



Прогностическая роль продольной деформации и механической дисперсии левого желудочка по данным спекл-трекинг эхокардиографии у пациентов с ишемической и неишемической кардиомиопатией: систематический обзор и метаанализ

Голухова Е. З., Булаева Н. И., Мрикаев Д. В., Александрова С. А., Бердибеков Б. Ш.

Цель. Настоящее исследование направлено на проведение систематического обзора и метаанализа с целью изучения прогностической роли глобальной продольной деформации (ГПД) левого желудочка (ЛЖ) и механической дисперсии (МД) ЛЖ у пациентов с ишемической и неишемической кардиомиопатией по данным спекл-трекинг эхокардиографии.

Материал и методы. Поиск повели в базах данных PubMed, Google Scholar и Embase для исследований, в которых изучалась прогностическая ценность ГПД ЛЖ и МД ЛЖ у больных с ишемической и неишемической кардиомиопатией. Значения отношения рисков (ОР) в исследованиях, где были доступны аналогичные оценочные критерии, были объединены для метаанализа.

Результаты. Для данного систематического обзора и метаанализа было отобрано 12 исследований из 314 публикаций. Всего в анализ было включено 2624 пациента (средний возраст 57,9 года, средний срок наблюдения 40,8 мес.). Метаанализ показал, что ухудшение ГПД ЛЖ было ассоциировано с повышенным риском развития жизнеугрожающих желудочковых аритмий (ЖА): скорректированное ОР: 1,10 на каждый 1% ГПД ЛЖ; 95% доверительный интервал (ДИ): 1,01-1,19; $p=0,03$, и больших сердечно-сосудистых неблагоприятных событий: скорректированное ОР: 1,22 на каждый 1% ГПД ЛЖ; 95% ДИ: 1,11-1,33; $p<0,0001$. Пациенты с ЖА имели более высокие значения МД ЛЖ, чем у пациентов без нее (разница средних значений 33,69 мс; 95% ДИ: от -41,32 до -26,05; $p<0,0001$). Прирост МД ЛЖ на каждые 10 мс статистически значимо и независимо ассоциировался с развитием ЖА: скорректированное ОР: 1,18; 95% ДИ: 1,08-1,29; $p=0,0002$.

Заключение. Оценка ГПД ЛЖ и МД ЛЖ с использованием спекл-трекинг эхокардиографии имеет важную прогностическую роль и может использоваться в качестве эффективного инструмента для стратификации риска у пациентов с ишемической и неишемической кардиомиопатией.

Ключевые слова: ишемическая кардиомиопатия, неишемическая дилатационная кардиомиопатия, спекл-трекинг эхокардиография, деформация миокарда, прогностическая роль, прогноз.

Отношения и деятельность: нет.

ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева Минздрава России, Москва, Россия.

Голухова Е. З. — академик РАН, д.м.н., профессор, директор, зав. кафедрой кардиологии и функциональной диагностики с курсом детской кардиологии, ORCID: 0000-0002-6252-0322, Булаева Н. И. — к.б.н., с.н.с., руководитель отдела координации и сопровождения научно-исследовательской деятельности и проведения тематических мероприятий, зав. лабораторией аритмогенеза, доцент кафедры кардиологии и функциональной диагностики с курсом детской кардиологии, ORCID: 0000-0002-5091-0518, Мрикаев Д. В. — к.м.н., с.н.с., доцент кафедры кардиологии и функциональной диагностики с курсом детской кардиологии, ORCID: 0000-0003-4237-0758, Александрова С. А. — к.м.н., с.н.с., доцент кафедры кардиологии и функциональной диагностики с курсом детской кардиологии, ORCID: 0000-0002-7795-9709, Бердибеков Б. Ш.* — м.н.с. отдела координации и сопровождения научно-исследовательской деятельности и проведения тематических мероприятий, врач-кардиолог отделения неинвазивной аритмологии и хирургического лечения комбинированной патологии, ORCID: 0000-0001-7717-4971.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):
b.berdibekov@yahoo.com

ВСС — внезапная сердечная смерть, ГПД — глобальная продольная деформация, ДИ — доверительный интервал, ЖА — желудочковые аритмии, ЛЖ — левый желудочек, МД — механическая дисперсия, ОР — отношение рисков, СН — сердечная недостаточность, ФВ — фракция выброса, MACE — сердечно-сосудистые неблагоприятные события, STE — спекл-трекинг эхокардиография.

Рукопись получена 23.04.2022

Рецензия получена 24.05.2022

Принята к публикации 15.06.2022



Для цитирования: Голухова Е. З., Булаева Н. И., Мрикаев Д. В., Александрова С. А., Бердибеков Б. Ш. Прогностическая роль продольной деформации и механической дисперсии левого желудочка по данным спекл-трекинг эхокардиографии у пациентов с ишемической и неишемической кардиомиопатией: систематический обзор и метаанализ. *Российский кардиологический журнал*. 2022;27(S3):5034. doi:10.15829/1560-4071-2022-5034. EDN VARDUQ

Prognostic value of left ventricular global longitudinal strain and mechanical dispersion by speckle tracking echocardiography in patients with ischemic and nonischemic cardiomyopathy: a systematic review and meta-analysis

Golukhova E. Z., Bulaeva N. I., Mrikaev D. V., Aleksandrova S. A., Berdibekov B. Sh.

Aim. To conduct a systematic review and meta-analysis in order to evaluate the prognostic value of left ventricular global longitudinal strain (LV GLS) and LV mechanical dispersion (LVMD) in ischemic and nonischemic cardiomyopathy.

Material and methods. We searched PubMed, Google Scholar and Embase for studies on the prognostic value of LV GLS and LVMD in ischemic and nonischemic cardiomyopathy. Hazard ratios (HR) from included studies were pooled for meta-analysis.

Results. Twelve studies were selected from 314 publications for this systematic review and meta-analysis. In total, 2624 patients (mean age, 57,3 years; mean follow-up, 40,8 months) were included in the analysis. Meta-analysis showed that

decreased LV GLS was associated with an increased risk of ventricular arrhythmias (VAs) (adjusted HR: 1,10 per 1% of GLS; 95% CI: 1,01-1,19; $p=0,03$) and major adverse cardiovascular events (MACE): adjusted HR: 1,22 per 1% of GLS; 95% CI: 1,11-1,33; $p<0,0001$). Patients with VAs had greater LVMD than those without it (weighted mean difference, 33,69 ms; 95% CI: -41,32 to -26,05; $p<0,0001$). Each 10 ms increment of LVMD was significantly and independently associated with VA episodes (adjusted HR: 1,18; 95% CI: 1,08-1,29; $p=0,0002$).

