта миокарда.

Abstract: Left ventricular remodeling commonly occurs following acute myocardial infarction. It is associated with heart failure and increased mortality. Early assessment of left ventricular remodeling by the different imaging method can help to predict worse cardiac events. Predicting left ventricle remodeling is important for outcome prediction in patients with ST-segment elevation myocardial infarction. The objective of this review is to highlight the imaging techniques that will allow us to access left ventricular remodeling and to know the predictive parameters of left ventricular remodeling after myocardial infarction.

Ключевые слова: ремоделирование левого желудочка, инфаркт миокарда, методы визуализации (компьютерная томография, эхокардиография, магнитно-резонансная томография и молекулярная томография).

Keywords: left ventricular remodeling assessment, myocardial infarction, imaging techniques (computed tomography, ultrasound, magnetic resonance imaging and nuclear imaging).

Материал и метод: Поиск и отбор публикаций по исследованиям, касающимся метода визуализации в диагностике ремоделирования левого желудочка при инфаркте миокарда, были проведены в библиографических данных: PubMed и Connected papers с 2010 по 2023 гг., а также путем введения поисковых запросов в системе Google Scholar. В ходе исследования было проанализировано более 50 статей, касающихся ремоделирования левого желудочка и методов диагностики. Английский и русский язык был установлен в качестве языкового ограничения.



Введение

Инфаркт миокарда (ИМ) является одной из ведущих причин смертности во всем мире. В классической форме ИМ представляет собой осложнение атероматозного заболевания на коронарном уровне с более или менее полной окклюзией коронарной артерии, приводящей к некрозу кардиомиоцитов [1]. Из рекомендации европейского общества кардиологов (ESC 2023 г.) по ведению острых коронарных синдромов, острые коронарные синдромы (ОКС) определяются как спектр состояний, которые включают пациентов с недавними изменениями клинических симптомов или признаков, с изменениями на электрокардиограмме в 12 отведениях или без них и с резким повышением концентрации сердечного тропонина (сTn) или без него. Пациентам с подозрением на ОКС в конечном итоге может быть поставлен диагноз острого инфаркта миокарда (ОИМ) или нестабильной стенокардии (НС). Диагноз инфаркта миокарда (ИМ) связан с высвобождением сTn и ставится на основании четвертого универсального определения ИМ [2]. Инфаркт миокарда приводит к гибели сердечных миоцитов и последующему некрозу ткани в зоне инфаркта, привлекая воспалительные клетки, которые фагоцитируют мертвые клетки в зоне инфаркта. Воспаление играет решающую роль в заживлении сердца после ИМ, способствуя первоначальному восстановлению инфаркта с заменой мертвых миоцитов рубцовой тканью. Однако в долгосрочной перспективе это также способствует изменениям формы и функции желудочков, включая расширение зоны инфаркта, истончение миокарда, дилатацию желудочков, гипертрофию непораженного участка миокарда и общее снижение сердечной функции. Эти изменения известны под общим названием «неблагоприятное ремоделирование желудочков» и связаны с повышением вероятности сердечной недостаточности и смертности [3].

