

ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРФУЗИОННОЙ СЦИНТИГРАФИИ МИОКАРДА В ОБСЛЕДОВАНИИ ПАЦИЕНТОВ С ИШЕМИЧЕСКОЙ КАРДИОМИОПАТИЕЙ

Шипулин В.В., Саушкин В.В., Пряхин А.С., Андреев С.Л.,
Веснина Ж.В., Завадовский К.В.

Ишемиическая кардиомиопатия – выраженная сократительная дисфункция и расширение полостей желудочков сердца, имеющие в своей основе обструктивное поражение коронарных артерий. Успех хирургического лечения ишемиической кардиомиопатии зависит, помимо прочих факторов, от объема дисфункционального, но жизнеспособного миокарда, способного восстановить свою сократительную функцию после коронарного шунтирования. Если его количество незначительно, риск от операции превышает таковой от медикаментозной терапии. Наиболее доступным радионуклидным методом идентификации жизнеспособного миокарда является перфузионная сцинтиграфия миокарда с радиофармацевтическими препаратами на основе ^{201}Tl и $^{99\text{mTc}}$.

В обзоре представлены сведения о возможностях применения данного метода в аспекте прогноза восстановления функции миокарда левого желудочка сердца после оперативного лечения больных с ишемиической кардиомиопатией. Приведены сведения о диагностической эффективности таких сцинтиграфических симптомов, как сегментарное накопление радиофармпрепарата, анализ подвижности и систолического утолщения стенки левого желудочка сердца, его индекса эксцентричности и механической диссинхронии. Приведен анализ результатов выполнения перфузионной сцинтиграфии миокарда в сочетании с фармакологическими пробами с вазодилататорами и инотропными агентами – добутамином и нитроглицерином. В заключительной части обзора проанализированы крупнейшие на данный момент исследования, посвященные изучению зависимости между наличием жизнеспособного миокарда и прогнозом развития неблагоприятных сердечных событий в данной группе больных.

Ключевые слова: ишемиическая кардиомиопатия, ишемиическая болезнь сердца, жизнеспособность, ОФЭКТ, диссинхрония, левый желудочек, реваскуляризация.

Контактный автор: Завадовский К.В., e-mail: konstzav@gmail.com

Для цитирования: Шипулин В.В., Саушкин В.В., Пряхин А.С., Андреев С.Л., Веснина Ж.В., Завадовский К.В. Возможности перфузионной сцинтиграфии миокарда в обследовании пациентов с ишемиической кардиомиопатией. REJR 2019; 9(3):155-175. DOI:10.21569/2222-7415-2019-9-3-155-175.

Статья получена: 20.08.19

Статья принята: 27.09.19

THE VALUE OF MYOCARDIUM PERFUSION IMAGING IN ASSESSMENT OF PATIENTS WITH ISCHEMIC CARDIOMYOPATHY

Shipulin V.V., Saushkin V.V., Pryakhin A.S., Andreev S.L.,
Vesnina Zh.V., Zavadovsky K.V.

Ishemic cardiomyopathy - severe contractile dysfunction and dilatation of the heart based on obstructive coronary arteries lesion. The success of surgical treatment of ischemic cardiomyopathy among other factors depends on the volume of dysfunctional but viable myocardium that can restore its contractile function after surgery: if the amount

НИИ кардиологии ФГБ-
НУ «Томский националь-
ный исследовательский
медицинский центр Рос-
сийской академии наук».
г. Томск, Россия.

Cardiology Research
Institute, Tomsk National
Research Medical Centre,
Russian Academy of
Sciences.
Tomsk, Russia.

is insignificant, the risk from surgery exceeds that from medical therapy. The most accessible radionuclide method for identifying viable myocardium is myocardial perfusion scintigraphy with ^{201}Tl -based or $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -based radiopharmaceutical.

The review presents information on the potential application of these methods for predicting myocardial function recovery in left ventricle after the surgical treatment of patients with ischemic cardiomyopathy. The information about the diagnostic effectiveness of such scintigraphic symptoms as segmental accumulation of radiopharmaceutical, wall motion and systolic thickening analysis, eccentricity indices and mechanical dyssynchrony is given, as well as research data on myocardial perfusion scintigraphy in combination with vasodilator and inotropic agents such as dobutamine and nitroglycerin. In the final part of the review large-scale studies on the association of the presence of a viable myocardium and the prognosis of adverse cardiac events are analyzed.

Keywords: ischemic cardiomyopathy, coronary artery disease, viability, SPECT, dyssynchrony, left ventricle, revascularization.

Corresponding author: Zavadovsky K.V., e-mail: konstzav@gmail.com

For citation: Shipulin V.V., Saushkin V.V., Pryakhin A.S., Andreev S.L., Vesnina Zh.V., Zavadovsky K.V. The value of myocardium perfusion imaging in assessment of patients with ischemic cardiomyopathy. REJR 2019; 9(3):155-175. DOI:10.21569/2222-7415-2019-9-3-155-175.

Received: 20.08.19

Accepted: 27.09.19

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) была и остается одной из ведущих причин смертности и инвалидизации во всем мире [1, 2]. В России с 1998 по 2014 годы было выявлено увеличение числа пациентов с III-IV функциональными классами ХСН с 1 760 000 до 5 997 000 человек, причем значительно возросла роль такого этиологического фактора как перенесенный острый инфаркт миокарда – с 5,8% до 15,3% [2]. В случае, если причиной ХСН явилась ишемическая болезнь сердца (ИБС), используется термин «ишемическая кардиомиопатия» (ИКМП) [3]. Современное определение ИКМП включает в себя следующие критерии: фракция выброса (ФВ) левого желудочка (ЛЖ) $\leq 40\%$, увеличение его объемов, инфаркт миокарда (ИМ) или реваскуляризация в анамнезе, стенозирующее поражение более 75% ствола левой коронарной артерии, либо проксимальный стеноз передней нисходящей артерии; стенозирующее ($>75\%$) поражение двух и более коронарных артерий [4]. Частота развития ИКМП у больных ИБС варьирует от 10% до 40% [5].

В алгоритме предоперационного обследования данной категории пациентов наиболее востребованными являются такие методы визуализации, как эхокардиография (ЭхоКГ), магнитно-резонансная томография (МРТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ). Первые два из них больше направлены на оценку анатомии и функционального состояния ЛЖ, тогда как последние позволяют изучить состояние метаболизма кар-

диомиоцитов и целостность их мембран.

В настоящее время наиболее доступным методом визуализации клеточной перфузии миокарда является ОФЭКТ [6 - 8]. Этот метод также позволяет оценивать сократительную функцию и диссинхронию ЛЖ [9, 10]. В отечественной литературе практически не встречается работ, посвященных современным возможностям ОФЭКТ в обследовании пациентов с ИКМП. Актуальность данной теме придает и тот факт, что в Российской Федерации функционирует мало специализированных кардиологических ПЭТ-центров, тогда как число гамма-камер неуклонно увеличивается [11]. В свою очередь, рост числа высокоспециализированных медицинских центров, где выполняется хирургическая коррекция ИКМП, повышает потребность кардиологов и кардиохирургов в лучевых исследованиях пациентов подобного профиля.

Таким образом, целью настоящего обзора является представление актуальной информации о возможностях перфузионной сцинтиграфии миокарда в обследовании пациентов с ИКМП для прогнозирования объема и целесообразности оперативного вмешательства.

Поиск оригинальных исследований, обзоров литературы и метаанализов, касающихся применения перфузионной сцинтиграфии миокарда у больных ИКМП, осуществляли в онлайн-базах данных Pubmed, Web of Science, ScienceDirect и eLibrary. Поиск проводили без фиксированной начальной даты до июня 2019 года. Использовали следующие ключевые слова: ischemic cardiomyopathy, coronary artery

disease, viability, SPECT, dyssynchrony, left ventricle, revascularization, ишемическая кардиомиопатия, ишемическая болезнь сердца, жизнеспособность, ОФЭКТ, диссинхрония, левый желудочек, ревазуляризация.

Патофизиологические изменения в миокарде, происходящие при его длительной ишемии.

Правильная интерпретация результатов визуализирующих методов исследования невозможна без понимания патофизиологических изменений, происходящих в миокарде при его ишемии.

В этой связи важно обозначить понятие «жизнеспособного миокарда» (ЖМ) – области миокарда с нарушенной вследствие ишемии сократимостью, но сохранившие способность к ее восстановлению после реперфузии [12]. Кроме того, выделяют более «узкие» термины, такие как гибернация и станнинг. Под гибернированными (ГМ) понимают области миокарда с нарушенной перфузией и сократимостью, но сохранённым метаболизмом [13]. Понятие «станнированный миокард» (СМ) предполагает сочетание нормальной перфузии и нарушенной сократимости в областях, которые находились в условиях ишемии [14].

В норме основным источником энергии для кардиомицитов служат свободные жирные кислоты, которые окисляются в митохондриях за счет окислительного фосфорилирования, и лишь 5% потребности в аденозинтрифосфате покрываются за счет гликолиза и метаболизма кетоновых тел [15, 16]. В условиях гибернации, ввиду постоянной и периодической ишемии, возникает снижение β -окисления жирных кислот и переход метаболизма кардиомиоцитов на анаэробный гликолиз. В кардиомиоцитах увеличивается запас гликогена, возникает потеря саркомеров и миофибрилл, а также развивается внеклеточный фиброз [17].

Некоторые авторы трактуют понятие «жизнеспособный миокард» с позиции сохранения сократимости и метаболизма кардиомиоцитов до лечения (хирургического либо медикаментозного), либо с позиции восстановления локальной и глобальной контрактильности после лечения [12, 19]. В настоящее время ПЭТ с фтордезоксиглюкозой (18F-ФДГ) является стандартным методом выявления жизнеспособного миокарда [20]. Это обусловлено тем, что именно сохранённый метаболизм кардиомиоцитов является наиболее специфичным признаком, позволяющим дифференцировать рубцовую ткань и миокард, способный к восстановлению своей функции [21, 22].

Важность вопроса определения ЖМ продиктована тем, что наличие его после острого ИМ может служить субстратом для развития злокачественных аритмий [23], сократительной

дисфункции, приводящей к сердечной недостаточности и ремоделированию ЛЖ [24]. В то же время, ревазуляризация жизнеспособных зон миокарда улучшает долгосрочный прогноз у данных пациентов значительно больше, чем медикаментозная терапия (МТ) [18, 25 - 28].

Резонно, что операции, направленные на улучшение перфузии участков ЖМ (шунтирование/стентирование коронарных артерий), должны приводить к улучшению сократительной способности миокарда, повышению фракции выброса ЛЖ и, как следствие, снижению класса сердечной недостаточности [26, 27].

Iskandrian A.E. et al. выделили следующие группы пациентов, которым показана оценка жизнеспособности миокарда: 1 – пациенты с ишемической кардиомиопатией (ФВ ЛЖ < 35% при многососудистом поражении коронарных артерий), в том числе (а) без стенокардии, (б) с выраженной стенокардией, (в) с сердечной недостаточностью, (г) с сопутствующими тяжёлыми нарушениями ритма сердца; 2 – пациенты после острого ИМ с обширной областью дисфункционального миокарда и тяжёлым поражением инфаркт-зависимой венечной артерии [29].

Возможности перфузионной сцинтиграфии с изотопами таллия.

Для исследования перфузии миокарда применяются в основном радиофармпрепараты (РФП) на основе таллия (^{201}Tl [9] и ^{199}Tl [8,30]), а также препараты на основе технеция ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -метокси-изобутил-изонитрил (МИБИ) и $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -тетрофосмин [9]). Все эти препараты являются кардиотропными и накапливаются в кардиомиоцитах пропорционально коронарному кровотоку [31].

Как известно, ионы таллия являются аналогами катионов калия и транспортируются посредством Na/K АТФазы через клеточную мембрану, являясь, таким образом, маркером ее целостности. Первоначальные этапы поступления и накопления индикатора в кардиомиоцитах зависят от интенсивности коронарного кровотока. Однако после установления равновесного состояния между вне- и внутриклеточным пространством (4-24 ч после введения) градиент концентрации таллия между кровью и миокардом определяется исключительно функцией Na/K АТФазы [32]. Важной особенностью таллия является его способность к «перераспределению», т.е. вымыванию нуклида из неишемизированного миокарда и задержке его выведения из зон со сниженным кровотоком. При этом «замывание» дефекта перфузии (ДП) наблюдается лишь при сохранении функции клеточных мембран, что является косвенным признаком жизнеспособности кардиомиоцитов [33]. Это свойство таллия позволяет использовать протоколы с ранним и отсроченным ска-

нированием, а также с реинъекцией индикатора, что повышает чувствительность и специфичность этой методики в определении ЖМ [20, 33]. Использование последнего протокола обусловлено тем, что не все стойкие ДП представляют собой рубец: 30% пациентов, отсроченные сцинтиграммы которых не демонстрируют перераспределения, на самом деле имеют жизнеспособный миокард [34].

При перфузионной сцинтиграфии миокарда (ПСМ) с таллием большинство исследователей считают жизнеспособными такие сегменты миокарда, захват индикатора в которых превышает 50% (относительно области с максимальной аккумуляцией РФП), а также сегменты с дефектами перфузии, увеличивающими захват РФП на отсроченных изображениях на 10% и более [36].

В метаанализе Schinkel A.F. et al. [19] на основании исследований 1980 – 2007 гг. была проанализирована предсказательная возможность ряда методов визуализации (ЭХО-КГ, ПЭТ с ^{18}F -ФДГ, ПСМ с ^{201}Tl и $^{99\text{mTc}}$ -МИБИ) в отношении восстановления региональной и глобальной сократимости ЛЖ, а также прогноза развития неблагоприятных сердечных событий после реваскуляризации либо медикаментозной терапии.

По данным исследований с ^{201}Tl (40 исследований, 1119 пациентов), посвященным прогнозу восстановления локальной сократительной функции ЛЖ после реваскуляризации, общие значения чувствительности, специфичности, положительной (ППЗ) и отрицательной (ОПЗ) предсказательной значимости составили 87%, 56%, 71% и 78% соответственно; для протоколов с реинъекцией таллия-201 (12 исследований, 343 пациента) – 87%, 50%, 58% и 81% соответственно. Протоколы «покой-перераспределение» имели статистически значимо большую специфичность и ППЗ по сравнению с таковыми, предполагающими реинъекцию ^{201}Tl , тогда как значения чувствительности и ОПЗ были сопоставимы [19].

В аспекте восстановления глобальной сократимости ЛЖ после реваскуляризации были оценены результаты 5 исследований (235 пациентов) с ^{201}Tl . Критерием восстановления глобальной сократительной функции ЛЖ в большинстве исследований было увеличение ФВ ЛЖ в отдаленном периоде $\geq 5\%$ (в абсолютных значениях). Было установлено, что чувствительность, специфичность, ППЗ и ОПЗ составили 84%, 53%, 76% и 64% соответственно [19].