Conclusions. LV GLS and LVMD assessed using speckle tracking provides important predictive value and can be used as an effective tool for stratifying risk in patients with ischemic and nonischemic cardiomyopathy.

Keywords: ischemic cardiomyopathy, non-ischemic cardiomyopathy, speckle tracking echocardiography, myocardial strain, predictive value, prognosis.

*Corresponding author:
b.berdibekov@yahoo.com

Relationships and Activities: none.

Received: 23.04.2022 **Revision Received:** 24.05.2022 **Accepted:** 15.06.2022

A. N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery, Moscow, Russia.

For citation: Golukhova E. Z., Bulaeva N. I., Mrikaev D. V., Aleksandrova S. A., Berdibekov B. Sh. Prognostic value of left ventricular global longitudinal strain and mechanical dispersion by speckle tracking echocardiography in patients with ischemic and nonischemic cardiomyopathy: a systematic review and meta-analysis. *Russian Journal of Cardiology*. 2022;27(3S):5034. doi:10.15829/1560-4071-2022-5034. EDN VARDUQ

Golukhova E. Z. ORCID: 0000-0002-6252-0322, Bulaeva N. I. ORCID: 0000-0002-5091-0518, Mrikaev D. V. ORCID: 0000-0003-4237-0758, Aleksandrova S. A. ORCID: 0000-0002-7795-9709, Berdibekov B. Sh.* ORCID: 0000-0001-7717-4971.

Ишемическая и неишемическая кардиомиопатия на данный момент являются основными причинами хронической сердечной недостаточности (СН) со сниженной фракцией выброса (ФВ) левого желудочка (ЛЖ) [1]. Она ассоциирована со значительной заболеваемостью и преждевременной смертностью, прежде всего, из-за развития декомпенсированной СН и внезапной сердечной смерти (ВСС) [1, 2]. Текущие критерии стратификации риска далеки от совершенства, существует потребность в новых инструментах стратификации риска, поскольку у большинства пациентов, которым в частности проводится имплантация кардиовертера-дефибриллятора для первичной профилактики ВСС, так и не происходит мотивированных срабатываний устройств [3].

проводилось изучение прогностической роли ГПД и МД ЛЖ у пациентов с ишемической и неишемической кардиомиопатией.

Материал и методы

Поиск публикаций и отбор исследований. Алгоритм поиска информации был разработан в соответствии с требованиями и положениями отчетности для систематических обзоров и метаанализов (PRISMA) [7] в базе данных PubMed, Google Scholar и Embase. Последний поиск данных для включения в данный анализ был проведен 4 февраля 2022г. Для поиска данных в базах данных PubMed и Embase мы использовали следующие ключевые слова: ((dilated cardiomyopathy) OR (nonischemic dilated cardiomyopathy) OR (ischemic dilated cardiomyopathy) OR (Heart Failure)) AND ((Echocardiography) AND (speckle tracking) OR (Strain) OR (Global Longitudinal Strain) OR (Myocardial strain) OR (dyssynchrony) OR (dispersion)) AND ((risk assessment) OR (predictive value) OR (prognostic value)). Для поиска в базе данных Google Scholar использовали запрос: speckle tracking echocardiography, Global Longitudinal Strain, dispersion, Nonischemic Dilated Cardiomyopathy, Ischemic Dilated Cardiomyopathy, Heart Failure, prognostic value, hazard ratio cox regression.

Появление методик оценки деформации миокарда с помощью технологии отслеживания движения пятен серой шкалы в двухмерном изображении (спектрекинг эхокардиографии (STE)) дало возможность оценить ранние нарушения функции желудочков при отсутствии явных структурных изменений в миокарде [4]. В течение последнего десятилетия появляется все больше исследований, изучающих роль глобальной продольной деформации (ГПД) ЛЖ (LV GLS, left ventricular global longitudinal strain), определяемой с помощью 2D STE для прогнозирования неблагоприятных событий у пациентов с ХСНнФВ [5]. В большинстве данных исследований показано, что ухудшение ГПД ЛЖ, ассоциировано с развитием неблагоприятных сердечно-сосудистых событий. Следует отметить, что не только ГПД ЛЖ, но и механическая дисперсия (МД) ЛЖ (LV MD (left ventricular mechanical dispersion)) показала себя в качестве суррогатного маркера замедленной и неоднородной проводимости в миокарде и была связана с риском развития аритмических событий как при ишемической, так и неишемической кардиомиопатиях [6]. Однако в настоящее время использование этих новых эхокардиографических маркеров ограничивается только небольшими одноцентровыми обсервационными клиническими исследованиями, с небольшими размерами выборки и небольшим количеством событий.

Для отбора подходящих исследований для включения в этот систематический обзор и метаанализ двое авторов независимо друг от друга изучили абстракты и полнотекстовые отчеты на соответствие критериям включения.

Критерии включения/исключения. Критериями включения первичных исследований в систематический обзор с последующим метаанализом были: исследования с доступом к полным текстам; все участники были взрослыми (18 лет и старше); исследования с адекватно представленными исходными данными, главным образом данными оценки продольной деформации и/или МД ЛЖ по данным STE. Кроме того, обязательным условием включения публикаций в метаанализ было представление данных о клинических исходах, а также результаты унивариантного и/или многофакторного регрессионного анализа Кокса с данными отношения рисков (ОР).



Рис. 1. Блок-схема отбора включенных в обзор исследований.

Нижним порогом длительности периода наблюдения за пациентами был установлен срок 12 мес. (средний период). Статьи на других языках кроме английского, описания отдельных случаев, доклинические исследования, обзоры и мнения экспертов исключались из метаанализа.

Оценка методологического качества. Качество исследований определялось по шкале оценки качества когортных исследований Ньюкасл-Оттава [8]. Оценка исследований проводилась на основе определения следующих основных критериев: отбор исследовательских групп; сопоставимость групп; и установка интересующего исхода. Все несоответствия устранялись путем обсуждения авторами работы.

Статистический анализ. Статистическая обработка данных выполнялась в программах Review Manager (RevMan), версия 5.4.1 (The Cochrane Collaboration, 2020) и Comprehensive Meta-Analysis 3.0 (Biostat, NJ). Метаанализ проводился по модели случайных эффектов, с применением метода обратной дисперсии. Графически основные результаты представлены в виде "форест" диаграммы (forest plot). Оценку статистической гетерогенности выполняли с использованием критерия хи-квадрат Пирсона, а также индекса гетерогенности I^2 . Интерпретация оценки статистической гетерогенности согласно индексу I^2 проводилась по рекомендациям Кокрановского сообщества, согласно которому $I^2=0-40\%$ соответ-

ствует незначительной гетерогенности; 30-60% — умеренной гетерогенности; 50-90% — значительной гетерогенности; 75-100% — высокой гетерогенности. В качестве исходных значений для метаанализа показателей выживаемости использовались значения нескорректированного (полученного для однофакторной модели, unadjusted) и скорректированного (полученного для многофакторной модели, adjusted) ОР, определенного для изменения ГПД ЛЖ и МД ЛЖ на 1% и 10 мс, соответственно. Оценка публикационного смещения проводилась с помощью теста Эггера. Эффект считался статистически значимым при $p<0,05$.