Ремоделирование левого желудочка после ИМ представляет собой три фазы. Острая фаза (первая фаза) характеризуется изменением функции левого желудочка в результате дилатации желудочка. Расширение желудочка увеличивает систолическое и диастолическое напряжение стенки, что приводит к растяжению зоны некроза и ее истончению. Падение среднего артериального давления сопровождается активацией нейрогормональных систем (катехоламиновой и ренин-ангиотензин-альдостероновой системы), основной целью которых является поддержание артериального давления на нормальном уровне. Механические факторы и нейрогормональные факторы немедленно запускают процесс ремоделирования зоны некроза и зоны без некроза. Если преобладают адаптивные процессы, нейрогормональная активация снижается и начинается вторая фаза (фаза компенсированного ремоделирования), во время которой напряжения стенки более или менее нормализуются. Однако ремоделирование сердца сохраняется. Если же, наоборот дилатация желудочков и падение среднего артериального давления сохраняются, то происходит переход сразу в третью фазу, характеризующуюся сохранением нарастания механических напряжений стенок, активацией нейрогормональной системы и обострением ремоделирования. Потенциальными факторами, участвующими в процессе ремоделирования левого желудочка являются гибель миоцитов, дисбаланс между потребностью и доставкой кислорода, окислительный стресс, воспаление, фиброз и нейрогормональная активация [4,5]. Все эти механизмы приводят к ухудшению функции желудочков. В более или менее отдаленной перспективе они приводят к сердечной недостаточности и смерти больных. Таким образом, стратификация лиц с высоким риском неблагоприятного ремоделирования желудочков после ИМ может иметь диагностические, терапевтические и прогностические преимущества. В связи с этим целью данного обзора является оценка процесса ремоделирования левого желудочка в раннем периоде при инфаркте миокарда.



Результаты и их обсуждение

В настоящее время эхокардиография (2D и 3D-эхокардиография) является наиболее применяемым методом для выявления ремоделирования левого желудочка при ИМ. Она удобна, доступна, недорога и неинвазивна. Многие исследования с использованием различных методов визуализации в том числе магнитно-резонансной томографии, эхокардиографии, радионуклидной вентрикулографии при оценке ремоделирования желудочков после ОИМ продемонстрировали, что начальные объемы ЛЖ и их изменение при последующем наблюдении имеют прогностическое значение. Среди параметров систолической функции ЛЖ фракция выброса (ФВЛЖ), индекс конечно-диастолического объема ЛЖ (иКДО), индекс конечно-систолического объема ЛЖ (иКДО), индекс массы миокарда ЛЖ (иММЛЖ), конечная толщина стенки диастолы, конечно-систолическая толщина стенки и индекс движения стенки имели прогностическую ценность [5]. Хотя ФВЛЖ легко рассчитать, она зависит от преднагрузки и не коррелирует с симптомами. Более того, его специфичность в обнаружении изменения в миокарде незначительна. Konstam et al. показали что обычно используемые методы зависят от наблюдателя и имеют низкую чувствительность и специфичность [6]. Технология STE (Speckle tracking echocardiography) представляет собой самый совершенный метод эхокардиографии для раннего выявления нарушения деформации миокарда, которые не могут быть выявлены с помощью фракции выброса. Деформация миокарда может быть продольной, радиальной и циркулярной. Наиболее используемым в практике является продольная деформация (GLS). Olivier Nuttin et al., в 2016 г. проводили систематический обзор и предполагали, что эхокардиография с использованием технологий STE связана с изменениями объема или функции ЛЖ независимо от лежащих в основе механизмов и направления деформации. Мета-регрессия демонстрирует сильную связь между пиком продольной систолической деформации и неблагоприятным ремоделированием [7]. Tawfik W et al. изучили связь между продольной деформации миокарда (GLS) и ремоделированием левого желудочка у пациентов, перенесших острый коронарный синдром с подъемом сегмента ST. В исследование были включены 130 пациентов с острым коронарным синдромом с подъемом сегмента ST, которым проводили чрескожное коронарное вмешательство. Данные продольной деформации были получены при 48-часовом наблюдении и через 6 месяцев наблюдения. Пациенты были разделены на две группы: группа I- пациенты, у которых наблюдалось неблагоприятное ремоделирование ЛЖ, и группа II- пациенты, у которых ремоделирования не наблюдалось. Конечной точкой была совокупность сердечно-сосудистой смертности, повторной госпитализации из-за сердечной недостаточности и неотложной реваскуляризации. Средний исходный уровень GLS изменился с $-13,1 \pm 3,5\%$ для группы I и $-16,8 \pm 3,1\%$ для группы II до $-10,2 \pm 4,7\%$ и $-12,6 \pm 3,1\%$ соответственно через 6 месяцев наблюдения. ROC-анализ продемонстрировал, что пороговое значение исходного уровня GLS $> -12,5\%$ может предсказать ремоделирование ЛЖ с чувствительностью 64,5% и специфичностью 89%. Исследование доказало, что измерение продольной деформации может предсказать ремоделирование и неблагоприятные клинические события у пациентов с ИмпST [8].