При сравнении информативности разных методов лучевой диагностики было установлено, что чувствительность радионуклидных модальностей статистически значимо превышает таковую для ЭхоКГ с добутамином в прогнозировании восстановления глобальной контрак-

тивной функции. В показателях специфичности, ППЗ и ОПЗ значимых различий выявлено не было. Однако объем ЖМ, при наличии которого можно прогнозировать улучшение сократимости ЛЖ после реваскуляризации, варьировал от 12% до 38%. Таким образом, остается неясным, какое количество ЖМ необходимо для прогнозирования улучшения функции ЛЖ после реваскуляризации [19].

Влияние ЖМ на общую смертность было изучено в 9 исследованиях (975 пациентов) с ^{201}Tl . Оказалось, что при наличии ЖМ общая смертность была выше на фоне применения медикаментозной терапии по сравнению с реваскуляризацией: 7% и 4%, соответственно. В случаях отсутствия ЖМ реваскуляризация была ассоциирована с большей смертностью в сравнении с МТ – 14% и 7% соответственно [19].

Когда референтным методом служило восстановление локальной сократительной функции ЛЖ, радионуклидные методы обладали наибольшей чувствительностью (ПЭТ с ^{18}F -ФДГ – 92%, ^{201}Tl – 87%, $^{99\text{mTc}}$ – 83%), тогда как ЭхоКГ с добутамином имела наибольшие значения специфичности – 79%. Наибольшей ППЗ обладали стресс-ЭхоКГ и ПЭТ (76% и 74%), при этом ПЭТ обладала наибольшей (87%) ОПЗ. Когда «золотым» стандартом являлось восстановление глобальной функции ЛЖ, сцинтиграфические методики имели наибольшие значения чувствительности (сопоставимые между собой), тогда как специфичность, ППЗ и ОПЗ достоверно не различались [19].

В более позднем мета-анализе Inaba Y. et al. [35], основанном на 5 исследованиях пациентов с ИКМП в период с 1999 по 2003 гг., было установлено, что объем жизнеспособного миокарда (по данным ОФЭКТ с ^{201}Tl) $\geq 38,0\%$ (ДИ 26,2%; 49,7%) ассоциирован с более высокой частотой выживаемости пациентов при использовании реваскуляризации по сравнению с консервативной терапией. В большинстве исследований был использован протокол «покой-перераспределение», и жизнеспособными были признаны сегменты миокарда с накоплением РФП 50% и более от максимального.

В работе Dilsizian V. et al. с помощью протокола «нагрузка-перераспределение-реинъекция» было показано, что реинъекция таллия в покое (сразу после записи изображений перераспределения индикатора через 3-4 ч после нагрузки) приводит к увеличению поглощения таллия в 49% регионов с явно необратимыми дефектами перфузии [37]. Это подчеркивает, что количественный анализ изменений накопления таллия, происходящих в ДП после реинъекции в дополнение к активности РФП, а также его перераспределению может быть информативным для идентификации жизнеспособного миокарда. При сравнении результатов

ПСК с ^{201}Tl в покое и ПЭТ с ^{18}F -ФДГ оказалось, что последняя методика позволила выявить от 14% до 21% потенциально жизнеспособных сегментов, которые были идентифицированы как нежизнеспособные по данным ПСК [38 - 40].

Однако, в случаях выраженного снижения глобальной сократимости ЛЖ, информативность перфузионной сцинтиграфии миокарда с ^{201}Tl снижается. Так, в 1998 году Srinivasan G. et al. [41] выявили достаточно высокую согласованность между данными ОФЭКТ с ^{201}Tl (протокол покой-перераспределение-реинъекция) и ПЭТ с ^{18}F -ФДГ в выявлении ЖМ (соответствие 92%). Тем не менее, в подгруппе пациентов с выраженным снижением ФВ ЛЖ (<25%) согласованность обоих методов в выявлении ЖМ оказалась значимо ниже – 43% нежизнеспособных по данным ОФЭКТ сегментов не были признаны таковыми по данным ПЭТ.

Akinboboye O.O. et al. [42] провели ПЭТ с ^{18}F -ФДГ 33 пациентам с ишемической кардиомиопатией – кандидатам на пересадку сердца, у которых не было обнаружено жизнеспособного миокарда на основании данных ОФЭКТ с ^{201}Tl (различные протоколы, включавшие перераспределение и реинъекцию). Позитронная эмиссионная компьютерная томография с ^{18}F -ФДГ позволила определить жизнеспособность в половине сегментов, признанных нежизнеспособными по данным исследования с ^{201}Tl .

Использование ^{201}Tl предпочтительней РФП на основе $^{99\text{m}}\text{Tc}$ для оценки миокардиального кровотока за счет высокой скорости экстракции и почти линейного поглощения [43, 44]. Однако, высокая лучевая нагрузка, длительный период полураспада, гетерогенный спектр излучения, а также сложность получения привели к более широкому распространению РФП на основе $^{99\text{m}}\text{Tc}$ [45].

Части указанных недостатков лишен отечественный аналог – ^{199}Tl , который не уступает по диагностическим свойствам ^{201}Tl [46], но имеет значительно более короткий период физического полураспада ($T_{1/2} = 7,4$ ч), что позволяет снизить экспозиционную дозу облучения пациента в 5-7 раз и создает возможность для мониторингового наблюдения за состоянием коронарной микроциркуляции. Необходимо отметить, что по ряду технических и логистических обстоятельств ^{199}Tl использовался только в г. Томске.

Так, в исследовании Лишманова Ю.Б. с соавт. [47] посредством ОФЭКТ с ^{199}Tl были обследованы пациенты с ИКМП до операции (протокол: нагрузка-перераспределение-реинъекция в покое) и через 3-4 недели после операции. Было показано, что при повторной инъекции ^{199}Tl количество аперфузируемых сегментов уменьшилось на 40% по сравнению с

перераспределением. Чувствительность и специфичность сцинтиграфии сердца с ^{199}Tl в определении жизнеспособного миокарда составила 96% и 94% соответственно, диагностическая точность – 95%. Авторы делают вывод, что ОФЭКТ с ^{199}Tl в сочетании с его реинъекцией позволяет определить наличие ЖМ в зоне рубцового поражения и прогнозировать эффективность оперативного лечения.

Возможности сцинтиграфии миокарда с перфузионными радиофармпрепаратами на основе Технеция-99m.

В настоящее время наибольшее распространение в ядерной кардиологии получили перфузионные РФП: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -МИБИ, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -тетрофосфин. Последние представляют собой моновалентные липофильные соединения, которые проникают в кардиомиоциты посредством пассивной диффузии. Однако для удержания их в клетке необходима сохраняющая функция митохондрий [49]. Короткий период полураспада (6 ч), отсутствие перераспределения и моноэнергетический фотопик сделали препараты на основе $^{99\text{m}}\text{Tc}$ более предпочтительными для проведения сцинтиграфии миокарда [50]. В работе Кариг А. et al. было показано отсутствие значимых различий в качестве изображений, экстракардиальном захвате, а также глубине и распространенности дефектов перфузии между указанными РФП [48].

По аналогии с таллием, при сцинтиграфии миокарда с РФП на основе $^{99\text{m}}\text{Tc}$ большинство авторов принимают за критерий жизнеспособности степень накопления индикатора в сегменте более 50% от максимального [9, 36]. В исследовании Zafrir N. et al. [52] у пациентов с ИКМП до операции коронарного шунтирования было проведено сравнение диагностической ценности пороговых значений накопления РФП – 50% и 60%. Критериями жизнеспособности, помимо указанных уровней аккумуляции препарата, явились подвижность стенки и ее систолическое утолщение: жизнеспособными признавались сегменты, отвечающие на введение низких доз добутамина изменениями обоих показателей. В результате, для порогов в 50% и 60% от максимального накопления РФП, чувствительность прогнозирования улучшения подвижности стенки после операции составила 93% и 70% ($p < 0.007$); специфичность – 59% и 86% ($p < 0.001$) соответственно, диагностическая точность составила 77% для обоих допусков; ППЗ – 73 и 86% ($p = 0.04$), ОПЗ – 87 и 70% ($p < 0.02$) соответственно.

По результатам метаанализа Schinkel с соавт. (25 исследований, 721 пациент) значения чувствительности, специфичности, ППЗ и ОПЗ сцинтиграфии миокарда с комплексами $^{99\text{m}}\text{Tc}$ в прогнозе восстановления локальной сократительной функции ЛЖ составили – 83%, 65%,

74% и 76% соответственно; глобальной контрактильности ЛЖ – 84%, 68%, 74% и 80% соответственно [19].

Использование функциональной пробы с нитроглицерином.

С целью определения наличия жизнеспособного миокарда на фоне обширных дефектов перфузии, рядом авторов была использована фармакологическая проба с нитроглицерином (сублингвально в дозе 0,4-0,8 мг). Такой подход позволяет избежать характерной для ОФЭКТ недооценки количества жизнеспособного миокарда, обусловленной развитием коллатерально-кровоотока [9, 20, 53, 54].

При сравнении возможностей оценки жизнеспособности дисфункциональных сегментов миокарда ЛЖ (в сравнении с 18F-ФДГ ПЭТ) посредством стандартного (в состоянии покоя) протокола ПСМ с 99mTc-тетрофосмином и при применении нитратов было показано, что во втором случае чувствительность возрастает с 69% до 81% [55].

В исследовании Макаровой Е.В. с соавт. при проведении дооперационной ОФЭКТ (в покое и после приема нитроглицерина) пациентам с постинфарктной аневризмой ЛЖ, размер дефекта перфузии был равен $37,4 \pm 12,9\%$ и $25,3 \pm 13,7\%$ соответственно. В послеоперационном периоде дефект перфузии составил $23,1 \pm 10,5\%$ [30]. Авторы заключают, что ОФЭКТ с 99mTc-тетрофосмином и нитроглицериновой пробой позволяет выявлять зоны жизнеспособного миокарда в области постинфарктной аневризмы ЛЖ.

Raja et al. [56] сравнивали возможности определения ЖМ при помощи ПСМ с 99mTc-тетрафосмином (на фоне пробы с нитратами) и 18F-ФДГ ПЭТ. В результате было показано, что ОФЭКТ с использованием коррекции аттенюации и применением нитратов имеет хорошую корреляцию ($r = 0.85$) с ПЭТ. Авторы делают вывод, что ОФЭКТ с 99mTc-тетрофосмином на фоне нитратов (с коррекцией аттенюации) может быть использован для идентификации ЖМ как альтернатива ПЭТ.

По данным ряда зарубежных публикаций сцинтиграфическими критериями жизнеспособности сегментов при использовании пробы с нитроглицерином являются: 1) сегментарное накопление РПФ $>65\%$; 2) улучшение перфузии в сегменте $>10\%$ после применения нитратов, либо 3) улучшение перфузии $\leq 10\%$ при условии восстановления ее до уровня $>65\%$ [9, 19, 57]. При сравнении между собой данных критериев в аспекте прогноза восстановления глобальной сократительной функции ЛЖ после реваскуляризации были получены значения чувствительности и специфичности 67% и 79% (площадь под кривой 0,74) для критерия 1; 56% и 86% (площадь под кривой 0,74) для критерия 2; и

81% и 69% (площадь под кривой 0,83) для критерия 3. При этом оптимальное количество сегментов, предсказывающее восстановление глобальной сократительной функции, было >3 для первого критерия, >4 для второго, и >3 для третьего [19, 57].

Значения чувствительности, специфичности, ППЗ и ОПЗ для ОФЭКТ с комплексами 99mTc относительно прогноза восстановления локальной функции ЛЖ после коронарного шунтирования (КШ) составили 83%, 57%, 72% и 71% соответственно, без использования нитратов (17 исследований, 516 пациентов), и 81%, 69%, 72% и 78% соответственно, с использованием нитратов (8 исследований, 205 пациентов) [19].

Sciagrà R. et al. [58] изучали возможности ПСМ с 99mTc-тетрофосмином в комбинации с нитратами и низкими дозами добутамина в определении ЖМ. Критерием жизнеспособности являлось восстановление локальной сократительной функции миокарда после реваскуляризации. Сегменты классифицировались на основании послеоперационных результатов: дисфункциональные сегменты, не восстановившие своей функции после реваскуляризации, признавались рубцами (трансмуральными и нетрансмуральными, в зависимости от степени накопления РФП). Нитраты вызывали увеличение накопления РФП в областях с ГМ значительно больше ($14,9 \pm 20,4\%$, $p < 0,0001$), чем в областях с трансмуральным ($4,8 \pm 13,4\%$), нетрансмуральным ($3,3 \pm 13\%$) рубцом или стенированным миокардом ($2,2 \pm 8\%$).

Оценка сократительной функции миокарда левого желудочка.

Метод ЭКГ-синхронизированной ПСМ (ЭКГ-ПСМ) позволяет, наряду с состоянием перфузии миокарда, оценивать систолическую и диастолическую функции ЛЖ, определять амплитуду движения (Wall Motion, WM) и систолическое утолщение (Wall Thickening, WT) стенок миокарда ЛЖ [9, 59, 60].

Многие исследователи отметили хорошую корреляцию показателей ФВ, конечно-диастолического (КДО) и конечно-систолического (КСО) объемов, измеренных при помощи ЭКГ-ПСМ и ЭхоКГ. В то же время было отмечено, что при дилатации полости ЛЖ увеличиваются и различия в определении данных показателей. В целом, ЭКГ-ПСМ показывает большие значения объемов камер сердца по сравнению с двухмерной ЭхоКГ, что вероятнее всего связано с трёхмерной природой ОФЭКТ изображений [10, 60, 61].

При этом важно иметь в виду, что ЭКГ-ПСМ, в сравнении с равновесной вентрикулографией или инвазивной вентрикулографией, недооценивает ФВ ЛЖ (в среднем на $4,7\% \pm 7,3\%$) при наличии обширных ($>20\%$) де-

фектов перфузии и систолической дисфункции [62]. Эти различия показывают, что значения ФВ, КДО и КСО не могут использоваться взаимозаменяемо для различных методов исследования.

Mabuchi M. et al. [63] посредством ЭКГ-ПСМ с ^{99m}Tc -тетрофосмином в покое обследовали 56 пациентов до КШ, а также через неделю и 3 месяца после операции. Среднее значение ФВ ЛЖ составила 55,3% (мин. 19%; макс. 72%). Авторами было установлено, что пороговые значения подвижности стенки и систолического утолщения, равные ≥ 1.5 мм и 10% соответственно, являются критериями функционального восстановления потенциально жизнеспособного миокарда после реваскуляризации. При этом значения систолического утолщения имели значимо большую чувствительность и специфичность – 95% и 81% соответственно, по сравнению с накоплением ($>50\%$ от максимального) индикатора в сегменте миокарда (86% и 67% соответственно) и подвижностью стенки (75% и 43% соответственно).

Необходимо учитывать, что после операций, сопровождающихся стернотомией, перикардотомией и применением искусственного кровообращения, при послеоперационном анализе подвижности ЛЖ возможна её недооценка в области перегородки и переоценка в области боковой стенки ЛЖ [64].