Результаты

Результаты поиска литературы

В результате поиска по ключевым словам в базе данных PubMed, Google Scholar и Embase всего найдено 314 публикаций. Число публикаций после удаления дубликатов составило 302. После анализа заголовков и их аннотаций поставленной цели соответствовали 37 публикаций. Наиболее частыми причинами исключения статей были несоответствие поставленной цели, отсутствие заданных данных, а также исключались обзорные статьи, обсуждения, тезисы и доклады. Полнотекстовый скрининг прошли 20 публикаций.

В трех исследованиях не были представлены данные сравнительного анализа показателей деформации

Таблица 1

Синописис исследований, включенных в систематический обзор

Исследование (первый автор)	(n) пациентов	Дизайн исследования	Возраст (лет)	Муж., %	Популяция	ИБС (n, %)	Период наблюдения, мес.	ФВ ЛЖ, %
Haugaa, 2012 [14]	94	Проспективное	47±14	76 (81)	НИКМП	0	22	NR
Motoki, 2012 [15]	194	Проспективное	57±14	140 (72)	НИКМП и ИКМП	80 (41)	60	26±6
Goebel, 2014 [16]	87	Проспективное	51±13	75 (116)	НИКМП	0	39±11	NR
Negishi, 2015 [17]	124	Проспективное	56±13	67 (54)	НИКМП	0	45,6	31,4±9,9
Kosiuk, 2015 [18]	20	Проспективное	62±11	15 (75)	НИКМП	0	70±40	32±6
Biering-Sørensen, 2016 [19]	1064	Проспективное	64±11	799 (75)	НИКМП и ИКМП	592 (56)	34,8	29,2±3,4
Chimura, 2017 [20]	179	Ретроспективное	61±15	121 (68)	НИКМП	0	45,6	33±9,0
Mornoş, 2017 [21]	340	Проспективное	63±12	111 (33)	НИКМП и ИКМП	215 (63)	36±9	–
Santos, 2019 [22]	31	Проспективное	56,1±4,8	15 (48)	НИКМП	0	18,2	34,5±11,2
Jung, 2020 [23]	160	Ретроспективное	64±15	108 (67)	НИКМП	0	37,3±21,7	26,8±7,5
Kažukauskienė, 2021 [24]	41	Проспективное	47±12	33 (80)	НИКМП	0	60	25 [20-34]
Melichova, 2021 [25]	290	Проспективное	67±13	216 (74)	НИКМП	0	22	31±6

Сокращения: ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИКМП — ишемическая кардиомиопатия, НИКМП — неишемическая кардиомиопатия, ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка, NR — not reported.

Таблица 2

Характеристика (спецификация) ультразвукового оборудования, примененного в исследованиях

Исследование (первый автор)	УЗ система	Рабочая станция	Частота кадров, кадр/сек
Haugaa, 2012 [14]	GE	EchoPAC; GE Healthcare	>70
Motoki, 2012 [15]	Phillips и Siemens	Syngo Dynamics 9.0 software, Siemens	NR
Goebel, 2014 [16]	GE	EchoPAC; GE Healthcare	NR
Negishi, 2015 [17]	GE	EchoPAC; GE Healthcare	50±20
Kosiuk, 2015 [18]	GE	NR	>60
Biering-Sørensen, 2016 [19]	NR	TomTec Imaging Systems	NR
Chimura, 2017 [20]	Toshiba	2DST software (Toshiba Medical Systems)	NR
Mornoş, 2017 [21]	GE	EchoPAC; GE Healthcare	NR
Santos, 2019 [22]	GE	EchoPAC; GE Healthcare	NR
Jung, 2020 [23]	GE	EchoPAC; GE Healthcare	NR
Kažukauskienė, 2021 [24]	GE	EchoPAC; GE Healthcare	50-70
Melichova, 2021 [25]	GE	EchoPAC; GE Healthcare	>60

Сокращения: УЗ — ультразвуковой, NR — not reported.

ции миокарда ЛЖ у пациентов с развитием событий и без них, или результаты регрессионного анализа Кокса с данными ОР, в связи с чем данные исследования были исключены из нашего анализа [9-11]. В одном исследовании показатели ГПД ЛЖ и МД ЛЖ представлены в виде бинарных данных с определением диагностического порога отсечения (cut-off), что не позволило нам включить данное исследование для объединенного анализа непрерывных данных [12]. В одном исследовании были представлены крайне гетерогенные группы пациентов, которое помимо ишемической и неишемической дилатационной кардиомиопатии, включало пациентов с гипертрофической кардиомиопатией и саркаидозом сердца, в связи с чем данное исследование было также

исключено из нашего анализа [13]. Таким образом, окончательно в наш обзор было включено 12 исследований, процесс отбора релевантных исследований показан на рисунке 1.

Общая характеристика исследований

Общее количество пациентов с СН со сниженной ФВ ЛЖ, вызванной ишемической или неишемической кардиомиопатией, включенных в данный анализ, составило — 2624. Всем пациентам проводилась оценка ГПД и/или МД миокарда ЛЖ по данным STE. Средний возраст пациентов составил 57,9 года. Средняя продолжительность периода наблюдения составила 40,8 мес. Данные о дизайне исследования, исходных характеристиках пациентов обобщены в таблице 1.