Диастолическая дисфункция хорошо известна как ранние эхокардиографические признаки сердечной недостаточности с сохранной фракцией выброса левого желудочка и мощный прогностический показатель сердечно-сосудистых событий. Допплеровская эхокардиография была наиболее часто используемым инструментом при ее изучении [9]. Соотношение E/e' - это один из параметров для оценки диастолической функции пациентов с сердечной недостаточностью и нормальной фракцией выброса согласно данным Mitter et al (2017). Соотношение E/e' отражает давление наполнения левого желудочка [10]. Применение



соотношения E/e' также было изучено у пациентов с острым инфарктом миокарда, что свидетельствует о прогностических последствиях, коррелирующих с выживаемостью и возникновением дилатации после инфаркта миокарда [11]. Barberato et al. изучали роль соотношения E/e' в прогнозировании ремоделирования левого желудочка после острого инфаркта миокарда. В исследование были включены 55 пациентов с ИМ, и всем была проведена коронарография. Допплеровская эхокардиография была выполнена в течение 48 часов после коронарографии и 60 дней после инфаркта миокарда. Пациенты, у которых развилось ремоделирование, имели более высокие уровни маркеров некроза миокарда, худший функциональный класс (Killip), более низкую фракцию выброса и более высокую распространенность артериальной гипертензии, но соотношение E/e' было единственным независимым предиктором ремоделирования [12].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) остается золотым стандартом для оценки анатомии и функции сердца, особенно у пациентов со сложной анатомией (например, ожирением, наследственными заболеваниями и т. д.). МРТ не только выявляет наличие и тяжесть ремоделирования, но также предлагает ряд новых подходов для дифференциации зоны поражения, жизнеспособность пораженной зоны и непораженного участка миокарда. Сложные методы, такие как визуализация с кодированием деформации или отслеживание могут количественно оценить деформацию миокарда и получить информацию, сопоставимую с той, которую дает эхокардиографическая визуализация деформации. Уникальной особенностью МРТ является его способность характеризовать состав ткани миокарда, чтобы определить обратимое или необратимое повреждение: T2-визуализация может показать воспаление, указывающее на обратимое повреждение, в то время как диффузный фиброз выявляется, например, с помощью T1-картирования и/или фокального рубца, выявленные при позднем гадолиниевом контрастировании (LGE), демонстрируют необратимое повреждение. Обнаружение рубцов с помощью LGE позволяет дифференцировать ишемическую и неишемическую этиологию сердечной недостаточности [13,14]. В 2012 году O'Regan DP et al. использовали 3D-совместную регистрацию изображений магнитно-резонансной томографии для оценки долгосрочных последствий ишемически-реперфузионного повреждения на структуру левого желудочка после острого инфаркта миокарда с подъемом ST. Всем пациентам проводим МРТ сердца через 7 дней после чрескожного коронарного вмешательства и после одного года наблюдения. Ремоделирование левого желудочка в зоне некроза было больше, чем в непораженном участке миокарда ($1,6\% \pm 1,0$ против $0,3\% \pm 0,9$, 95% ДИ: $-2,4\% - -0,2\%$, $P = 0,02$). Однофакторный дисперсионный анализ показал, что толщина трансмурального инфаркта оказывала значительное влияние на степень ремоделирования через один год ($P < 0,0001$), при этом наибольшая дилатация стенки наблюдалась, когда трансмуральность инфаркта превышала 50%. Ремоделирование было более тяжелым при наличии микрососудистой обструкции ($3,8\% \pm 1,3$ против $-1,6\% \pm 1,4$, 95% ДИ: $-9,1\% - -1,5\%$, $P = 0,007$) и при увеличении конечного диастолического объема на $>20\%$ ($4,8\% \pm 1,4$ против $-0,15\% \pm 1,2$, 95% ДИ: $-8,9\% - -0,9\%$, $P = 0,017$) [15]. Совместная регистрация МРТ имеет потенциал для оценки динамических изменений в структуре желудочков в связи с терапевтическими вмешательствами.