Этот лучевой симптом получил название «Paradoxical septal wall motion», («парадоксальное движение межжелудочковой перегородки»).

Причиной этого явления могут быть уменьшение ограничивающего влияния перикарда после перикардиотомии (как следствие – передне-медиальное смещение сердца во время систолы), повреждение перегородочной области в ходе операции или предшествующие ИМ [64, 65].

Различать патологическую (истинную, развившуюся вследствие гипоперфузии) и физиологическую (ложную) природу гипокинеза, особенно после КШ, очень важно, т.к. риск неблагоприятных сердечных событий выше у пациентов с истинно нарушенной подвижностью перегородки ЛЖ [66, 67]. Для дифференциальной диагностики типа септального гипокинеза, помимо перфузии, необходим анализ систолического утолщения стенки в данной области. Истинное нарушение подвижности стенки характеризуется снижением перфузии и систолического утолщения перегородки ЛЖ, ложное – сохраненной перфузией и систолическим утолщением. При этом парадоксальное движение перегородки после операции КШ не влияет на механическую диссинхронию левого желудочка [68].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что парадоксальное движение перегородки

ЛЖ на послеоперационных изображениях – часто встречающееся явление после операции КШ. Благодаря возможности оценки как подвижности стенки ЛЖ, так и систолического утолщения с перфузией, методом выбора для оценки таких пациентов является ЭКГ-ПСМ [64, 68].

Оценка эксцентричности левого желудочка.

При сферизации формы ЛЖ ухудшаются его сократительная способность и увеличивается митральная регургитация, что обычно связано с высокой частотой неблагоприятных сердечных событий у пациентов как с ХСН, так и острым ИМ [69]. Было показано, что определенный при помощи ЭКГ-ПСМ индекс эксцентричности ЛЖ, наряду с возрастом и наличием диабета, является независимым предиктором неблагоприятных сердечных событий ($\times 2$ возрастает с 15.15 до 25.97, $p=0.001$) [70].

Работы, посвященные определению данного индекса посредством ЭКГ-ПСМ при ИКМП, единичны. Abidov A. et al. [71] обследовали 52 пациентов с ИКМП посредством ЭКГ-ПСМ с ^{201}Tl на фоне стресс-теста с аденозином либо дипиридамолом и ^{99m}Tc -МИБИ в покое. Исследование проводилось дважды: при первичном обращении и через 60 дней. Конечно-диастолический и конечно-систолический индексы эксцентричности явились независимыми предикторами госпитализации. При конечно-диастолическом ИС $>0,54$ госпитализация наблюдалась в 3 раза чаще (68.4% vs 25.0%, $p=0,018$).

Оценка механической диссинхронии левого желудочка.

ЭКГ-синхронизированная ОФЭКТ позволяет оценивать диссинхронию миокарда посредством построения кривой из 600-1000 сердечных циклов, где горизонтальная ось отражает момент начала сокращения участков миокарда, а вертикальная ось – количество сократившихся участков миокарда в различные фазы R-R цикла [72]. Важно отметить, что данная методика обладает высокой внутри- и межоператорской воспроизводимостью, т.к. все показатели высчитываются автоматически [73].

При этом может быть вычислен ряд показателей, отражающих временную гетерогенность сокращения различных отделов миокарда, основными из которых являются: 1) Phase standard deviation (PSD) – стандартное отклонение среднего времени сокращения всех отделов миокарда (выражается в градусах или миллисекундах); 2) Phase histogram bandwidth (PHB) – ширина фазовой гистограммы, включающая 95% анализируемых элементов миокарда (выражается в градусах или миллисекундах) [59, 72, 74].

Наиболее часто в клинической практике

механическую диссинхронию оценивают при помощи ЭхоКГ, однако диссинхрония по данным ОФЭКТ – это глобальный показатель, отличающийся по своей природе от эхокардиографического. Прогностическое значение данного индекса было продемонстрировано в большом количестве работ, посвящённых прогнозированию эффективности сердечной ресинхронизирующей терапии [75 - 77] и реваскуляризации [78].

В исследовании Chen C.C. et al. посредством ПСМ с ^{201}Tl обследовали группу из 75 человек, включавшую больных ИБС, как с наличием инфаркта миокарда, так и без него, а также пациентов без поражения коронарных артерий (контрольная группа). Было показано, что в группе ИБС без ИМ диссинхрония была значительно больше при исследовании на фоне стресс-теста по сравнению с исследованием в покое, тогда как в группе контроля и ИМ соотношение было обратным. Авторы делают вывод, что увеличение показателей диссинхронии на фоне стресс-теста свидетельствует о наличии ЖМ [79].

Aljaroudi W. et al. продемонстрировали, что у пациентов с ИКМП, которым была выполнена реваскуляризация миокарда, механическая диссинхрония ЛЖ, определённая по показателю PSD, является независимым предиктором смертности (отношение шансов 1,16.; 95 % ДИ 1,03;1,30, при увеличении PSD на каждые 10° , $p=0,02$) от всех причин. При этом важно отметить, что все пациенты, вошедшие в исследование, имели узкий ($<120\text{мс}$) комплекс QRS [73].

Park S. et al. исследовали взаимосвязь между выраженностью механической диссинхронии, определённой по показателю PBW, и повторным ремоделированием ЛЖ после операции КШ. Обследование проводили до, через 3 и 12 месяцев после операции. Было показано, что показатель PBW, измеренный через 3 месяца после реваскуляризации, является предиктором повторного ремоделирования ЛЖ через 1 год (отношение шансов 1,03, $p<0,05$) со значениями чувствительности 95% и специфичности 56% (для порога PBW 82° , $p<0,001$) [80].

Zhang F. et al. предприняли попытку связать диссинхронию ЛЖ с наличием гибернированного миокарда. Для определения механической диссинхронии ЛЖ использовали ЭКГ-ПМС с $^{99\text{mTc}}$ -МИБИ, ГМ оценивали посредством ПЭТ с $^{18\text{F}}$ -ФДГ. Было показано, что механическая диссинхрония, определённая по показателю PBW, коррелировала с количеством ГМ и рубцовыми изменениями ЛЖ ($r=0,542$ и $r=0,469$, $p<0,001$ соответственно). Многофакторный регрессионный анализ показал, что наличие ГМ являлось независимым предиктором механической диссинхронии у пациентов с

предшествующим ИМ (отношение шансов=1,11; ДИ 1,02-1,19 $p=0,007$). Результаты данной работы свидетельствуют о том, что пациенты с ИМ при наличии сегментов с ГМ имеют значительно большие показатели диссинхронии [81].

Оценка сократительного резерва левого желудочка.

В ряде работ приводятся сведения, доказывающие, что наличие сократительного резерва миокарда ЛЖ является значимым предиктором улучшения его функции после реваскуляризации [82]. Baumgertner H. et al. [83] предположили, что улучшение сократимости в ответ на введение инотропного фармакологического агента предполагает наличие как минимум 50% жизнеспособных кардиомиоцитов в сегменте миокарда. В то же время, для идентификации жизнеспособного миокарда при помощи радионуклидных методов визуализации требуется значительно меньшее количество клеток с сохранённой перфузией.

Этим объясняется тот факт, что методы, основанные на оценке перфузии, обладают более высокой чувствительностью в прогнозировании восстановления инотропной функции ЛЖ, в то время как оценка сократительного резерва имеет большую специфичность [9, 19, 36].

Yoshinaga K. et al. [84] оценивали возможности ОФЭКТ с $^{99\text{mTc}}$ -тетрофосмином (по протоколу физический тест или фармакологическая проба – покой) и ЭКГ-ПСМ на пике пробы с добутамином (7,5 мкг/кг/мин) в оценке жизнеспособного миокарда. Жизнеспособными, по данным ОФЭКТ, признавались сегменты с накоплением РФП $>50\%$, а по данным ЭКГ-ПСМ с добутамином – сегменты, улучшающие сократимость на ≥ 1 балл. Референтным методом являлась ПЭТ с $^{18\text{F}}$ -ФДГ (сегментарное накопление ФДГ $\geq 50\%$). Было показано, что результаты ЭКГ-ПСМ с добутамином согласуются с ПЭТ в 77% случаев ($\kappa=0,55$). При добавлении к рутинному исследованию миокардиальной перфузии пробы с добутамином значения чувствительности в определении ЖМ возрастали с 41% до 76% ($p<0,001$). Согласованность результатов исследования ПЭТ и ЭКГ-ПСМ с добутамином составила 80% ($r=0,60$). Таким образом, авторы делают выводы, что сочетанная оценка перфузии и инотропного резерва (по данным ЭКГ-ПСМ) повышает диагностическую ценность метода.

В упомянутом выше исследовании Zafrir N. et al. [52] у пациентов с ИКМП было выполнено сравнение диагностической ценности сегментарного накопления $^{99\text{mTc}}$ -МИБИ $\geq 50\%$ и $\geq 60\%$ (от максимального) как предиктора восстановления сократительной функции миокарда после КШ. Было показано, что при включении в анализ информации о подвижности стенки и систолическом утолщении в ответ на вве-

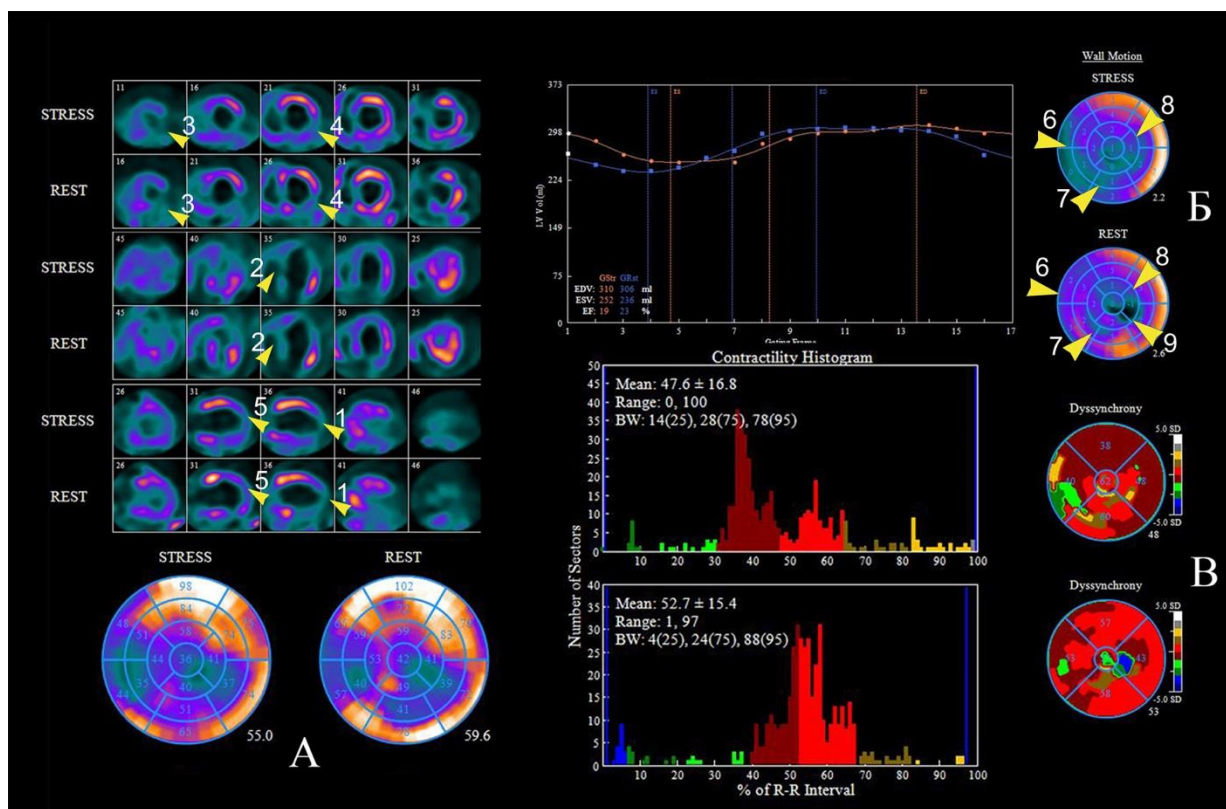


Рис. 1 (Fig. 1)

Рис. 1. Схема.

А - Показатели перфузии миокарда после выполнения стресс-теста (STRESS) с аденозином и в покое (REST): скintiграфические признаки постинфарктных изменений верхушки (1), всех отделов перегородки (2), апикальных (3) и средних (4) отделов задне-боковой области и задней стенки, апикальных отделов передней стенки (5) ЛЖ (ДП ~35%).

Б - ЭКГ-синхронизированные изображения демонстрируют выраженное увеличение объема и снижение сократительной функции ЛЖ, а также гипо- и акинез в области перегородки (6), задней стенки (7), апикальных и средних отделов боковой стенки (8) ЛЖ; на этом фоне определяется участок дискинеза (9) в области верхушки и апикальных отделов задне-боковой области ЛЖ.

В - При анализе показателей диссинхронии отмечается выраженное увеличение показателей SD и PHB за счет областей, соответствующих зонам гипоперфузии и нарушения подвижности стенки.

Fig. 1. Scheme.

A- Myocardial perfusion indices after stress (with adenosin) and rest examination: scintigraphic signs of post-infarction changes in the apex(1), all of the septal segments(2), apical(3) and middle(4) inferolateral and inferior segments, apical anterior segments(5) of the LV (~ 35%);

B - ECG MPI demonstrate a significant increase in the LV volume and decrease in the LV contractile function, as well as hypo- and akinesis in the septum area(6), inferior wall(7), apical and middle inferolateral segments(8) of the LV; the dyskinesia(9) area is determined in the apex and apical inferolateral segments of the LV;

C - The dyssynchrony analysis showed a marked increase in SD and PHB indices due to the areas corresponding to the hypoperfused areas and areas with impaired wall motion.

дение низких доз добутамина, чувствительность и ОПЗ для порога накопления РФП $\geq 60\%$ возрастали с 70% до 85% ($p=0,001$) и с 70% до 81% ($p=0,009$) соответственно; ППЗ при этом оставалась неизменно высокой (86 и 82%, $p=0,009$). Для порога сегментарной аккумуляции ^{99m}Tc -МИБИ $\geq 50\%$ показатели возросли статистиче-

ски незначимо. Была выявлена линейная зависимость ($r=0,76$, $p<0,0001$) между количеством «ответивших» на добутамин сегментов и улучшением глобальной сократимости после КШ. Авторы сделали вывод, что ОФЭКТ с добу- тамином является методом, пригодным для оценки

перфузии, функции и сократительного резерва миокарда ЛЖ у пациентов с ИКМП. Оценка жизнеспособности, основанная на пороговом накоплении индикатора в сегментах $\geq 60\%$ от максимального, с добавлением информации о региональном контрактильном ответе на добутамин в гипоперфузируемых сегментах ЛЖ, обладает дополнительной прогностической значимостью для восстановления сократительной функции после КШ.