Таблица 3

Показатели деформации и МД ЛЖ, включенных в систематический обзор публикаций

Исследование	Показатели деформации миокарда ЛЖ	События -	n	События +	n	Конечные точки
Haugaa, 2012 [14]	ГПД, %	-12,3±5,2	82	-6,4±3,3	12	Устойчивая ЖТ или остановка сердца
	МД, мс	56±18		98±43		
Motoki, 2012 [15]	ГПД, %	-7,8±3,4	116	-6,0±2,9	78	Смерть, трансплантация сердца, госпитализация по поводу декомпенсации СН
Goebel, 2014 [16]	ГПД, %	-12±4	37	-8±3	50	Смерть, трансплантация сердца, госпитализация по поводу декомпенсации СН
	МД, мс	78±79		140±134		
Negishi, 2015 [17]	ГПД, %	-9,4±3,2	88	-8,2±3,8	36	Мотивированные срабатывания ИКД
Kosiuk, 2015 [18]	МД, мс	50±16	9	84±31	11	ЖТ или ФЖ
Biering-Sørensen, 2016 [19]	ГПД, %	-9,1±2,9	810	-8,1±2,7	254	ЖТ или ФЖ
Chimura, 2017 [20]	ГПД, %	-9,6±4,0	139	-5,8±2,9	40	Кардиальная смертность, трансплантация сердца, госпитализация по поводу декомпенсации СН или имплантация устройств механической поддержки ЛЖ
Mornoş, 2017 [21]	ГПД, %	-18,1±6,5	292	-11,1±6,5	48	ЖТ, ФЖ, ВСС
	МД, мс	39,7±33,1		72,3±27,6		
Santos, 2019 [22]	ГПД, %	-12,7±4,3	25	-10,2±3,9	6	Смерть, трансплантация сердца, госпитализация по поводу декомпенсации СН
Jung, 2020 [23]	ГПД, %	-8,2±2,9	115	-11,9±1,6	45	Обратное ремоделирование ЛЖ
Kažukauskienė, 2021 [24]	ГПД, %	-9,9±2,8	21	-6,2±3,7	20	Кардиоваскулярная смертность, трансплантация сердца или имплантация устройств механической поддержки ЛЖ
Melichova, 2021 [25]	ГПД, %	-10,7±3,1	252	-9,3±3,8	32	ЖТ, остановка сердца, ВСС

Сокращения: ВСС — внезапная сердечная смерть, ГПД — глобальная продольная деформация, ЖТ — желудочковая тахикардия, ИКД — имплантируемый кардиовертер-дефибриллятор, ЛЖ — левый желудочек, МД — механическая дисперсия, СН — сердечная недостаточность, ФЖ — фибрилляция желудочков.

Эхокардиографические данные

Эхокардиограмму получали на ультразвуковых системах экспертного класса (General Electric, Philips, Siemens и Toshiba). В большинстве исследований (8 публикаций) постобработка данных проводилась на рабочих станциях EchoPAC (GE), в 1 исследовании TomTec (TomTec Imaging Systems) [19], в 1 исследовании Syngo Dynamics 9.0 software (Siemens) [15], и в 1 исследовании 2DST software (Toshiba Medical Systems) [20]. Деформация миокарда ЛЖ оценивалась с помощью 2D технологии STE. Основные характеристики эхокардиографического оборудования и программного обеспечения представлены в таблице 2.

Конечные точки и неблагоприятные исходы

Основными конечными точками в исследованиях, где проводилась оценка ГПД и/или МД ЛЖ, являлись "аритмическая" конечная точка (5 исследований) [14, 18, 19, 21, 25], большие сердечно-сосудистые неблагоприятные события (MACE — Major adverse cardiovascular events) (5 исследований) [15, 16, 20, 22, 24] и обратное ремоделирование ЛЖ (1 исследование) [23].

"Аритмическая" конечная точка включала различные события (устойчивая желудочковая тахикардия, фибрилляция желудочков, мотивированные срабатывания имплантируемого кардиовертера-дефибрилля-

тора, ВСС). В большинстве включенных исследований была представлена комбинированная конечная точка, включающая кардиоваскулярную смертность, трансплантацию сердца, госпитализацию по поводу декомпенсации СН или имплантацию устройств механической поддержки ЛЖ. Совокупность указанных событий мы рассчитывали, как большие MACE, с целью проведения дальнейшего метаанализа. В большинстве исследований, включенных в наш анализ, были представлены данные ГПД ЛЖ [14-17, 19-25], в трех исследованиях [14, 16, 21], кроме того, представлены показатели МД ЛЖ, и в одном исследовании [18] проводилась только оценка значений МД ЛЖ. В таблице 3 представлены основные значения показателей ГПД и МД ЛЖ, а также данные о конечных точках и количестве событий в каждой группе. В таблице 4 и 5 представлены данные ОР развития соответствующих конечных точек, полученные в результате унивариантного и многофакторного регрессионного анализа по методу Кокса при включении в качестве предикторов значений ГПД ЛЖ и/или МД ЛЖ в виде непрерывных переменных. Исследования, где был доступен аналогичный оценочный критерий (изменение ГПД ЛЖ и МД ЛЖ на 1% и 10 мс, соответственно), в зависимости от конечной точки были объединены для метаанализа.

Таблица 4

Оцениваемое изменение ГПД и МД ЛЖ, а также соответствующее ему ОР по данным унивариантного регрессионного анализа по методу Кокса

Исследование	Показатели деформации миокарда ЛЖ	ОР	95% ДИ	p	Log HR	SE	Конечные точки
Haugaa, 2012 [14]	ГПД (1%)	1,37	1,15-1,62	<0,001	0,315	0,087	"Аритмическая" конечная точка
	МД (10 мс)	1,39	1,21-1,58	<0,001	0,329	0,068	
Motoki, 2012 [15]	ГПД (1%)	1,55	1,21-2,00	<0,001	–	–	MACE
	ГПД (1%)	1,14	1,059-1,231	<0,001	0,131	0,038	
Negishi, 2015 [17]	ГПД (1%)	1,09	1,01-1,19	0,037	0,086	0,041	"Аритмическая" конечная точка
Chimura, 2017 [20]	ГПД (1%)	1,34	1,19-1,56	<0,0001	0,293	0,068	MACE
Mornoş, 2017 [21]	ГПД (1%)	1,16	1,11-1,22	<0,001	0,148	0,025	"Аритмическая" конечная точка
	МД (1 мс)	1,02	1,01-1,03	<0,001	–	–	
	МД (10 мс)	1,22	1,105-1,344	<0,001	0,199	0,050	
Santos, 2019 [22]	ГПД (1%)	0,879	0,784-0,985	0,026	-0,129	0,058	MACE
Jung, 2020 [23]	ГПД (1%)	1,41	1,24-1,61	<0,001	–	–	Обратное ремоделирование ЛЖ
Kažukauskienė, 2021 [24]	ГПД (1%)	1,41	1,18-1,68	<0,0001	0,344	0,090	MACE

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ГПД — глобальная продольная деформация, ЛЖ — левый желудочек, МД — механическая дисперсия, ОР — отношение рисков, MACE — сердечно-сосудистые неблагоприятные события, SE — стандартная ошибка.