Weir RA et al. предполагают, что индекс глобальной функции левого желудочка (LVGFI) может быть полезен при выявлении пациентов с более высоким риском ремоделирования [14]. Другие исследования показали, что индекс глобальной функции левого желудочка, оцениваемый с помощью МРТ связан с более выраженным инфарктом и позволяет прогнозировать сердечно-сосудистую заболеваемость и смертность от всех причин [16].

Для диагностики ремоделирования левого желудочка в ранней стадии можно применить однофотонную эмиссионную компьютерную томографию (ОФЭКТ). При



визуализации миокарда с помощью ОФЭКТ используется гамма-камера, которая вращается вокруг пациента, собирая образцы излучения в различных точках для получения ряда изображений, которые затем можно реконструировать для создания трехмерного изображения. Клинически одобренные радиоактивные индикаторы, такие как таллий-201 (^{201}Tl) и технеций-99 м ($^{99\text{mTc}}$) сестамиби или ($^{99\text{mTc}}$) тетrafosмин, вводятся пациенту внутривенно и поглощаются кардиомиоцитами, которые представляют их первоначальное распределение, и это рассматривается как маркер для перфузии миокарда. Получение изображений выполняется, когда пациент находится в состоянии покоя, а также в состоянии стресса, что позволяет оценить жизнеспособность и перфузию миокарда [17]. Показали что оценка индекса формы левого желудочка полученный с помощью данных ОФЭКТ может выявить пациентов с ранней стадией ремоделирования ЛЖ и с более высоким риском неблагоприятных сердечных событий даже при наличии нормальной перфузии миокарда [18,19].

Позитронно-эмиссионная томография / компьютерная томография (ПЭТ/КТ) сердца чаще всего используется для определения тяжести функциональных нарушений и прогнозирования прогрессирования заболевания. При этом особое внимание уделяется определению геометрии левого желудочка и сократительной функции, а также количественного кровотока и резерва кровотока. Определение фракции выброса левого желудочка обеспечивает надежный прогноз смертности и прогрессирования сердечной недостаточности. Количественная оценка кровотока и резерва кровотока миокарда также имеет дополнительную ценность при выявлении риска прогрессирования сердечной недостаточности [20]. Наибольший потенциал ПЭТ/КТ сердца заключается в способности количественно отображать индивидуальные вариации патогенеза на молекулярном уровне. Ранние и критические процессы, включая воспаление и активацию миофибробластов, определяют тяжесть ремоделирования желудочков и вероятность прогрессирующей сердечной недостаточности. Визуализация с использованием лиганда CXCR4 ^{68}Ga -пентиксафора у мышей после постоянной перевязки левой коронарной артерии выявила быстрое и преходящее увеличение общего содержания лейкоцитов в зоне инфаркта. Интенсивность сигнала ПЭТ-изображения через 3 дня после травмы предсказывала тяжесть ремоделирования желудочка и сократительной дисфункции через 6 недель, независимо от размера инфаркта [21]. В одном исследовании Мин Чжан (Min Zhang) и др. оценили прогностическую ценность ингибитора фактора активации фибробластов (ФАПИ), меченных ^{68}Ga (^{68}Ga -ФАПИ-04) с помощью ПЭТ/МРТ для выявления позднего ремоделирования левого желудочка (ЛЖ) у пациентов с инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST (ИМпST). В исследование были включены двадцать шесть пациентов с ИМпST. Всем пациентам выполняли ПЭТ/МРТ в начале и через 12 месяцев после ИМпST. Ремоделирование ЛЖ определялось как увеличение конечно-систолического объема ЛЖ (КСО) $>10\%$ от исходного уровня до 12 месяцев. Результаты показали что в группе с ремоделированием ЛЖ наблюдался более высокий объем поглощения меченных ^{68}Ga (^{68}Ga -ФАПИ-04) на исходном уровне, чем в группе без ремоделирования ЛЖ ($p < 0,001$). Меченные ^{68}Ga (^{68}Ga -ФАПИ-04) на исходном уровне был значимым предиктором ($\text{OR} = 1,048$, $p = 0,011$) ремоделирования ЛЖ через 12 месяцев после ИМпST. По сравнению с клинической информацией, данными МРТ и параметрами функции сердца на исходном уровне, ^{68}Ga -ФАПИ-04 продемонстрировал лучшую прогностическую способность ($p < 0,001$) для выявления позднего ремоделирования ЛЖ с чувствительностью $100,0\%$ и специфичностью $81,3\%$ [22].