Leoncini M. et al. [85] сравнивали возможности ЭКГ-ПМС (в комбинации с нитратами и низкими дозами добутамина) и ЭхоКГ (на фоне низких доз добутамина) в аспекте прогноза восстановления сократимости дисфункциональных сегментов левого желудочка после операции КШ. Для этого авторы использовали следующий протокол: инъекцию 99mTcMIIBI и запись исследования проводили после внутривенного введения раствора изосорбида динитрата. Непосредственно после этого пациенту осуществляли инфузию добутамина в возрастающей дозе до 10мкг/кг/мин с одновременным сбором данных. В качестве критерия жизнеспособности авторы использовали восстановление регионарной сократимости миокарда ЛЖ после КШ.

ЭхоКГ с добутамином продемонстрировала чувствительность, специфичность и точность 57% , 85% и 75% соответственно, в то время как для ЭКГ-ПМС данные показатели оказались выше, составив 77% , 88% и 84% соответственно. Авторы делают вывод, что комбинация двух различных маркеров жизнеспособности (клеточная целостность и сократительный резерв), определенных по данным ОФЭКТ, имеет большую предсказательную значимость в отношении восстановления функции сегментов миокарда после КШ по сравнению с оценкой только сократительного резерва по данным стресс-ЭхоКГ [85].

Narula J. et al. [86] предложили протоколы ОФЭКТ, позволяющие дифференцировать гибернированный, станнированный, ремоделированный миокард и рубец у пациентов с ИКМП. Протокол предполагал использование двух изотопов: исследование с 201Tl (по протоколу покой – перераспределения), ЭКГ-ПМС с 99mTcMIIBI на пике инотропной фармакологической нагрузки (добутамин 40мкг/кг/мин) и через час в процессе низкодозной (добутамин 5мкг/кг/мин) инотропной стимуляции. Важно отметить, что станнинг (нарушение сократимости без признаков нарушения перфузии и метаболизма) и ремоделирование дифференцировали по наличию ишемии в гипокинетичных сегментах миокарда ЛЖ. Авторы сделали вывод, что в миокарде ЛЖ при ИКМП могут присутствовать одновременно несколько из указанных патологических состояний. При этом

ОФЭКТ позволяет довольно точно классифицировать сегменты миокарда в зависимости от патологического субстрата.

Показательные примеры ЭКГ-ПМС пациентов с ИКМП представлены на рисунках.

Рисунок 1. Пациент, мужчина, 60 лет, с диагнозом: ИБС. Стенокардия напряжения ФК III. Постинфарктный кардиосклероз. Хроническая аневризма левого желудочка. Атеросклероз коронарных артерий: стеноз ствола левой коронарной артерии 70% , субокклюзия передней нисходящей артерии, стеноз огибающей артерии 60% , окклюзия ветви тупого края, окклюзия правой коронарной артерии. Пациент направлен на операцию: митральная аннулопластика; маммарокоронарное шунтирование передней нисходящей артерии; аортокоронарное шунтирование задней межжелудочковой ветви, ветви тупого края. Через год пациент продемонстрировал отсутствие выраженной динамики со стороны перфузии ЛЖ и гемодинамических показателей (ФВЛЖ= 23%), а также увеличение объемов ЛЖ, что свидетельствует о продолжающемся ремоделировании сердца

Рисунок 2. Пациент, мужчина, 61 год, с диагнозом: ИБС. Стенокардия напряжения ФК III. Постинфарктный кардиосклероз. Аневризма левого желудочка. Атеросклероз коронарных артерий: стеноз ствола левой коронарной артерии 75% ; окклюзия передней нисходящей артерии; стеноз огибающей артерии 60% ; стеноз медианной артерии 75% . Пациент направлен на операцию: маммарокоронарное шунтирование передней нисходящей артерии; аортокоронарное шунтирование медианной артерии. Линейная резекция ЛЖ. Через год пациент продемонстрировал уменьшение гипоперфузии ЛЖ до 5% , увеличение ФВ ЛЖ до 55% при отсутствии роста послеоперационных показателей объема ЛЖ.

Результаты многоцентровых исследований.

В 2002 году были представлены результаты трайла PARR-2 (PET and Recovery Following Revascularization) [87], целью которого было определение значимости выявления ЖМ при помощи ПЭТ с 18F-ФДГ в прогнозе лечения (хирургического или медикаментозного) пациентов с ИКМП. Несмотря на то, что частота неблагоприятных сердечных событий (смерть, ИМ, госпитализация) при выборе МТ была выше по сравнению с реваскуляризацией, статистически значимых отличий между группами выявлено не было (36% против 30% ; отношение рисков $0,82$; 95% ДИ $0,59-1,14$; $p=0,16$).

Недостатки данного исследования заключались в том, что части пациентов (около 25%), рандомизированных в группу реваскуляризации, последняя не была проведена, несмотря на значительное количество ЖМ, и только 75% паци-

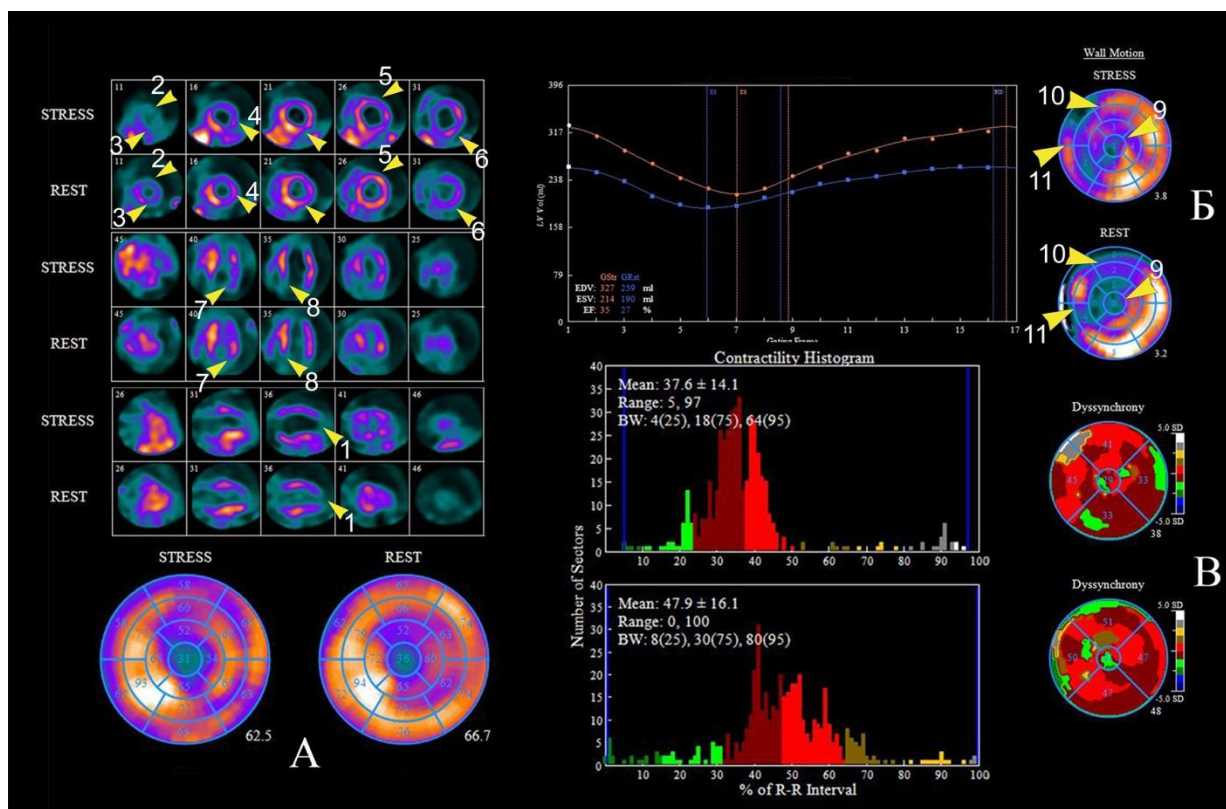


Рис. 2 (Fig. 2)

Рис. 2. Схема.

А - Показатели перфузии после выполнения стресс-теста (STRESS) с аденозином и в покое (REST): скinti-графические признаки постинфарктных изменений верхушки (1), апикальных отделов передней (2) и задней (3) стенок, апикальных и средних отделов боковой стенки (4) ЛЖ (~13-14%), а также стресс-индуцированной ишемии средних и базальных отделах передней (5) и задней (6) стенок, базальных отделов боковой стенки (7) и задне-перегородочной области (8) ЛЖ (~6-7%).

Б - ЭКГ-синхронизированные изображения демонстрируют выраженное увеличение объема и снижение сократительной функции ЛЖ, а также гипо- и акинез верхушки (9), передней стенки (10) и перегородки (11) ЛЖ.

В - При анализе показателей диссинхронии, отмечается увеличение показателя SD и PHB за счет областей, соответствующих зонам гипоперфузии и нарушения подвижности стенки.

Fig. 2. Scheme.

A - Myocardial perfusion indices after stress (with adenosin) and rest examination: scintigraphic signs of post-infarction changes in the apex(1), apical anterior(2) and inferior(3) segments, apical and middle segments of the lateral wall(4) of the LV (~13-14%), as well as stress-induced ischemia of the middle and basal segments of the anterior(5) and posterior(6) walls, basal segments of the lateral wall(7) and inferoseptal area(8) of the left ventricle (~ 6-7%);

B - ECG MPI demonstrate a significant increase in the LV volume and decrease in the LV contractile function(9), as well as hypo- and akinesis in the apex(9), septum area(10) and anterior wall(11) of the LV

C - The dyssynchrony analysis showed a marked increase in SD and PHB indices due to the areas corresponding to the hypoperfused areas and areas with impaired wall motion.

ентов придерживались рекомендации ПЭТ в отношении тактики лечения, что снижает достоверность сделанных выводов.

Последующий анализ показал значительное снижение риска достижения первичной конечной точки (сердечная смерть, ИМ и госпи-

тализация в связи с кардиологической патологией) при условии, что результаты ПЭТ принимали во внимание при выборе тактики лечения (отношение рисков 0,62; 95% ДИ 0,42 - 0,93; p=0,019).

Анализ пациентов, рандомизированных в

группу ПЭТ, показал, что при наличии $\leq 7\%$ ЖМ в ЛЖ значительно возрастает частота неблагоприятных сердечных событий после реваскуляризации (56% и 13%, $p < 0,015$) [88].

В подисследовании «PARR- 2 The Ottawa-FIVE», в которое вошли 111 пациентов, рандомизированных на реваскуляризацию в кардиологическом центре Оттавы, было показано, что применение в качестве средства отбора для реваскуляризации результатов ПЭТ с 18F-ФДГ ассоциировано со значительно меньшим риском осложнений по сравнению со стандартным обследованием (19% против 41%; отношение рисков 0,34; 95% ДИ 0,16–0,72; $p=0,005$) [89].

Пятилетние результаты исследования PARR-2 показали отсутствие разницы в частоте достижения комбинированной конечной точки между пациентами, которым выполняли или не выполняли ПЭТ сердца с 18F-ФДГ – 53% пациентов из группы ПЭТ и 57% из группы стандартного обследования [90].

В 2009 году было опубликовано самое крупное на данный момент рандомизированное исследование, в котором было изучено влияние стратегии лечения пациентов с ИБС и выраженной дисфункцией ЛЖ на прогноз хирургического и медикаментозного лечения – Surgical Treatment for Ischemic Heart Failure (STICH) [91].

Из 1212 пациентов, рандомизированных на МТ, КШ и КШ в сочетании с вентрикулопластикой, 601 пациенту была проведена оценка наличия ЖМ посредством ЭхоКГ с добутамином (280 пациентов) и ПСМ с использованием различных протоколов и перфузионных РФП (471 пациент). Однофакторный регрессионный анализ показал значительную связь между наличием ЖМ и исходами – среди пациентов без ЖМ умер 51%, с наличием ЖМ – 37% (отношение рисков для пациентов с ЖМ 0,64; 95% ДИ 0,48 - 0,86; $p=0,003$). Однако по данным многофакторного анализа, когда в регрессионную модель были добавлены прочие факторы (возраст, пол, раса, класс сердечной недостаточности на исходном уровне, предшествующие ИМ и реваскуляризация, показатели исходной ФЛ ЛЖ, количество пораженных сосудов, хроническая почечная недостаточность, митральная регургитация, предшествующий инсульт и фибрилляция предсердий), влияние наличия ЖМ на смертность оказалось статистически незначимым ($p=0,21$) [92].

Данное исследование повлекло за собой множество дискуссий, в ходе которых были обозначены его основные недостатки: 1) медленный набор пациентов – в среднем, не более 2 пациентов в год; 2) 17% пациентов, рандомизированных в группу МТ, подверглись коронарному шунтированию; 3) 9% пациентов, рандомизированных на реваскуляризацию, операция не была выполнена; 4) 18,5% пациентов не со-

ответствовали критериям включения в исследование по показателю ФВ ЛЖ ($>35\%$) [93,94]; 5) в ходе хирургической реконструкции примерно у одной трети пациентов не были достигнуты целевые значения конечного систолического объема ЛЖ [98].

Основные недостатки данного исследования относительно определения ЖМ, заключались в том, что из указанных 601 пациента только 150 прошли как ПСМ, так и ЭхоКГ с добутамином. Более того, определение жизнеспособности миокарда методом ОФЭКТ было выполнено по различным протоколам [95]. Такие методы визуализации, как ПЭТ с 18F-ФДГ и МРТ сердца с отсроченным контрастированием не применялись, т.к. не были доступны в большинстве центров, принимавших участие в исследовании. Результаты исследования STICH по оценке жизнеспособности были получены на нерандомизированной выборке пациентов.

Таким образом, результаты выполненных к настоящему моменту исследований остаются противоречивыми. Несмотря на кажущиеся однозначными выводы STICH и PARR-2 относительно нецелесообразности определения ЖМ, они противоречат данным предшествующих исследований и метаанализов [25, 96, 97].

Заключение.

Перфузионная сцинтиграфия миокарда – широко доступный метод визуализации, позволяющий провести оценку не только кровоснабжения миокарда, но и таких его функциональных показателей, как локальная и глобальная сократимость, диастолическая функция и механическая диссинхрония.

Диагностическое и прогностическое значение некоторых из этих показателей хорошо изучено, других – является предметом научных исследований до настоящего времени.

Согласно результатам большого числа работ перфузионная сцинтиграфия миокарда с таллием и РФП на основе технеция, в комбинации с вазодилататорами и инотропными агентами, а также в сочетании с анализом локальной сократимости и контрактильного резерва, позволяет идентифицировать жизнеспособный миокард и прогнозировать исходы кардиохирургических операций.

Рекомендации американского общества кардиологов [99] по ведению ХСН определяют класс рекомендаций 2a и уровень доказательности «В» для оценки ЖМ у пациентов с ИКМП перед реваскуляризацией. Рекомендации Европейского общества кардиологов [100] имеют класс рекомендаций 2b и уровень доказательности «В» для функционального тестирования неинвазивными методиками у данной группы пациентов.