Таблица 5

Оцениваемое изменение ГПД и МД ЛЖ, а также соответствующее ему ОР по данным многофакторного регрессионного анализа по методу Кокса

Исследование	Показатели деформации миокарда ЛЖ	ОР	95% ДИ	p	Log HR	SE	Ковариаты в многофакторной модели
Haugaa, 2012 [14]	ГПД (1%)	1,26	1,03-1,54	0,02	0,231	0,103	QRS, ГПД, МД
	МД (10 мс)	1,20	1,03-1,40	0,02	0,182	0,078	
Motoki, 2012 [15]	ГПД (%) per 1 SD	1,45	1,05-2,03	0,02	–	–	ГЦД
	ГПД (1%)	1,12	1,015-1,236	0,02	0,113	0,050	
Negishi, 2015 [17]	ГПД (1%)	1,11	1,01-1,22	0,03	0,104	0,048	Возраст, пол, имплантация СРТ-Д
Chimura, 2017 [20]	ГПД (1%)	1,27	1,12-1,44	0,0001	0,239	0,064	ГПД, ФК по NYHA, BNP, КДО ЛЖ
Mornoş, 2017 [21]	ГПД (1%)	1,01	0,93-1,09	0,91	0,010	0,040	
	МД (1 мс)	1,00	0,97-1,02	0,13	–	–	
	МД (10 мс)	1,01	0,74-1,22	0,13	0,010	0,127	
Santos, 2019 [22]	ГПД (1%)	1,365	1,106-1,6862	0,003	0,311	0,108	E/e', ФВ ЛЖ
Jung, 2020 [23]	ГПД (1%)	1,47	1,17-1,85	0,001	–	–	Возраст, пол, БЛНПГ, иАПФ/БРА, АМКР, ивабрадин, КДР ЛЖ, КСР ЛЖ, ФВ ЛЖ, Объем ЛП, E/e'
Kažukauskienė, 2021 [24]	ГПД (1%)	1,25	1,01-1,55	0,04	0,223	0,109	BNP, Тропонин Т1
Melichova, 2021 [25]	ГПД (1%)	1,14	1,00-1,30	0,04	0,131	0,067	Возраст, пол, КДР ЛЖ, КСР ЛЖ, ФВ ЛЖ, объем ЛП
	МД (1 мс)	1,02	1,00-1,03	0,01	–	–	
	МД (10 мс)	1,22	1,05-1,34	0,01	0,1989	0,062	

Сокращения: АМКР — антагонисты минералокортикоидных рецепторов, БЛНПГ — блокада левой ножки пучка Гиса, БРА — блокаторы рецепторов ангиотензина II, ГПД — глобальная продольная деформация, ГЦД — глобальная циркулярная деформация, ДИ — доверительный интервал, иАПФ — ингибиторы ангиотензин-превращающего фермента, КДО — конечный диастолический объем, КДР — конечный диастолический размер, КСР — конечный систолический размер, ЛЖ — левый желудочек, ЛП — левое предсердие, МД — механическая дисперсия, ОР — отношение рисков, СРТ-Д — синхронизирующая сердечная терапия-дефибрилятор, ФВ — фракция выброса, ФК — функциональный класс, BNP — B-type natriuretic peptide, MACE — сердечно-сосудистые неблагоприятные события, NYHA — New York Heart Association, SE — стандартная ошибка, SD — standard deviation.

"Аритмическая" конечная точка

Средние значения показателей ГПД ЛЖ в зависимости от развития "аритмической" конечной точки были представлены в пяти исследованиях. Нами был

выполнен метаанализ разности средних значений ГПД ЛЖ у пациентов с развитием "аритмической" конечной точки и без таковой (рис. 2). Как следует из рисунка 2, пациенты с желудочковыми аритмия-

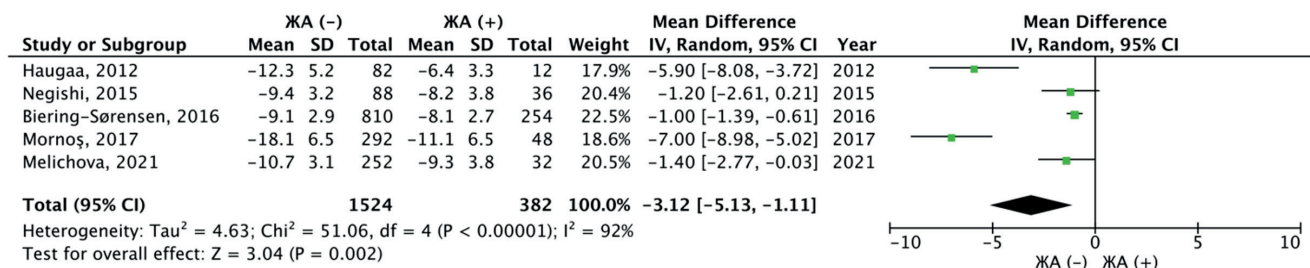


Рис. 2. Результаты метаанализа разности средних значений ГПД ЛЖ в группе с ЖА и без ЖА.

Примечание: зеленые квадраты показывают взвешенный размер эффекта для каждого конкретного исследования (размер зеленых квадратов соответствует весу исследований), черные отрезки — 95% ДИ, черный ромб отражает средневзвешенное значение разности средних значений ГПД. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: ГПД — глобальная продольная деформация, ДИ — доверительный интервал, ЖА — желудочковые аритмии.

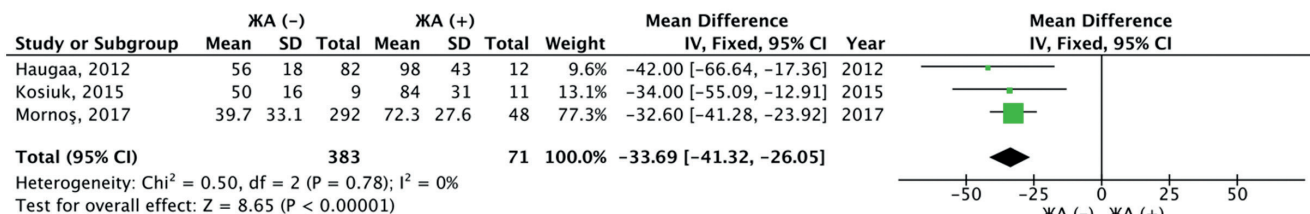


Рис. 3. Результаты метаанализа разности средних значений МД ЛЖ в группе с ЖА и без ЖА.

Примечание: зеленые квадраты показывают взвешенный размер эффекта для каждого конкретного исследования (размер зеленых квадратов соответствует весу исследований), черные отрезки — 95% ДИ, черный ромб отражает средневзвешенное значение разности средних значений МД. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ЖА — желудочковые аритмии, МД — механическая дисперсия.