Прогностическая ценность ремоделирования

Степень ремоделирования ЛЖ является решающим фактором, определяющим прогноз после ИМ. Неблагоприятное ремоделирование, характеризующееся увеличением объемов ЛЖ и снижением систолической функции, связано с более высоким риском сердечной



недостаточности и смертности. И наоборот, обратное ремоделирование, при котором происходит уменьшение объемов ЛЖ и улучшение функции, указывает на лучший прогноз. Раннее выявление пациентов с риском неблагоприятного ремоделирования может помочь адаптировать терапевтические стратегии для предотвращения этих изменений [5].

Обсуждение

На сегодняшний день, оценка ремоделирования левого желудочка в реннем периоде возможно при помощи различных методов визуализации. В нескольких исследованиях первая эхоКГ выполняется в течение первых 24 часов. Большая часть выполняется в течение первых 48 часов и никогда после 10-го дня. Такое различное время оценки может привести к недооценке ремоделирования из-за быстрых динамических изменений происходящих в течение первой недели. Однако оценки объемов ЛЖ, полученные на основе 2D-изображений, могут варьироваться в зависимости от выбора плоскости изображения и неточностей анализа конечно-систолического объема. Магнитно-резонансная томография считается золотым методом для измерения объема левого желудочка, учитывая их высокую воспроизводимость при обнаружении небольших изменений между двумя моментами времени. Однако МРТ не всегда доступна. 2D изображения эхоКГ остается преобладающим применяемым методом в клинической практике из-за ее широкой доступности. Продольная деформация необходимо дополнять стандартные измерения объема ЛЖ, чтобы повысить потенциал ЭХОКГ для оценки размера инфаркта и последующего прогнозирования ремоделирования ЛЖ без дополнительных затрат и с очень ограниченным дополнительным временем. Другие дополнительные методы такие как позитронно-эмиссионная томография и однофотонная эмиссионная компьютерная томография позволяют визуализировать молекулярные пути, которые происходят во время ремоделирования, позволяя проводить серийные изображения, показывающие прогрессирование заболевания и терапевтический ответ. Они могут быть использованы клиницистами в прогностических целях и для индивидуального подбора лекарств. Однако их недоступность и высокая стоимость делают невозможным их широкое применение в большой популяции [17,23].

Заключение

Неблагоприятное ремоделирование ЛЖ после ИМ представляет собой процесс особой важности, поскольку оно часто приводит к сердечной недостаточности, повышению смертности и высокому экономическому бремени. Понимание патофизиологии и использование потенциальных биомаркеров, предсказывающих неблагоприятное ремоделирование, делают возможным интегративный терапевтический подход и лучшую оценку прогноза. Новые методы визуализации позволяют более детально оценить неблагоприятное ремоделирование, а также реакцию на терапию, направленную на дезадаптивный процесс. Знание этих методов, ассоциированное с ранним выявлением предикторов ремоделирования и более ранним терапевтическим вмешательством может позволить ограничить последствия ремоделирования левого желудочка.