С практической точки зрения использование того или иного метода из арсенала лучевой

диагностики определяется локальным опытом, традициями и технической оснащённостью каждого конкретного медицинского центра.

Отсутствие единства мнений относительно клинической значимости использования методов визуализации для определения жизнеспособности миокарда, а также появление нового диагностического оборудования определяют актуальность данного направления в аспекте

Список литературы:

1. World Health Statistics 2012. Available at: http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/WHS2012_IndicatorCompendium.pdf?ua=1 (accessed 2 november 2018)
2. Поляков Д.С., Фомин И.В., Валикулова Ф.Ю., Вайсберг А.Р., Краем Н., Бадин Ю.В., и др. Эпидемиологическая программа ЭПОХА-ХСН: декомпенсация хронической сердечной недостаточности в реальной клинической практике (ЭПОХА-Д-ХСН). Журнал сердечная недостаточность. 2016; 98(5): 299-305
3. Burch G.E., Tsui C.Y., Harb J.M. Ischemic cardiomyopathy. *Am Heart J.* 1972; 83: 340-350. DOI: 10.1016/0002-8703(72)90435-8
4. Felker G.M., Shaw L.K., O'Connor C.M. A standardized definition of ischemic cardiomyopathy for use in clinical research. *J Am Coll Cardiol.* 2002; 39(2): 210–218.
5. Weir R.A., McMurray J.J., Velazquez E.J. Epidemiology of heart failure and left ventricular systolic dysfunction after acute myocardial infarction: prevalence, clinical characteristics, and prognostic importance. *Am J Cardiol.* 2006; 97: 13–25. DOI: 10.1016/j.amjcard.2006.03.005
6. Аниелес А.А., Сергиенко В.Б. Перфузия миокарда: что понимается под этим термином при визуализации различными методами лучевой диагностики? Кардиология. 2017; 57(7): 5–12. DOI: 10.18087/cardio.2017.7.10000
7. Underwood S.R., Anagnostopoulos C., Cerqueira M., Ell P.J., Flint E.J., Harbinson M. et al. Myocardial perfusion scintigraphy: the evidence. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* 2004; 31(2): 261–291. DOI: 10.1007/s00259-003-1344-5
8. Лишманов Ю.Б., Завадовский К.В., Ефимова И.Ю., Кривоногов Н.Г., Веснина Ж.В., Сазонова С.И. с соавт. Возможности ядерной медицины в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний. Сибирский медицинский журнал (г. Томск). 2015; 30(2): 21-29.
9. Dorbala S., Ananthasubramanian K., Armstrong I.S. et al. Single photon emission computed tomography (SPECT) myocardial perfusion imaging guidelines: instrumentation, acquisition, processing, and interpretation. *J Nucl Cardiol.* 2018; 25(5): 1784–846. doi: 10.1007/s12350-018-1283-y
10. Саушкин В.В., Завадовский К.В. Оценка точности вычисления показателей гемодинамики и массы миокарда левого желудочка по данным ЭКГ-синхронизированной перфузионной сцинтиграфии миокарда: сравнение с многосрезовой компьютерной томографией сердца. Вестник рентгенологии и радиологии. 2019; 100 (3): 152–60. DOI: 10.20862/0042-4676-2019-100-3-152-160
11. Тюрин И.Е. Лучевая диагностика в российской федерации в 2016 г. Вестник рентгенологии и радиологии. 2017; 98(4): 219-226
12. Schuster A., Morton G., Chiribiri A., Perera D., Vanoverschelde J.L., Nagel E. Imaging in the management of ischemic cardiomyopathy: special focus on magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol.* 2012; 59(4): 359-70. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.08.076
13. Rahimtoola S.H. The hibernating myocardium // *Am Heart J.* 1989;117(1): 211–21. DOI: 10.1016/0002-8703(89)90685-6
14. Braunwald E., Kloner R.A. The stunned myocardium: prolonged, postischemic ventricular dysfunction. *Circulation.* 1982; 66(6): 1146–1149. DOI: 10.1161/01.cir.66.6.1146
15. Ingwall J.S. ATP and the Heart. Boston, MA, Kluwer. 2001: p.52. DOI: 10.1007/978-1-4615-1093-2_1
16. Lim S.P., Mc Ardle B.A., Beanlands R.S., Hessian R.C. Myocardial viability: It is still alive. *Semin Nucl Med.* 2014; 44(5): 358–74. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2014.07.003.
17. Frangogiannis N.G. The pathological basis of myocardial hibernation. *HistolHistopathol.* 2003; 18(2): 647–55. DOI: 10.14670/HH-18.647
18. Штунгулин В.М., Гупор С.С., Суходоло И.В., Борисова Л.В., Андреев С.А., Катков В.А. с соавт. Морфологические и молекулярные показатели состояния миокарда: прогноз исходов хирургического лечения больных ишемической кардиомиопатией. Клиническая и экспериментальная хирургия. 2015; 1(17):5-14.
19. Schinkel A.F., Bax J.J., Poldermans D., Elhendy A., Ferrari R., Rahimtoola S.H. Hibernating myocardium: diagnosis and patient outcomes. *Curr Probl Cardiol.* 2007; 32(7): 375–410. DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2007.04.001
20. Sciagra R. SPECT and PET Protocols for Imaging Myocardial Viability. *Curr Cardiovasc Imaging Rep.* 2014; 7(6): 9270. DOI: 10.1007/s12410-014-9270-4
21. Немков А.С., Яковлев Д.А., Борисов А.И., Белый С.А. Гибернация и станнинг - особые формы существования миокарда при ишемической болезни сердца. Часть 1. Гибернация. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2011; 10(2): 5-12.
22. Magata Y., Yonekura Y., Nohara R., Kambara H., Kawai C., Hirata C. Metabolic activity in the areas of new fill-in after thallium-201 reinjection: comparison with positron emission tomography using fluorine-18 deoxyglucose. *J Nucl Med.* 1991; 32(4): 673–8.
23. Heusch, G. Hibernating myocardium. *Physiol. Rev.* 1998; 78(4): 1055–1085 DOI: 10.1006/jmcc.1996.0229
24. Pitt M, Dutka D, Pagano D, Camici P, Bonser R. The natural history of myocardium awaiting revascularisation in patients with impaired left ventricular function. *European Heart Journal.* 2004;25(6):500–507. DOI: 10.1016/j.ehj.2004.01.016
25. Allman K.C., Shaw L.J., Hachamovitch R., Udelson J.E. Myocardial viability testing and impact of revascularization on

дальнейшего выполнения научных исследований.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

- prognosis in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol.* 2002; 39(7): 1151–1158. DOI: 10.1016/s0735-1097(02)01726-6
26. Бабокин В.Е., Пронина В.П., Мищенко Ю.В., Ананко В.А., Мартаков М.А. Результаты модифицированной левожелудочковой реконструкции с оценкой геометрических показателей у больных с постинфарктной аневризмой сердца. *Российский кардиологический журнал.* 2017, 8 (148): 19–23 DOI: 10.15829/1560-4071-2017-8-19-23
27. Шипулин В.М., Козлов Б.Н., Кривошеиков Е.В., Казаков В.А., Лежнев А.А., Бабокин В.Е., Ватолина Т.В. Морфофункциональная характеристика миокарда пациентов с постинфарктным ремоделированием как возможная причина неблагоприятных результатов оперативного лечения. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия.* 2009; 5: 37–41.
28. Velazquez E. J., Lee K. L., Deja M. A., Jain A., Sopko G., Marchenko A., et al. Coronary-artery bypass surgery in patients with left ventricular dysfunction. *N Engl J Med.* 2011; 364(17): 1607–16. DOI: 10.1056/NEJMoa1100356
29. Iskandrian A.E., van der Wall E. *Myocardial viability.* Kluwer Academic Publishers, 2002, 206 p.
30. Макарова Е.В., Минин С.М., Чернов В.И., Кривошеиков Е.В., Лишманов Ю.Б. Сцинтиграфическая оценка жизнеспособности ишемизированного миокарда у пациентов с постинфарктной аневризмой левого желудочка. *Российский кардиологический журнал.* 2007; 68(6): 22–26. DOI: 10.15829/1560-4071-2007-6-22-26
31. Iskandrian A.E., Garcia E.V. Practical issues: Ask the experts. *Nuclear Cardiac Imaging: Principles and Applications.* 2008. ed 4, New York. Oxford University Press. p. 703–718. DOI: 10.17996/ANC.02.01.192
32. Weich H.F., Strauss H.W. Pitt B. The extraction of thallium-201 by the myocardium. *Circulation.* 1977; 56(2): 188–91. DOI: 10.1161/01.cir.56.2.188
33. Bax J.J., Poldermans D., Elhendy A., Boersma E., Rahimtoola S.H. Sensitivity, specificity, and predictive accuracies of various noninvasive techniques for detecting hibernating myocardium. *Curr Probl Cardiol.* 2001; 26(2): 147. DOI: 10.1067/mcd.2001.109973
34. Cloninger K.G., DePuey E.G., Garcia E.V. Incomplete redistribution in delayed Thallium-201 single photon emission computed tomography (SPECT) images: overestimation of myocardial scarring. *J Am Coll Card.* 1988; 12(4): 955–963
35. Inaba Y, Chen JA, Bergmann SR. Quantity of viable myocardium required to improve survival with revascularization in patients with ischemic cardiomyopathy: A meta-analysis. *J Nucl Cardiol.* 2010; 17(4): 646–654. DOI: 10.1007/s12350-010-9226-2
36. Bax J.J., Delgado V. Myocardial viability as integral part of the diagnostic and therapeutic approach to ischemic heart failure. *J Nucl Cardiol* 2015; 22(2): 229–45. DOI: 10.1007/s12350-015-0096-5
37. Dilsizian V., Rocco T.P., Freedman N.M.T., Leon M.B., Bonow R.O. Enhanced detection of ischemic but viable myocardium by the reinjection of thallium after stress-redistribution imaging. *N Engl J Med* 1990; 323(3): 141–146
38. Dilsizian V., Perrone-Filardi P., Arrighi J.A., Bacharach S.L., Quyyumi A.A., Freedman N.M. et al. Concordance and discordance between stress-redistribution-reinjection and rest-redistribution thallium imaging for assessing viable myocardium. Comparison with metabolic activity by positron emission tomography. *Circulation.* 1993; 88(3): 941–952. DOI: 10.1161/01.cir.88.3.941
39. Althoefer C., vom Dahl J., Buell U., Uebis R., Kleinhans E., Hanrath P. Comparison of thallium-201 single-photon emission tomography after rest injection and fluorodeoxyglucose positron emission tomography for assessment of myocardial viability in patients with chronic coronary artery disease. *Eur J Nucl Med.* 1994; 21(1): 37–45.
40. Burt R.W., Perkins O.W., Oppenheim B.E., Schauwecker D.S., Stein L., Wellman H.N. et al. Direct comparison of fluorine-18-FDG SPECT, fluorine-18-FDG PET and rest thallium -201 SPECT for detection of myocardial viability. *J Nucl Med.* 1995; 36(2): 176–79.
41. Srinivasan G., Kitsiou A.N., Bacharach S.L., Bartlett M.L., Miller-Davis C., Dilsizian V. 18F-fluorodeoxyglucose single photon emission computed tomography: can it replace PET and thallium SPECT for the assessment of myocardial viability? *Circulation.* 1998; 97(9): 843–850. DOI: 10.1161/01.cir.97.9.843.
42. Akinboboye O.O., Idris O., Cannon P.J., Bergmann S.R. Usefulness of positron emission tomography in defining myocardial viability in patients referred for cardiac transplantation. *Am J Cardiol.* 1999; 83(8): 1271–4. DOI: 10.1016/s0002-9149(99)00072-7
43. Wells R.G., Timmins R., Klein R., Lockwood J., Marvin B., deKemp R.A. et al. Dynamic SPECT measurement of absolute myocardial blood flow in a porcine model. *J Nucl Med.* 2014; 55(10): 1685–1691. DOI: 10.2967/jnumed.114.139782
44. Leppo J.A., Meerdink D.A. Comparison of the myocardial uptake of a technetium-labeled isonitrile analogue and thallium. *Circ Res* 1989; 65(3): 632–639. DOI: 10.1161/01.res.65.3.632
45. Gulati V., Ching G., Heller G.V. The role of radionuclide imaging in heart failure. *J Nucl Cardiol* 2013; 20(6): 1173–1183. DOI: 10.1007/s12350-013-9776-1
46. Лишманов Ю.Б., Чернов В.И., Трисс С.В., Мазурин И.Ю. Сцинтиграфия миокарда с таллием-199. *Медицинская радиология* 1990; 4: 35–38.
47. Лишманов Ю.Б., Макарова Е.В., Чернов В.И., Веснина Ж.В., Бабокин В.Е., Ворожцова И.Н. с соавт. Применение перфузионной ОФЭКТ сердца в сочетании с реинъекцией Тl199 в покое для диагностики миокардиальной гипертонии. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2005; 50(1):62–67.
48. Kapur A., Latus K.A., Davies G., Dhawan R.T., Eastick S. et al. A comparison of three radionuclide myocardial perfusion tracers in clinical practice: the ROBUST study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2002; 29(12): 1608–1616. DOI: 10.1007/s00259-002-0998-8
49. Maublant J.C., Gachon P., Moins N. Hexakis (2-methoxy isobutylisonitrile) technetium-99m and thallium-201 chloride: uptake and release in cultured myocardial cells. *J Nucl Med.* 1988; 29(1): 48–54. DOI: 10.1007/s00259-007-0549-4
50. Sansoy V., Glover D.K., Watson D.D., Ruiz M., Smith W.H., Simanis J.P. Comparison of thallium-201 resting redistribution with technetium-99m-sestamibi uptake and functional response to dobutamine for assessment of myocardial viability. *Circulation.* 1995; 92(4):994–1004. DOI: 10.1161/01.cir.92.4.994