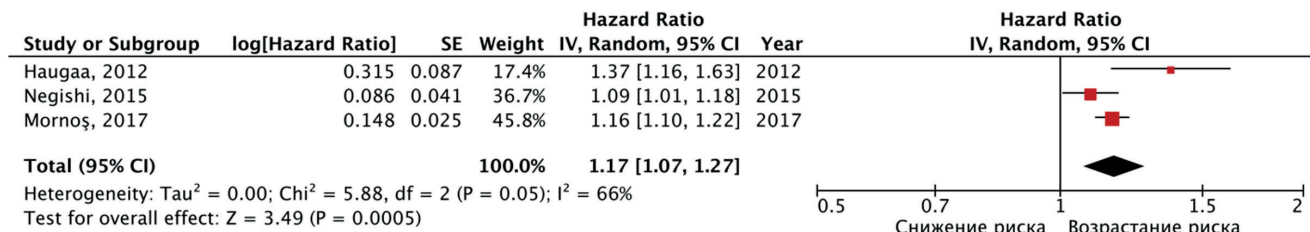


Рис. 4. Результаты метаанализа нескорректированного ОР достижения "аритмической" конечной точки при ухудшении ГПД ЛЖ на 1%.

Примечание: красные квадраты показывают взвешенный размер эффекта для каждого конкретного исследования (размер красных квадратов соответствует весу исследований), красные отрезки — 95% ДИ, чёрный ромб отражает средневзвешенное значение ОР. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ОР — отношение рисков.

ми (ЖА) имели более худшие показатели ГПД ЛЖ по сравнению с пациентами без достижения аритмической конечной точки, так средневзвешенная разница значений ГПД ЛЖ составила — 3,12% (95% доверительный интервал (ДИ): -5,13; -1,11%), данные различия были статистически значимыми (p=0,002). При оценке теста Эггера получен статистически незначимый результат, t=1,37; df=3,0; p=0,26.

Был выполнен также метаанализ разности средних значений МД ЛЖ у пациентов с развитием "аритмической" конечной точки и без таковой (рис. 3). Как следует из рисунка 3, пациенты с раз-

витиём аритмической конечной точки имели более высокие показатели МД ЛЖ по сравнению с пациентами без достижения аритмической конечной точки, так средневзвешенная разница значений МД ЛЖ составила — 33,69 мс (95% ДИ: -41,32; -26,05), данные различия были статистически значимыми (p<0,0001). При оценке теста Эггера также получен статистически незначимый результат, t=1,08; df=1,0; p=0,48.

Данные унивариантного анализа изменения рисков развития "аритмической" конечной точки при использовании в качестве предиктора непрерывных оценок значения ГПД ЛЖ были представлены в трех

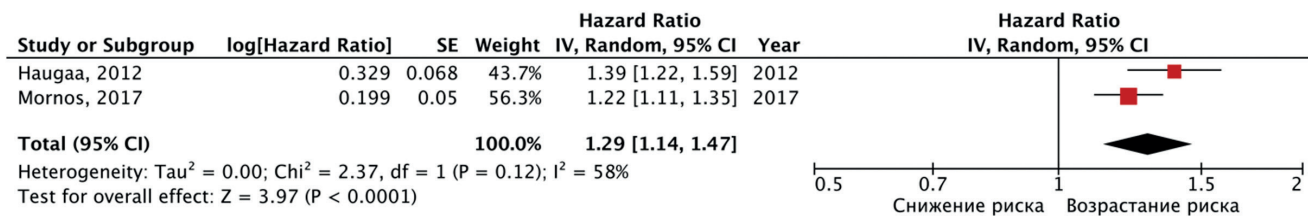


Рис. 5. Результаты метаанализа нескорректированного ОР достижения "аритмической" конечной точки при увеличении МД ЛЖ на 10 мс.

Примечание: красные квадраты показывают взвешенный размер эффекта для каждого конкретного исследования (размер красных квадратов соответствует весу исследований), красные отрезки — 95% ДИ, чёрный ромб отражает средневзвешенное значение ОР. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ОР — отношение рисков.

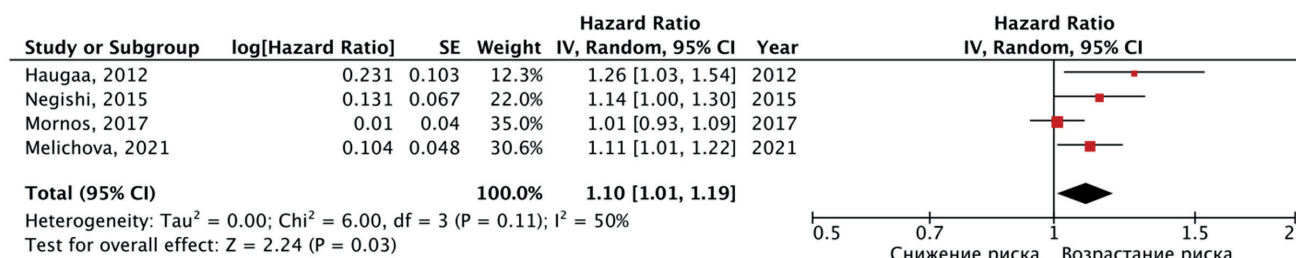


Рис. 6. Результаты метаанализа скорректированного ОР достижения "аритмической" конечной точки при ухудшении ГПД ЛЖ на 1%.

Примечание: красные квадраты показывают взвешенный размер эффекта для каждого конкретного исследования (размер красных квадратов соответствует весу исследований), красные отрезки — 95% ДИ, чёрный ромб отражает средневзвешенное значение ОР. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ОР — отношение рисков.

исследованиях [14, 17, 21]. Данные исследования были сопоставимыми в связи с использованием одинакового критерия оценки предиктора (изменения на 1%), что позволило провести метаанализ этих публикаций. Количество развития "аритмической" точки в данных исследованиях составило 96 (17,2% от 558 пациентов), средний период наблюдения составил 29,8 мес. По результатам объединенного анализа ухудшение ГПД ЛЖ было ассоциировано со статистически значимым возрастанием средневзвешенного риска развития "аритмической" конечной точки (ОР: 1,17 на каждый 1% ухудшения ГПД ЛЖ; 95% ДИ: 1,07-1,27; p=0,0005) (рис. 4). При оценке теста Эггера также получен статистически незначимый результат, t=0,63; df=2,0; p=0,59.

Данные унивариантного анализа изменения рисков развития "аритмической" конечной точки при использовании в качестве предиктора непрерывных оценок значения МД ЛЖ были представлены лишь в двух исследованиях [14, 21]. Данные исследования были сопоставимыми в связи с использованием одинакового критерия оценки предиктора (изменения на 10 мс), что позволило провести метаанализ этих публикаций. Количество развития "аритмической" точки в данных исследованиях составило 60 (13,8% от 434 пациентов), средний период наблюдения составил 29 мес. По результатам объединенного анализа увеличение МД ЛЖ было ассоциировано со ста-

тистически значимым возрастанием средневзвешенного риска развития "аритмической" конечной точки (ОР: 1,29 на каждый 10 мс увеличения МД ЛЖ; 95% ДИ: 1,14-1,47; p<0,0001) (рис. 5).