Список литературы:

1. N. Danchin, Z. Kadri. 2023. Épidémiologie des maladies cardiovasculaires et de l'infarctus du myocarde. Doi: 10.1016/S1166-4568 (23)91302-1
2. Byrne RA, Rossello X, Coughlan JJ, Barbato E, Berry C, Chieffo A, Claeys MJ, Dan GA, Dweck MR, Galbraith M, Gilard M, Hinterbuchner L, Jankowska EA, Jüni P, Kimura T, Kunadian V, Leosdottir M, Lorusso R, Pedretti RFE, Rigopoulos AG, Rubini Gimenez M, Thiele H, Vranckx P, Wassmann S, Wenger NK, Ibanez B; ESC Scientific Document Group. 2023 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes. Eur Heart J. 2023 Oct 12;44 (38):3720-3826. doi: 10.1093/eurheartj/ehad191.



3. Curley D, Lavin Plaza B, Shah AM, Botnar RM. Molecular imaging of cardiac remodeling after myocardial infarction. *Basic Res Cardiol*. 2018 Jan 17;113 (2):10. doi: 10.1007/s00395-018-0668-z.
4. Azevedo PS, Polegato BF, Minicucci MF, Paiva SA, Zornoff LA. Cardiac Remodeling: Concepts, Clinical Impact, Pathophysiological Mechanisms and Pharmacologic Treatment. *Arq Bras Cardiol* 2016; 106:62-69.
5. Leancă SA, Crișu D, Petriș AO, Afrăsânie I, Genes A, Costache AD, Tesloianu DN, Costache II. Left Ventricular Remodeling after Myocardial Infarction: From Physiopathology to Treatment. *Life (Basel)*. 2022 Jul 24;12 (8):1111. doi: 10.3390/life12081111.
6. Konstam MA, Kramer DG, Patel AR, Maron MS, Udelson JE. Left ventricular remodeling in heart failure: current concepts in clinical significance and assessment. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011; 4:98-108.
7. Olivier Huttin, Stefano Coiro, Christine Selton-Suty, et al. (2016) Prediction of Left Ventricular Remodeling after a Myocardial Infarction: Role of Myocardial Deformation: A Systematic Review and Meta-Analysis
8. Tawfik W, El-Sherif A, Bendary A, Mahros M, Salem M. Impact of global longitudinal strain on left ventricular remodeling and clinical outcome in patients with ST-segment elevation myocardial infarction (STEMI). *Echocardiography*. 2020 Apr;37 (4):570-577. doi: 10.1111/echo.14648.
9. Nagueh S.F., Smiseth O.A., Appleton C.P. et al.: "Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging". *J Am Soc Echocardiogr* 2016; 29: 277
10. Mitter SS, Shah SJ, Thomas JD. A Test in Context: E/A and E/e' to Assess Diastolic Dysfunction and LV Filling Pressure. *J Am Coll Cardiol*. 2017 Mar 21;69 (11):1451-1464. doi: 10.1016/j.jacc.2016.12.037.
11. Hillis GS, Moller JE, Pellikka PA, Gersh BJ, Wright RS, Ommen SR, et al. Noninvasive estimation of the left ventricular filling pressure by E/e' is a powerful predictor of survival after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol*. 2004;43 (3):360-7.
12. Barberato SH, Souza AM, Costantini CO, Costantini CRF. Relação E/ e' na predição da remodelação do ventrículo esquerdo após infarto agudo do miocárdio (E/ e' ratio prediction of left ventricular remodeling after acute myocardial infarction). *Rev bras ecocardiogr imagem cardiovasc*. 2013; 26 (3):189-195.
13. Friedrich MG. The Future of Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging. *Eur Heart J*. 2017 Jun 7;38 (22):1698-1701. doi: 10.1093/eurheartj/ehx243.
14. Weir RAP, Clements S, Steedman T, Dargie HJ, McMurray JJV. Prognostic value of cardiac magnetic resonance parameters and biomarkers following myocardial infarction; 10-year follow-up of the Eplerenone Remodelling in Myocardial Infarction without Heart Failure trial. *Eur J Heart Fail*. 2022 Feb;24 (2):393-395. doi: 10.1002/ejhf.2402.
15. O'Regan DP, Shi W, Ariff B, Baksi AJ, Durighel G, Rueckert D, Cook SA. Remodeling after acute myocardial infarction: mapping ventricular dilatation using three dimensional CMR image registration. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2012 Jun 21;14 (1):41. doi: 10.1186/1532-429X-14-41.
16. Eitel I, Pöss J, Jobs A, Eitel C, de Waha S, Barkhausen J, Desch S, Thiele H. Left ventricular global function index assessed by cardiovascular magnetic resonance for the prediction of cardiovascular events in ST-elevation myocardial infarction. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2015 Jul 16;17 (1):62. doi: 10.1186/s12968-015-0161-x.
17. Curley D, Lavin Plaza B, Shah AM, Botnar RM. Molecular imaging of cardiac remodelling after myocardial infarction. *Basic Res Cardiol*. 2018 Jan 17;113 (2):10. doi: 10.1007/s00395-018-0668-z.