51. Лишманов Ю.Б., Чернов В.И., Кривоногов Н.Г. Перфузионная сцинтиграфия с ¹⁹⁹Tl хлоридом в эксперименте. *Мед. радиология*. 1988;3:13-16.
52. Zafrir N., Arditi A., Ben-Gal T., Solodky A., Hassid Y., Sulkes J. et al. Additive value of low-dose dobutamine to technetium-99m sestamibi-gated single-photon emission computed tomography for prediction of wall motion improvement in patients undergoing coronary artery bypass graft. *Clinical Cardiology*. 2003; 26(11): 530–535. DOI: 10.1002/clc.4960261111
53. Мочула А.В., Завадовский К.В., Андреев С.А., Лишманов Ю.Б. Динамическая однофотонная эмиссионная компьютерная томография миокарда как метод идентификации многососудистого поражения коронарного русла. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2016; 97(5); 289-295.
54. Фомичев А. В., Чернявский А. М., Таркова А. Р., Ибрагимов Р. У., Карева Ю. Е., Минин С. М. с соавт. Влияние коллатерального кровотока на кровоснабжение и функцию миокарда. *Российский кардиологический журнал*. 2017; 22(8): 70-74. DOI: 10.15829/1560-4071-2017-8-70-74
55. He W., Acampa W., Mainolfi C., Menna F., Sorrentino A.R., Petretta M. et al. Tc-99m tetrofosmin tomography after nitrate administration in patients with ischemic left ventricular dysfunction: relation to metabolic imaging by PET. *J Nucl Cardiol*. 2003; 10(6): 599–606. DOI: 10.1016/S1071-3581(03)00649-4
56. Raja S., Singh B., Rohit M.K., Manohar K., Kashyap R., Bhattacharya A. et al. Comparison of nitrate augmented Tc-99m tetrofosmin gated SPECT imaging with FDG PET imaging for the assessment of myocardial viability in patients with severe left ventricular dysfunction. *J Nucl Cardiol*. 2012; 19(6): 1176-81.
57. Scigrà R., Leoncini M., Marcucci G., Dabizzi R.P., Pupi A. Technetium-99m sestamibi imaging to predict left ventricular ejection fraction outcome after revascularisation in patients with chronic coronary artery disease and left ventricular dysfunction: comparison between baseline and nitrate-enhanced imaging. *European Journal of Nuclear Medicine*. 2001; 28(6): 680-7. DOI: 10.1007/s002590100543
58. Scigrà R., Leoncini M., Mennuti A., Dabizzi R.P., Pupi A. Classification of ischemic dysfunctional myocardium combining perfusion quantification and contractile reserve evaluation using nitrate-enhanced gated single photon emission computed tomography with dobutamine test. *Q J Nucl Med Mol Imaging*. 2004; 48(1): 4-11.
59. Саушкин В.В., Мишкина А.И., Шипулин В.В., Завадовский К.В. Значение радионуклидной оценки механической диссинхронии сердца в обследовании пациентов кардиологического профиля. *REJR* 2019; 9(1):186-202. DOI:10.21569/2222-7415-2019-9-1-186-202.
60. Лишманов Ю.Б., Завадовский К.В., Варламова Ю.В., Гракова Е.В., Гуля М.О., Ильющенкова Ю.Н. с соавт. Практическое руководство по сцинтиграфии сердца. Томск, Издательство научно-технической литературы, 2018. 168с.
61. Shojaeifard M., Ghaedian T., Yaghoobi N., Malek H., Firoozabadi H., Bitarafan-Rajabi A. et al. Comparison of Gated SPECT Myocardial Perfusion Imaging with Echocardiography for the Measurement of Left Ventricular Volumes and Ejection Fraction in Patients With Severe Heart Failure. *Res Cardiovasc Med*. 2015; 5(1): e29005. DOI: 10.5812/cardiovascmed.29005
62. Manrique A., Faraggi M., Vera P., Vilain D., Lebtahi R., Cribier A. et al. 201 Tl and 99mTc MIBI gated SPECT in patients with large perfusion defects and left ventricular dysfunction: comparison with equilibrium radionuclide angiography. *J Nucl Med*. 1999; 40(5): 805-9.
63. Mabuchi M., Kubo N., Morita K., Makino Y., Matsui Y., Murashita T. et al. Prediction of functional recovery after coronary bypass surgery using quantitative gated myocardial perfusion SPECT. *Nucl Med Commun*. 2003; 24(6): 625-31. DOI: 10.1097/01.mnm.0000075190.18521.0f
64. Ozdemir S., Yener A.Ü., Barutcu A., Tan Y.Z., Çelik F. The assessment of septal wall motion in patients undergoing CABG by myocardial perfusion-gated SPECT. *Nucl Med Commun*. 2015; 36(7): 738-46. DOI: 10.1097/MNM.0000000000000309.64.
65. Taki J., Higuchi T., Nakajima K., Matsunari I., Hwang E.H., Bunko H. et al. Electrocardiographic gated 99mTc-MIBI SPECT for functional assessment of patients after coronary artery bypass surgery: comparison of wall thickening and wall motion analysis. *Nucl Med*. 2002; 43(5): 589-95.
66. Giubbini R., Rossini P., Bertagna F., Bosio G., Paghera B., Pizzocaro C et al. Value of gated SPECT in the analysis of regional wall motion of the interventricular septum after coronary artery bypass grafting. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2004; 31(10): 1371-7. DOI: 10.1007/s00259-004-1569-y
67. Swaminathan M., Morris R.W., De Meyts D.D., Podgoreanu M.V., Jollis J.G., Grocott H.P. et al. Deterioration of regional wall motion immediately after coronary artery bypass graft surgery is associated with long-term major adverse cardiac events. *Anesthesiology*. 2007; 107(5): 739-45. DOI: 10.1097/01.anes.0000287008.70453.81
68. Aljaroudi W., Alraies M.C., Brunken R., Cerqueira M., Jaber W.A. Paradoxical septal motion from prior coronary artery bypass graft surgery does not impact left ventricular mechanical dyssynchrony by gated myocardial perfusion imaging. *J Nucl Cardiol*. 2012; 19(6): 1190-7. DOI: 10.1007/s12350-012-9627-5
69. Meizlish J.L., Berger H.J., Plankey M., Errico D., Levy W., Zaret B.L. Functional left ventricular aneurysm formation after acute anterior transmural myocardial infarction. Incidence, natural history, and prognostic implications. *N Engl J Med*. 1984; 311(16): 1001-6. DOI: 10.1056/NEJM198410183111601
70. Gaudieri V., Nappi C., Acampa W., Zampella E., Assante R., Mannarino T. 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; 26(4): 1148-1156. DOI: 10.1007/s12350-017-1090-x
71. Abidov A., Slomka P.J., Nishina H., Hayes S.W., Kang X., Yoda S. et al. Left ventricular shape index assessed by gated stress myocardial perfusion SPECT: initial description of a new variable. *J Nucl Cardiol*. 2006; 13(5): 652-9. DOI: 10.1016/j.nuclcard.2006.05.020
72. Chen J., Bax J.J., Henneman M.M., Boogers M.J., Garcia E.V. Is nuclear imaging a viable alternative technique to assess dyssynchrony? *Europace*. 2008; 10(3): 101-105. DOI: 10.1093/europace/eun221.
73. AlJaroudi W., Alraies M.C., Hachamovitch R., Jaber W.A., Brunken R., Cerqueira M.D. et al. Association of left ventricular mechanical dyssynchrony with survival benefit from revascularization: a study of gated positron emission tomogra-

phy in patients with ischemic LV dysfunction and narrow QRS. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2012; 39(10): 1581-91 DOI: 10.1007/s00259-012-2171-3

74. Завадовский К.В., Саушкин В.В., Панькова А.Н., Лишманов Ю.Б. Методические особенности выполнения, обработки результатов и интерпретации данных радионуклидной равновесной томографии. *Радиология - практика*. 2011; 6: 75-83.

75. Henneman M.M., Chen J., Dibbets-Schneider P., Stokkel M.P., Bleeker G.B., Ypenburg C. et al. Can LV dyssynchrony as assessed with phase analysis on gated myocardial perfusion SPECT predict response to CRT. *J Nucl Med*. 2007; 48(7): 1104-11. DOI: 10.2967/jnumed.107.039925

76. Гуля М.О., Лишманов Ю.Б., Завадовский К.В., Лебедев Д.И. Состояние метаболизма жирных кислот в миокарде левого желудочка и прогноз эффективности кардиоресинхронизирующей терапии у пациентов с дилатационной кардиомиопатией. *Российский кардиологический журнал*. 2014; 19(9): 61-67. DOI: 10.15829/1560-4071-2014-9-61-67

77. Zavadovsky K.V., Gulya M.O., Lishmanov Yu.B., Lebedev D.I. Perfusion and metabolic scintigraphy with 123I-bmipp in prognosis of cardiac resynchronization therapy in patients with dilated cardiomyopathy. *Annals of Nuclear Medicine*. 2016; 30(5): 325-333. DOI: 10.1007/s12149-016-1064-0

78. Penicka M., Bartunek J., Lang O., Medilek K., Tousek P., Vanderheyden M. et al. Severe left ventricular dyssynchrony is associated with poor prognosis in patients with moderate systolic heart failure undergoing coronary artery bypass grafting. *J Am Coll Cardiol*. — 2007; 50(14): 1315-1323 DOI: 10.1016/j.jacc.2007.03.070

79. Chen C.C., Shen T.Y., Chang M.C., Hung G.U., Chen W.C., Kao C.H. Stress-induced myocardial ischemia is associated with early post-stress left ventricular mechanical dyssynchrony as assessed by phase analysis of 201Tl gated SPECT myocardial perfusion imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2012; 39(12): 1904-9. DOI: 10.1007/s00259-012-2208-7

80. Park S., Cheon G.J., Paeng J.C., Won K.S., Kang K.W., Kim K.B. et al. Phase analysis of gated myocardial perfusion single-photon emission computed tomography after coronary artery bypass graft surgery: reflection of late reverse remodeling in patients with patent grafts after coronary artery bypass graft surgery. *Nucl Med Commun*. 2016; 37(11): 1139-47. DOI: 10.1097/MNM.0000000000000565

81. Zhang F., Yang W., Wang Y., Tang H., Wang J., Shao X. Is there an association between hibernating myocardium and left ventricular mechanical dyssynchrony in patients with myocardial infarction. *Hell J Nucl Med*. 2018; 21(1): 28-34. DOI: 10.1967/s002449910704

82. Hernandez-Pampaloni M., Peral V., Carreras J.L., Sanchez-Harguindey L., Vilacosta I. Biphasic response to dobutamine predicts improvement of left ventricular dysfunction after revascularization: correlation with positron emission and redistribution 201Tl topographies. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2003; 19(6): 519-28 DOI:10.1023/B:CAIM.0000004302.68305.80

83. Baumgartner H., Porenta G., Lau Y.K., Wutte M., Klaar U., Mehrabi M et al. Assessment of myocardial viability by dobutamine echocardiography, positron emission tomography and thallium-201 SPECT. *J Am Coll Cardiol*. 1998; 32(6): 1701-8.

DOI: 10.1016/s0735-1097(98)00436-7.

84. Yoshinaga K., Katoh C., Noriyasu K., Yamada S., Ito Y., Kuge Y et al. Low-dose dobutamine stress gated SPET for identification of viable myocardium: comparison with stress-rest perfusion SPET and PET. *J Nucl Med*. 2001; 42(6): 838-844. DOI: 10.1007/s00259-002-0795-4

85. Leoncini M., Sciagra R., Bellandi F., Maioli M., Sestini S., Marcucci G. et al. Low-dose dobutamine nitrate-enhanced technetium 99m sestamibi gated SPECT versus low-dose dobutamine echocardiography for detecting reversible dysfunction in ischemic cardiomyopathy. *J Nucl Cardiol*. 2002; 9(4): 402-6. DOI:10.1067/mnc.2002.123856

86. Narula J., Martin S. Dawson M.S., Singh B.K., Amanullah A., Acio E.R. et al. Noninvasive Characterization of Stunned, Hibernating, Remodeled and Nonviable Myocardium in Ischemic Cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol*. 2000; 36(6): 1913-9. DOI: 10.1016/s0735-1097(00)00959-1

87. Beanlands R.S., Nichol G., Huszti E., Humen D., Racine N., Freeman M. et al. F-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging-assisted management of patients with severe left ventricular dysfunction and suspected coronary disease: a randomized, controlled trial (PARR-2). *J Am Coll Cardiol*. 2007; 50(20): 2002-12 DOI: 10.1016/j.jacc.2007.09.006

88. D'Egidio G., Nichol G., Williams K.A., Guo A., Garrard L., deKemp R. Increasing benefit from revascularization is associated with increasing amounts of myocardial hibernation: A substudy of the PARR-2 trial. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2009; 2(9): 1060-8. DOI: 10.1016/j.jcmg.2009.02.017.

89. Abraham A., Nichol G., Williams K.A., Guo A., deKemp R.A., Garrard L. et al. 18F-FDG PET imaging of myocardial viability in an experienced center with access to 18F-FDG and integration with clinical management teams: the Ottawa-FIVE substudy of the PARR 2 trial. *J Nucl Med*. 2010; 51(4): 567-74. DOI: 10.2967/jnumed.109.065938

90. Mc Ardle B., Shukla T., Nichol G., deKemp R.A., Bernick J., Guo A. et al. Long-term follow-up of outcomes with F-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging-assisted management of patients with severe left ventricular dysfunction secondary to coronary disease. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2016; 9(9): e004331. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.115.004331.

91. Jones R.H., Velazquez E.J., Michler R.E., Sopko D., Oh J.K., O'Connor C.M. et al. Coronary Bypass Surgery with or without Surgical Ventricular Reconstruction. *N. Engl. J. Med*. 2009; 360(17): 1705-1717. DOI: 10.1056/NEJMoa0900559

92. Bonow R.O., Maurer G., Lee K.L., Holly T.A., Binkley P.F., Desvigne-Nickens P. Myocardial viability and survival in ischemic left ventricular. *N. Engl. J. Med*. 2011; 364(17): 1617-1625. DOI: 10.1056/NEJMoa1100358

93. Zembala M., Michler R.E., Rynkiewicz A., Huynh T., She L., Lubiszewska B. et al. Clinical characteristics of patients undergoing surgical ventricular reconstruction by choice and by randomization. *J Am Coll Cardiol*. 2010; 56(6): 499-507. DOI: 10.1016/j.jacc.2010.03.054.

94. Oh J.K., Pellikka P.A., Panza J.A., Biernat J., Attisano T., Manahan B.G et al. Core lab analysis of baseline echocardiographic studies in the STICH trial and recommendation for use of echocardiography in future clinical trials. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2012; 25(3): 327-336. DOI: 10.1016/j.echo.2011

95. Chareonthaitawee P., Gersh B.J., Panza J.A. Is viabil-

ity imaging still relevant in 2012? *JACC Cardiovasc Imaging*. 2012; 5(5): 550-8. DOI: 10.1016/j.jcmg.2011.10.010.

96. Tarakji K.G., Brunken R., McCarthy P.M., Al-Chekakie M.O., Abdel-Latif A., Pothier C.E. Myocardial viability testing and the effect of early intervention in patients with advanced left ventricular systolic dysfunction. *Circulation*. 2006; 113(2): 230–237. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.541664

97. Camici P.G., Prasad S.K., Rimoldi O.E. Stunning, hibernation and assessment of myocardial viability. *Circulation*. 2008; 117(1): 103-14. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.702993.

98. Buckberg G.D., Athanasuleas C.L. Decision making in ischemic cardiomyopathy: is the Cleveland clinic model valid? *J.*

Thorac. Cardiovasc. Surg. 2010; 140(5): 1203–1205. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2010.04.042

99. Yancy C.W., Jessup M., Bozkurt B., Butler J., Casey D.E. Jr., Drazner M.H et al. 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines / *J Am Coll Cardiol*. 2013; 62(16): 147–239. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.05.019

100. Neumann F.J., Sousa-Uva M., Ahlsson A., Alfonso F., Banning A.P., Benedetto U. et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J*. 2019; 40(2): 87–165 DOI: 10.1093/eurheartj/ehy394.