Данные многофакторного анализа изменения рисков развития "аритмической" конечной точки при использовании в качестве предиктора непрерывных оценок значения ГПД ЛЖ были представлены в четырех исследованиях [14, 17, 21, 25]. Данные исследования были сопоставимыми в связи с использованием одинакового критерия оценки предиктора (изменения на 1%), что позволило провести метаанализ этих публикаций. Количество развития "аритмической" точки в данных исследованиях составило 128 (15,1% от 848 пациентов), средний период наблюдения составил 31,4 мес. По результатам объединенного анализа ухудшение ГПД ЛЖ было ассоциировано со статистически значимым возрастанием средневзвешенного риска развития "аритмической" конечной точки (скорректированное ОР: 1,10 на каждый 1% ухудшение ГПД ЛЖ; 95% ДИ: 1,01-1,19; p=0,03) (рис. 6). При оценке теста Эггера был получен статистически незначимый результат, t=2,82; df=2,0; p=0,106.

Данные многофакторного анализа изменения рисков развития "аритмической" конечной точки при использовании в качестве предиктора непрерывных оценок значения МД ЛЖ были представлены в трех

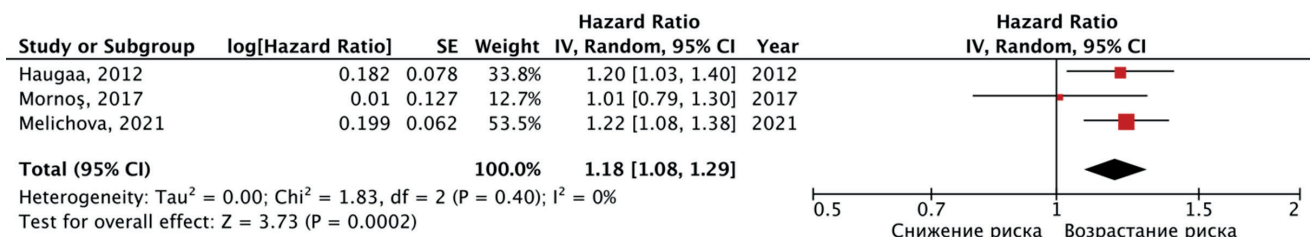


Рис. 7. Результаты метаанализа скорректированного ОР достижения "аритмической" конечной точки при увеличении МД ЛЖ на 10 мс.

Примечание: красные квадраты показывают взвешенный размер эффекта для каждого конкретного исследования (размер красных квадратов соответствует весу исследований), красные отрезки — 95% ДИ, чёрный ромб отражает средневзвешенное значение ОР. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ОР — отношение рисков.

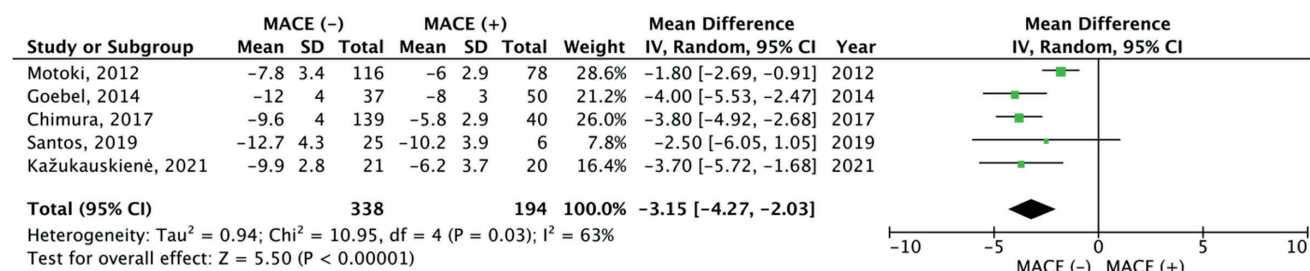


Рис. 8. Результаты метаанализа разности средних значений ГПД ЛЖ в группе с развитием МАСЕ и без развития МАСЕ.

Примечание: зеленые квадраты показывают взвешенный размер эффекта для каждого конкретного исследования (размер зеленых квадратов соответствует весу исследований), черные отрезки — 95% ДИ, черный ромб отражает средневзвешенное значение разности средних значений ГПД ЛЖ. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ЖА — желудочковые аритмии, ГПД ЛЖ — глобальная продольная деформация левого желудочка, МАСЕ — сердечно-сосудистые неблагоприятные события.

исследованиях [14, 21, 25]. Данные исследования были сопоставимыми в связи с использованием одинакового критерия оценки предиктора (изменения на 10 мс), что позволило провести метаанализ этих публикаций. Количество развития "аритмической" точки в данных исследованиях составило 92 (12,7% от 724 пациентов), средний период наблюдения составил 26,6 мес. По результатам объединенного анализа увеличение МД ЛЖ было ассоциировано со статистически значимым возрастанием средневзвешенного риска развития "аритмической" конечной точки (скорректированное ОР: 1,18 на каждый 10 мс увеличения МД ЛЖ; 95% ДИ: 1,08-1,29; p=0,0002) (рис. 7).

Большие сердечно-сосудистые неблагоприятные события

Средние значения показателей ГПД ЛЖ в зависимости от развития МАСЕ были представлены в 5 исследованиях. Нами был выполнен метаанализ разности средних значений ГПД ЛЖ у пациентов с развитием МАСЕ и без развития МАСЕ (рис. 8). Пациенты с МАСЕ имели более худшие показатели ГПД ЛЖ по сравнению с пациентами без развития МАСЕ, так средневзвешенная разница значений ГПД ЛЖ составила — 3,15% (95% ДИ: -4,27; -2,03%), данные различия были статистически значимыми (p<0,0001).