18. Gaudieri V, Nappi C, Acampa W, Zampella E, Assante R, Mannarino T, Genova A, De Simini G, Klain M, Germano G, Petretta M, Cuocolo A. Added prognostic value of left ventricular shape by gated SPECT imaging in patients with suspected coronary artery disease and normal myocardial perfusion. *J Nucl Cardiol.* 2019 Aug;26 (4):1148-1156. doi: 10.1007/s12350-017-1090-x.
19. Nitta K, Kurisu S, Erasta R, Sumimoto Y, Ikenaga H, Ishibashi K, Fukuda Y, Kihara Y. Associations of left ventricular shape with left ventricular volumes and functions assessed by ECG-gated SPECT in patients without significant perfusion abnormality. *Heart Vessels.* 2020 Jan;35 (1):86-91. doi: 10.1007/s00380-019-01465-3.
20. Konerman MC, Lazarus JJ, Weinberg RL, Shah RV, Ghannam M, Hummel SL, Corbett JR, Ficaro EP, Aaronson KD, Colvin MM, Koelling TM, Murthy VL. Reduced Myocardial Flow Reserve by Positron Emission Tomography Predicts Cardiovascular Events After Cardiac Transplantation. *Circ Heart Fail.* 2018 Jun;11 (6):e004473. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.117.004473.
21. Hess A, Derlin T, Koenig T, Diekmann J, Wittneben A, Wang Y, Wester HJ, Ross TL, Wollert KC, Bauersachs J, Bengel FM, Thackeray JT. Molecular imaging-guided repair after acute myocardial infarction by targeting the chemokine receptor CXCR4. *Eur Heart J.* 2020 Oct 1;41 (37):3564-3575. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa598.
22. Zhang M, Quan W, Zhu T, Feng S, Huang X, Meng H, Du R, Zhu Z, Qu X, Li P, Cui Y, Shi K, Yan X, Zhang R, Li B [68Ga]Ga-DOTA-FAPI-04 PET/MR in patients with acute myocardial infarction: potential role of predicting left ventricular remodeling. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2023 Feb;50 (3):839-848. doi: 10.1007/s00259-022-06015-0. Epub 2022 Nov 3.
23. Tomoiaia R, Beyer RS, Simu G, Serban AM, Pop D. Understanding the role of echocardiography in remodeling after acute myocardial infarction and development of heart failure with preserved ejection fraction. *Med Ultrason.* 2019 Feb 17;21 (1):69-76. doi: 10.11152/mu-1768.