References:

1. World Health Statistics 2012. Available at: http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/WHS2012_IndicatorCompendium.pdf?ua=1 (accessed 2 november 2018)

2. Polyakov D.S., Fomin I.V., Valikulova F. Yu., Vaysberg A.R., Kraiem N., Badin Yu. V. et al. The EPOCH-CHF epidemiological program: decompensated chronic heart failure in real-life clinical practice (EPOCH-D-CHF). *Russian Heart Failure Journal*. 2016; 98(5): 299-305

3. Burch G.E., Tsui C.Y., Harb J.M. Ischemic cardiomyopathy. *Am Heart J*. 1972; 83: 340-350. DOI: 10.1016/0002-8703(72)90435-8

4. Felker G.M., Shaw L.K., O'Connor C.M. A standardized definition of ischemic cardiomyopathy for use in clinical research. *J Am Coll Cardiol*. 2002; 39(2): 210–218.

5. Weir R.A., McMurray J.J., Velazquez E.J. Epidemiology of heart failure and left ventricular systolic dysfunction after acute myocardial infarction: prevalence, clinical characteristics, and prognostic importance. *Am J Cardiol*. 2006; 97: 13–25. DOI: 10.1016/j.amjcard.2006.03.005

6. Ansheles A.A., Sergienko V.B. Myocardial Perfusion Imaging Modalities: What do we Really see? *Kardiologiya*. 2017; 57(7): 5-12. (in Russian) DOI: 10.18087/cardio.2017.7.10000

7. Underwood S.R., Anagnostopoulos C., Cerqueira M., Ell P.J., Flint E.J., Harbinson M. et al. Myocardial perfusion scintigraphy: the evidence. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2004; 31(2): 261–291. DOI: 10.1007/s00259-003-1344-5

8. Lishmanov Yu.B., Zavadovsky K.V., Efimova N.Yu., Krivonogov N.G., Efimova I.Yu., Vesnina Zh.V. et al. Prospects of nuclear medicine for the diagnosis of cardiovascular diseases. *Siberian Medical Journal (Tomsk)*. 2015; 30 (2): 21-29 (in Russian).

9. Dorbala S., Ananthasubramaniam K., Armstrong I.S. et al. Single photon emission computed tomography (SPECT) myocardial perfusion imaging guidelines: instrumentation, acquisition, processing, and interpretation. *J Nucl Cardiol*. 2018; 25(5): 1784–846. doi: 10.1007/s12350-018-1283-y

10. Saushkin V.V., Zavadovskiy K.V. Assessment of Accuracy in Calculating Hemodynamic Parameters and Left Ventricular Mass According to ECG-Synchronized Myocardial Perfusion Scintigraphic Data: Comparison with Cardiac Multislice Computed Tomography. *Journal of radiology and nuclear medicine*. 2019;100(3):152-160. (in Russian) DOI: 10.20862/0042-4676-2019-100-3-152-160

11. Tyurin I.E. RADIOLOGY IN THE RUSSIAN FEDERATION IN 2016 *Journal of radiology and nuclear medicine*. 2017;98(4):219-226. (in Russian) <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2017-98-4-219-226>

12. Schuster A., Morton G., Chiribiri A., Perera D., Vanoverschelde J.L., Nagel E. Imaging in the management of ischemic cardiomyopathy: special focus on magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol*. 2012; 59(4): 359-70. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.08.076

13. Rahimtoola S.H. The hibernating myocardium // *Am Heart J*. 1989;117(1): 211–21. DOI: 10.1016/0002-8703(89)90685-6

14. Braunwald E., Kloner R.A. The stunned myocardium: prolonged, postischemic ventricular dysfunction. *Circulation*. 1982; 66(6): 1146 –1149. DOI: 10.1161/01.cir.66.6.1146

15. Ingwall J.S. *ATP and the Heart*. Boston, MA, Kluwer. 2001: p.52. DOI: 10.1007/978-1-4615-1093-2_1

16. Lim S.P., Mc Ardle B.A., Beanlands R.S., Hessian R.C. Myocardial viability: It is still alive. *Semin Nucl Med*. 2014; 44(5): 358–74. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2014.07.003.

17. Frangogiannis N.G. The pathological basis of myocardial hibernation. *HistolHistopathol*. 2003; 18(2): 647–55. DOI: 10.14670/HH-18.647

18. Shipulin V.M., Gutor Sergey S., Suhodolo I.V., Borisova L.V., Andreev S.L., Katkov V.A. et al. Morphological and molecular condition indicators of myocardium: outcomes prediction of surgical treatment in patients with ischemic cardiomyopathy. *Clinical and experimental surgery*. 2015; 1(17): 5-14. (in Russian).

19. Schinkel A.F., Bax J.J., Poldermans D., Elhendy A., Ferrari R., Rahimtoola S.H. Hibernating myocardium: diagnosis and patient outcomes. *Curr Probl Cardiol*. 2007; 32(7): 375–410. DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2007.04.001

20. Sciagra R. SPECT and PET Protocols for Imaging Myocardial Viability. *Curr Cardiovasc Imaging Rep*. 2014; 7(6): 9270. DOI: 10.1007/s12410-014-9270-4

21. Nemkov A. S., Yakovlev D. A. , Borisov A. I., Beliy S. A., Hibernating and stunning of myocardium are the special forms of myocardial existence due to coronary artery disease Part 1. Hibernating. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2011; 10(2): 5-12. (in Russian)

22. Magata Y., Yonekura Y., Nohara R., Kambara H., Kawai C., Hirata C. Metabolic activity in the areas of new fill-in after thallium-201 reinjection: comparison with positron emission tomography using fluorine-18 deoxyglucose. *J Nucl Med*.

1991; 32(4): 673–8.

23. Heusch, G. Hibernating myocardium. *Physiol. Rev.* 1998; 78(4): 1055–1085 DOI: 10.1006/jmcc.1996.0229

24. Pitt M, Dutka D, Pagano D, Camici P, Bonser R. The natural history of myocardium awaiting revascularisation in patients with impaired left ventricular function. *European Heart Journal.* 2004; 25(6): 500–507. DOI: 10.1016/j.ehj.2004.01.016

25. Allman K.C., Shaw L.J., Hachamovitch R., Udelson J.E. Myocardial viability testing and impact of revascularization on prognosis in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol.* 2002; 39(7): 1151–1158. DOI: 10.1016/s0735-1097(02)01726-6

26. Babokin V. E., Pronina V. P., Mishchenko Yu. V., Ananko V. A., Martakov M. A. Results of the modified left ventricle reconstruction with evaluation of geometric parameters in postinfarction aneurysm of the heart. *Russ J Cardiol* 2017, 8 (148): 19–23. (in Russian) DOI: 10.15829/1560-4071-2017-8-19-23

27. Shipulin V.M., Kozlov B.N., Krivoshekoy E.V., Kazakov. V.A., Lezhnev A.A., Babokin V.E. Morphofunctional characteristics of myocardium patients with post-infarct remodeling as a possible cause of adverse results of operational treatment. *Grudnaya i serdechno-sosudistaya khirurgiya.* 2009; 5:37-41. (in Russian)

28. Velazquez E. J., Lee K. L., Deja M. A., Jain A., Sopko G., Marchenko A., et al. Coronary-artery bypass surgery in patients with left ventricular dysfunction. *N Engl J Med.* 2011; 364(17): 1607–16. DOI: 10.1056/NEJMoa1100356

29. Iskandrian A.E., van der Wall E. *Myocardial viability.* Kluwer Academic Publishers, 2002, 206 p.

30. Makarova E.V., Minin S.M., Chernov V.I., Krivoshekoy E.V., Lishmanov Yu.B. Scintigraphy assessment of ischemic myocardial viability in patients with post-infarction left ventricular aneurysm. *Russian Journal of Cardiology.* 2007; 68(6): 22–26 (in Russian) DOI: 10.15829/1560-4071-2007-6-22-26

31. Iskandrian A.E., Garcia E.V. Practical issues: Ask the experts. *Nuclear Cardiac Imaging: Principles and Applications.* 2008. ed 4, New York. Oxford University Press. p. 703–718. DOI: 10.17996/ANC.02.01.192

32. Weich H.F., Strauss H.W. Pitt B. The extraction of thallium-201 by the myocardium. *Circulation.* 1977; 56(2): 188–91. DOI: 10.1161/01.cir.56.2.188

33. Bax J.J., Poldermans D., Elhendy A., Boersma E., Rahimtoola S.H. Sensitivity, specificity, and predictive accuracies of various noninvasive techniques for detecting hibernating myocardium. *Curr Probl Cardiol.* 2001; 26(2): 147. DOI: 10.1067/mcd.2001.109973

34. Cloninger K.G., DePuey E.G., Garcia E.V. Incomplete redistribution in delayed Thallium-201 single photon emission computed tomography (SPECT) images: overestimation of myocardial scarring. *J Am Coll Card.* 1988; 12(4): 955–963

35. Inaba Y, Chen JA, Bergmann SR. Quantity of viable myocardium required to improve survival with revascularization in patients with ischemic cardiomyopathy: A meta-analysis. *J Nucl Cardiol.* 2010; 17(4): 646–654. DOI: 10.1007/s12350-010-9226-2

36. Bax J.J., Delgado V. Myocardial viability as integral part of the diagnostic and therapeutic approach to ischemic heart failure. *J Nucl Cardiol* 2015; 22(2): 229–45. DOI: 10.1007/s12350-015-0096-5

37. Dilsizian V., Rocco T.P., Freedman N.M.T., Leon M.B., Bonow R.O. Enhanced detection of ischemic but viable myocardium by the reinjection of thallium after stress-redistribution imaging. *N Engl J Med* 1990; 323(3): 141–146

38. Dilsizian V., Perrone-Filardi P., Arrighi J.A., Bacharach S.L., Quyyumi A.A., Freedman N.M. et al. Concordance and discordance between stress-redistribution-reinjection and rest-redistribution thallium imaging for assessing viable myocardium. Comparison with metabolic activity by positron emission tomography. *Circulation.* 1993; 88(3): 941–952. DOI: 10.1161/01.cir.88.3.941

39. Althoefer C., vom Dahl J., Buell U., Uebis R., Kleinhans E., Hanrath P. Comparison of thallium-201 single-photon emission tomography after rest injection and fluorodeoxyglucose positron emission tomography for assessment of myocardial viability in patients with chronic coronary artery disease. *Eur J Nucl Med.* 1994; 21(1): 37–45.

40. Burt R.W., Perkins O.W., Oppenheim B.E., Schauwecker D.S., Stein L., Wellman H.N. et al. Direct comparison of fluorine-18-FDG SPECT, fluorine-18-FDG PET and rest thallium -201 SPECT for detection of myocardial viability. *J Nucl Med.* 1995; 36(2): 176–79.

41. Srinivasan G., Kitsiou A.N., Bacharach S.L., Bartlett M.L., Miller-Davis C., Dilsizian V. 18F-fluorodeoxyglucose single photon emission computed tomography: can it replace PET and thallium SPECT for the assessment of myocardial viability? *Circulation.* 1998; 97(9): 843–850. DOI: 10.1161/01.cir.97.9.843.

42. Akinboboye O.O., Idris O., Cannon P.J., Bergmann S.R. Usefulness of positron emission tomography in defining myocardial viability in patients referred for cardiac transplantation. *Am J Cardiol.* 1999; 83(8): 1271–4. DOI: 10.1016/s0002-9149(99)00072-7

43. Wells R.G., Timmins R., Klein R., Lockwood J., Marvin B., deKemp R.A. et al. Dynamic SPECT measurement of absolute myocardial blood flow in a porcine model. *J Nucl Med.* 2014; 55(10): 1685–1691. DOI: 10.2967/jnumed.114.139782

44. Leppo J.A., Meerdink D.A. Comparison of the myocardial uptake of a technetium-labeled isonitrile analogue and thallium. *Circ Res* 1989; 65(3): 632–639. DOI: 10.1161/01.res.65.3.632

45. Gulati V., Ching G., Heller G.V. The role of radionuclide imaging in heart failure. *J Nucl Cardiol* 2013; 20(6): 1173–1183. DOI: 10.1007/s12350-013-9776-1

46. Lishmanov Yu.B., Chernov V.I., Triss S.V., Mazurin I.Yu. Thallium-199 myocardial scintigraphy. *Medical Radiology and Radiation Safety.* 1990; 4: 35–38. (in Russian)

47. Lishmanov Yu.B., Makarova E.V., Chernov V.I., Vesnina J.V., Babokin V.E., Vorojtsova I.N. et al. 199Tl Reinjection combined with SPECT Imaging in Myocardium Hibernation Diagnosis. *Medical Radiology and Radiation Safety.* 2005; 50(1): 62–67. (in Russian)

48. Kapur A., Latus K.A., Davies G., Dhawan R.T., Eastick S. et al. A comparison of three radionuclide myocardial perfusion tracers in clinical practice: the ROBUST study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2002; 29(12): 1608–1616. DOI: 10.1007/s00259-002-0998-8

49. Maublant J.C., Gachon P., Moins N. Hexakis (2-methoxy isobutylisonitrile) technetium-99m and thallium-201 chloride: uptake and release in cultured myocardial cells. *J Nucl*

Med. 1988; 29(1): 48–54. DOI: 10.1007/s00259-007-0549-4

50. Sansoy V., Glover D.K., Watson D.D., Ruiz M., Smith W.H., Simanis J.P. Comparison of thallium-201 resting redistribution with technetium-99m-sestamibi uptake and functional response to dobutamine for assessment of myocardial viability. *Circulation*. 1995; 92(4):994-1004. DOI: 10.1161/01.cir.92.4.994

51. Lishmanov Yu.B., Chernov V.I., Krivonogov N.G. Perfusion scintigraphy of the myocardium with 199Tl in experiment. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 1988; 3: 13-16. (in Russian)

52. Zafir N., Arditi A., Ben-Gal T., Solodky A., Hassid Y., Sulkes J. et al. Additive value of low-dose dobutamine to technetium-99m sestamibi-gated single-photon emission computed tomography for prediction of wall motion improvement in patients undergoing coronary artery bypass graft. *Clinical Cardiology*. 2003; 26(11): 530–535. DOI: 10.1002/clc.4960261111

53. Mochula A.V., Zavadovsky K.V., Andreev S.L., Lishmanov Yu.B. Dynamic single-photon emission computed tomography as a method of identification of multivessel coronary artery disease. *Vestnik rentgenologii i radiologii*. 2016; 97(5):289-295 (in Russian)

54. Fomichev A. V., Chernyavsky A. M., Tarkova A. R., Ibragimov R. U., Kareva Yu. E., Minin S. M. et al. A. Impact of collateral circulation on blood supply and function of myocardium. *Russian Journal of Cardiology*. 2017; 22(8): 70-74. DOI: 10.15829/1560-4071-2017-8-70-74

55. He W., Acampa W., Mainolfi C., Menna F., Sorrentino A.R., Petretta M. et al. Tc-99m tetrofosmin tomography after nitrate administration in patients with ischemic left ventricular dysfunction: relation to metabolic imaging by PET. *J Nucl Cardiol*. 2003; 10(6): 599–606. DOI: 10.1016/S1071-3581(03)00649-4

56. Raja S., Singh B., Rohit M.K., Manohar K., Kashyap R., Bhattacharya A. et al. Comparison of nitrate augmented Tc-99m tetrofosmin gated SPECT imaging with FDG PET imaging for the assessment of myocardial viability in patients with severe left ventricular dysfunction. *J Nucl Cardiol*. 2012; 19(6): 1176-81.

57. Sciagrà R., Leoncini M., Marcucci G., Dabizzi R.P., Pupi A. Technetium-99m sestamibi imaging to predict left ventricular ejection fraction outcome after revascularisation in patients with chronic coronary artery disease and left ventricular dysfunction: comparison between baseline and nitrate-enhanced imaging. *European Journal of Nuclear Medicine*. 2001; 28(6): 680-7. DOI: 10.1007/s002590100543

58. Sciagrà R., Leoncini M., Mennuti A., Dabizzi R.P., Pupi A. Classification of ischemic dysfunctional myocardium combining perfusion quantification and contractile reserve evaluation using nitrate-enhanced gated single photon emission computed tomography with dobutamine test. *Q J Nucl Med Mol Imaging*. 2004; 48(1): 4-11.

59. Saushkin V.V., Mishkina A.I., Shipulin V.V., Zavadovsky K.V. The value of radionuclide assessment of mechanical dyssynchrony in patients with cardiac diseases. *REJR* 2019; 9(1):186-202. (in Russian) DOI:10.21569/2222-7415-2019-9-1-186-202

60. Lishmanov Yu.B., Zavadovsky K.V., Varlamova Yu.V., Grakova E.V., Gulya M.O., Ilyushenkova Yu.N. *Cardiac radionuclide imaging clinical manual*. Tomsk, Publishing House of Scientific and Technical Literature, 2018. 168p.

61. Shojaeifard M., Ghaedian T., Yaghoobi N., Malek H., Firoozabadi H., Bitarafan-Rajabi A. et al. Comparison of Gated SPECT Myocardial Perfusion Imaging with Echocardiography for the Measurement of Left Ventricular Volumes and Ejection Fraction in Patients With Severe Heart Failure. *Res Cardiovasc Med*. 2015; 5(1): e29005. DOI: 10.5812/cardiovascmed.29005

62. Manrique A., Faraggi M., Vera P., Vilain D., Lebtahi R., Cribier A. et al. 201 Tl and 99mTc MIBI gated SPECT in patients with large perfusion defects and left ventricular dysfunction: comparison with equilibrium radionuclide angiography. *J Nucl Med*. 1999; 40(5): 805-9.

63. Mabuchi M., Kubo N., Morita K., Makino Y., Matsui Y., Murashita T. et al. Prediction of functional recovery after coronary bypass surgery using quantitative gated myocardial perfusion SPECT. *Nucl Med Commun*. 2003; 24(6): 625-31. DOI: 10.1097/01.mnm.0000075190.18521.0f

64. Ozdemir S., Yener A.Ü., Barutcu A., Tan Y.Z., Çelik F. The assessment of septal wall motion in patients undergoing CABG by myocardial perfusion-gated SPECT. *Nucl Med Commun*. 2015; 36(7): 738-46. DOI: 10.1097/MNM.0000000000000309.64.

65. Taki J., Higuchi T., Nakajima K., Matsunari I., Hwang E.H., Bunko H. et al. Electrocardiographic gated 99mTc-MIBI SPECT for functional assessment of patients after coronary artery bypass surgery: comparison of wall thickening and wall motion analysis. *Nucl Med*. 2002; 43(5): 589-95.

66. Giubbini R., Rossini P., Bertagna F., Bosio G., Paghera B., Pizzocaro C et al. Value of gated SPECT in the analysis of regional wall motion of the interventricular septum after coronary artery bypass grafting. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2004; 31(10): 1371-7. DOI: 10.1007/s00259-004-1569-y

67. Swaminathan M., Morris R.W., De Meyts D.D., Podgoreanu M.V., Jollis J.G., Grocott H.P. et al. Deterioration of regional wall motion immediately after coronary artery bypass graft surgery is associated with long-term major adverse cardiac events. *Anesthesiology*. 2007; 107(5): 739-45. DOI: 10.1097/01.anes.0000287008.70453.81

68. Aljaroudi W., Alraies M.C., Brunken R., Cerquiera M., Jaber W.A. Paradoxical septal motion from prior coronary artery bypass graft surgery does not impact left ventricular mechanical dyssynchrony by gated myocardial perfusion imaging. *J Nucl Cardiol*. 2012; 19(6): 1190-7. DOI: 10.1007/s12350-012-9627-5

69. Meizlish J.L., Berger H.J., Plankey M., Errico D., Levy W., Zaret B.L. Functional left ventricular aneurysm formation after acute anterior transmural myocardial infarction. Incidence, natural history, and prognostic implications. *N Engl J Med*. 1984; 311(16): 1001-6. DOI: 10.1056/NEJM198410183111601

70. Gaudieri V., Nappi C., Acampa W., Zampella E., Assante R., Mannarino T. 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; 26(4): 1148-1156. DOI: 10.1007/s12350-017-1090-x

71. Abidov A., Slomka P.J., Nishina H., Hayes S.W., Kang X., Yoda S. et al. Left ventricular shape index assessed by gated stress myocardial perfusion SPECT: initial description of a new variable. *J Nucl Cardiol*. 2006; 13(5): 652-9. DOI: 10.1016/j.nuclcard.2006.05.020

72. Chen J., Bax J.J., Henneman M.M., Boogers M.J., Gar-

cia E.V. Is nuclear imaging a viable alternative technique to assess dyssynchrony? *Europace*. 2008; 10(3): 101-105. DOI: 10.1093/europace/eun221.

73. AlJaroudi W., Alraies M.C., Hachamovitch R., Jaber W.A., Brunken R., Cerqueira M.D. et al. Association of left ventricular mechanical dyssynchrony with survival benefit from revascularization: a study of gated positron emission tomography in patients with ischemic LV dysfunction and narrow QRS. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2012; 39(10): 1581-91 DOI: 10.1007/s00259-012-2171-3

74. Zavodovskiy K.V., Saushkin V.V., Pankova A.N., Lishmanov Yu. B. Methodological features of gated blood pool spect data acquisition, imaging processing and results interpretation. *Radiology — Practice*. 2011; 6:75-83. (in Russian)

75. Henneman M.M., Chen J., Dibbets-Schneider P., Stokkel M.P., Bleeker G.B., Ypenburg C. et al. Can LV dyssynchrony as assessed with phase analysis on gated myocardial perfusion SPECT predict response to CRT. *J Nucl Med*. 2007; 48(7): 1104-11. DOI: 10.2967/jnumed.107.039925

76. Gulya M.O., Lishmanov Y.B., Zavodovsky K.V., Lebedev D.I. Metabolism of fatty acids in left ventricle myocardium and the efficacy prognosis of cardio-resynchronizing therapy in dilated cardiomyopathy patients. *Russian Journal of Cardiology*. 2014;(9):61-67. (in Russian) DOI: 10.15829/1560-4071-2014-9-61-67

77. Zavodovsky K.V., Gulya M.O., Lishmanov Yu.B., Lebedev D.I. Perfusion and metabolic scintigraphy with 123i-bmipp in prognosis of cardiac resynchronization therapy in patients with dilated cardiomyopathy. *Annals of Nuclear Medicine*. 2016; 30(5): 325-333. DOI: 10.1007/s12149-016-1064-0

78. Penicka M., Bartunek J., Lang O., Medilek K., Tousek P., Vanderheyden M. et al. Severe left ventricular dyssynchrony is associated with poor prognosis in patients with moderate systolic heart failure undergoing coronary artery bypass grafting. *J Am Coll Cardiol*. — 2007; 50(14): 1315-1323 DOI: 10.1016/j.jacc.2007.03.070

79. Chen C.C., Shen T.Y., Chang M.C., Hung G.U., Chen W.C., Kao C.H. Stress-induced myocardial ischemia is associated with early post-stress left ventricular mechanical dyssynchrony as assessed by phase analysis of 201Tl gated SPECT myocardial perfusion imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2012; 39(12): 1904-9. DOI: 10.1007/s00259-012-2208-7

80. Park S., Cheon G.J., Paeng J.C., Won K.S., Kang K.W., Kim K.B. et al. Phase analysis of gated myocardial perfusion single-photon emission computed tomography after coronary artery bypass graft surgery: reflection of late reverse remodeling in patients with patent grafts after coronary artery bypass graft surgery. *Nucl Med Commun*. 2016; 37(11): 1139-47. DOI: 10.1097/MNM.0000000000000565

81. Zhang F., Yang W., Wang Y., Tang H., Wang J., Shao X. Is there an association between hibernating myocardium and left ventricular mechanical dyssynchrony in patients with myocardial infarction. *Hell J Nucl Med*. 2018; 21(1): 28-34. DOI: 10.1967/s002449910704

82. Hernandez-Pampaloni M., Peral V., Carreras J.L., Sanchez-Harguindey L., Vilacosta I. Biphasic response to dobutamine predicts improvement of left ventricular dysfunction after revascularization: correlation with positron emission and redistribution 201Tl topographies. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2003; 19(6): 519-28

DOI:10.1023/B:CAIM.0000004302.68305.80

83. Baumgartner H., Porenta G., Lau Y.K., Wutte M., Klaar U., Mehrabi M et al. Assessment of myocardial viability by dobutamine echocardiography, positron emission tomography and thallium-201 SPECT. *J Am Coll Cardiol*. 1998; 32(6): 1701-8. DOI: 10.1016/s0735-1097(98)00436-7.

84. Yoshinaga K., Katoh C., Noriyasu K., Yamada S., Ito Y., Kuge Y et al. Low-dose dobutamine stress gated SPET for identification of viable myocardium: comparison with stress-rest perfusion SPET and PET. *J Nucl Med*. 2001; 42(6): 838-844. DOI: 10.1007/s00259-002-0795-4

85. Leoncini M., Sciagra R., Bellandi F., Maioli M., Sestini S., Marcucci G. et al. Low-dose dobutamine nitrate-enhanced technetium 99m sestamibi gated SPECT versus low-dose dobutamine echocardiography for detecting reversible dysfunction in ischemic cardiomyopathy. *J Nucl Cardiol*. 2002; 9(4): 402-6. DOI:10.1067/mnc.2002.123856

86. Narula J., Martin S. Dawson M.S., Singh B.K., Amanullah A., Acio E.R. et al. Noninvasive Characterization of Stunned, Hibernating, Remodeled and Nonviable Myocardium in Ischemic Cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol*. 2000; 36(6): 1913-9. DOI: 10.1016/s0735-1097(00)00959-1

87. Beanlands R.S., Nichol G., Huszti E., Humen D., Racine N., Freeman M. et al. F-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging-assisted management of patients with severe left ventricular dysfunction and suspected coronary disease: a randomized, controlled trial (PARR-2). *J Am Coll Cardiol*. 2007; 50(20): 2002-12 DOI: 10.1016/j.jacc.2007.09.006

88. D'Egidio G., Nichol G., Williams K.A., Guo A., Garrard L., deKemp R. Increasing benefit from revascularization is associated with increasing amounts of myocardial hibernation: A substudy of the PARR-2 trial. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2009; 2(9): 1060-8. DOI: 10.1016/j.jcmg.2009.02.017.

89. Abraham A., Nichol G., Williams K.A., Guo A., deKemp R.A., Garrard L. et al. 18F-FDG PET imaging of myocardial viability in an experienced center with access to 18F-FDG and integration with clinical management teams: the Ottawa-FIVE substudy of the PARR 2 trial. *J Nucl Med*. 2010; 51(4): 567-74. DOI: 10.2967/jnumed.109.065938

90. Mc Ardle B., Shukla T., Nichol G., deKemp R.A., Bernick J., Guo A. et al. Long-term follow-up of outcomes with F-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging-assisted management of patients with severe left ventricular dysfunction secondary to coronary disease. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2016; 9(9): e004331. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.115.004331.

91. Jones R.H., Velazquez E.J., Michler R.E., Sopko D., Oh J.K., O'Connor C.M. et al. Coronary Bypass Surgery with or without Surgical Ventricular Reconstruction. *N. Engl. J. Med*. 2009; 360(17): 1705-1717. DOI: 10.1056/NEJMoa0900559

92. Bonow R.O., Maurer G., Lee K.L., Holly T.A., Binkley P.F., Desvigne-Nickens P. Myocardial viability and survival in ischemic left ventricular. *N. Engl. J. Med*. 2011; 364(17): 1617-1625. DOI: 10.1056/NEJMoa1100358

93. Zembala M., Michler R.E., Rynkiewicz A., Huynh T., She L., Lubiszewska B. et al. Clinical characteristics of patients undergoing surgical ventricular reconstruction by choice and by randomization. *J Am Coll Cardiol*. 2010; 56(6): 499-507. DOI: 10.1016/j.jacc.2010.03.054.

94. Oh J.K., Pellikka P.A., Panza J.A., Biernat J., Attisano

- T., Manahan B.G et al. Core lab analysis of baseline echocardiographic studies in the STICH trial and recommendation for use of echocardiography in future clinical trials. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2012; 25(3): 327–336. DOI: 10.1016/j.echo.2011
95. Chareonthaitawee P., Gersh B.J., Panza J.A. Is viability imaging still relevant in 2012? *JACC Cardiovasc Imaging.* 2012; 5(5): 550-8. DOI: 10.1016/j.jcmg.2011.10.010.
96. Tarakji K.G., Brunken R., McCarthy P.M., Al-Chekakie M.O., Abdel-Latif A., Pothier C.E. Myocardial viability testing and the effect of early intervention in patients with advanced left ventricular systolic dysfunction. *Circulation.* 2006; 113(2): 230–237. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.541664
97. Camici P.G., Prasad S.K., Rimoldi O.E. Stunning, hibernation and assessment of myocardial viability. *Circulation.* 2008; 117(1): 103-14. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.702993.
98. Buckberg G.D., Athanasuleas C.L. Decision making in ischemic cardiomyopathy: is the Cleveland clinic model valid? *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2010; 140(5): 1203–1205. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2010.04.042
99. Yancy C.W., Jessup M., Bozkurt B., Butler J., Casey D.E. Jr., Drazner M.H et al. 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines / *J Am Coll Cardiol.* 2013; 62(16): 147-239. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.05.019
100. Neumann F.J., Sousa-Uva M., Ahlsson A., Alfonso F., Banning A.P., Benedetto U. et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J.* 2019; 40(2): 87-165 DOI: 10.1093/eurheartj/ehy394.