Унивариантный анализ изменения рисков больших сердечно-сосудистых неблагоприятных событий для непрерывных оценок ГПД ЛЖ был представлен в четырех исследованиях [15, 20, 22, 24] (табл. 4). В данных исследованиях был доступен аналогичный оценочный критерий (изменение ГПД ЛЖ на 1%), что позволило объединить их в метаанализе. В данных исследованиях конечная точка в виде больших сердечно-сосудистых неблагоприятных событий была достигнута у 144 пациентов (31,7% от 454). Средний период наблюдения составил 45,7 мес. По результатам проведенного анализа статистически значимой связи между ухудшением ГПД ЛЖ и развитием МАСЕ не было выявлено (ОР: 1,17 на каждый 1% ухудшения ГПД ЛЖ; 95% ДИ: 0,96-1,41; p=0,11) (рис. 9). При оценке теста Эггера получен статистически незначимый результат, t=0,48; df=2,0; p=0,67. Отметим, что полученные результаты метаанализа были связаны с включением исследования Santos 2019 [22], где были представлены противоречивые данные, так по данным однофакторного анализа показано, ухудшение значений ГПД ЛЖ ассоциировано с уменьшением развития МАСЕ (ОР: 0,879; 95% ДИ: 0,784-0,985; p=0,026). В то же время, по данным многофакторного анализа, ухудшение ГПД ЛЖ было ассоциировано с увеличением риска развития МАСЕ

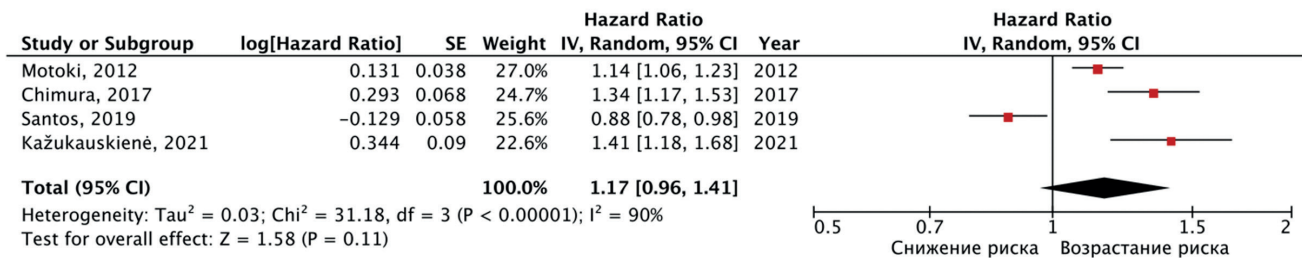


Рис. 9. Результаты метаанализа нескорректированного ОР достижения МАСЕ при ухудшении ГПД ЛЖ на 1%.

Примечание: красные квадраты показывают взвешенный размер эффекта для каждого конкретного исследования (размер красных квадратов соответствует весу исследований), красные отрезки — 95% ДИ, чёрный ромб отражает средневзвешенное значение ОР. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ОР — отношение рисков.

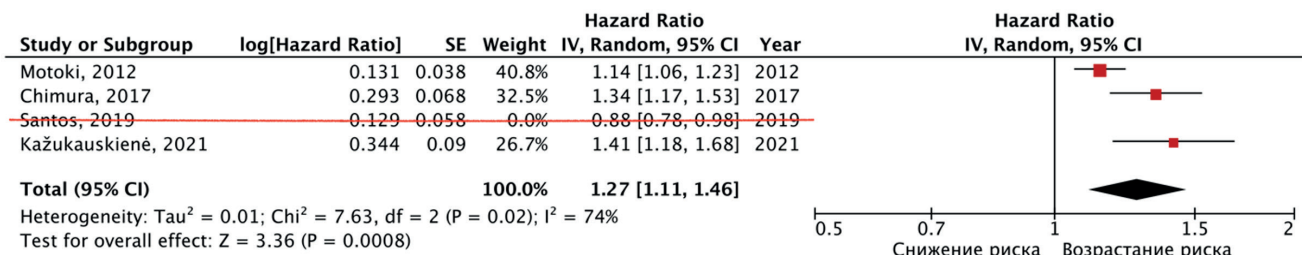


Рис. 10. Результаты метаанализа нескорректированного ОР достижения МАСЕ при ухудшении ГПД ЛЖ на 1% (при исключении исследования Santos, 2019).

Примечание: красные квадраты показывают взвешенный размер эффекта для каждого конкретного исследования (размер красных квадратов соответствует весу исследований), красные отрезки — 95% ДИ, чёрный ромб отражает средневзвешенное значение ОР. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ОР — отношение рисков.

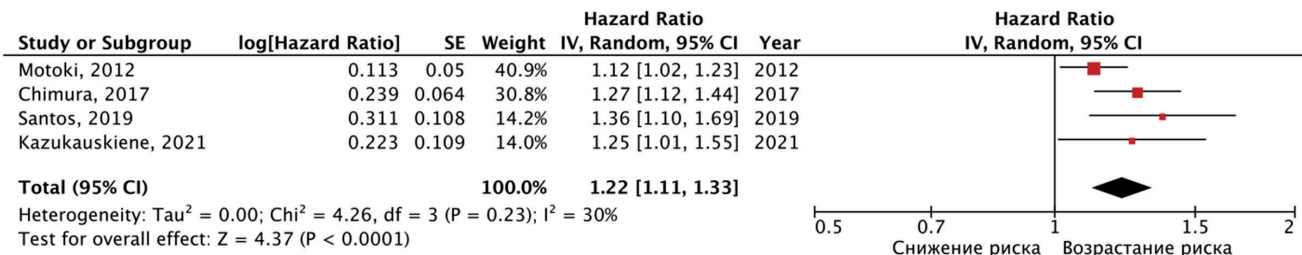


Рис. 11. Результаты метаанализа скорректированного ОР достижения МАСЕ при ухудшении ГПД ЛЖ на 1%.

Примечание: красные квадраты показывают взвешенный размер эффекта для каждого конкретного исследования (размер красных квадратов соответствует весу исследований), красные отрезки — 95% ДИ, чёрный ромб отражает средневзвешенное значение ОР. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ОР — отношение рисков.

(скорректированное ОР: 1,365; 95% ДИ: 1,106-1,686; $p=0,003$).

В связи с чем нами было исключено исследование Santos, 2019 [22] из дальнейшего метаанализа. В исследованиях, которые впоследствии были объединены [15, 20, 24], конечная точка в виде больших сердечно-сосудистых неблагоприятных событий была достигнута у 138 пациентов (33,3% от 414). Средний период наблюдения составил 55,0 мес. Метаанализ показал, что ухудшение ГПД ЛЖ было ассоциировано со статистически значимым возрастанием средневзвешенного риска развития МАСЕ (нескорректированное ОР: 1,27 на каждый 1% ухудшения ГПД ЛЖ;

95% ДИ: 1,11-1,46; $p=0,0008$) (рис. 10). При оценке теста Эггера получен статистически незначимый результат, $t=5,8$; $df=1,0$; $p=0,11$.

Данные многофакторного анализа изменения рисков развития МАСЕ при использовании в качестве предиктора непрерывных оценок значения ГПД ЛЖ были представлены в четырех исследованиях [15, 20, 22, 24]. Данные исследования были сопоставимы в связи с использованием одинакового критерия оценки предиктора (изменения на 1%), что позволило провести метаанализ этих публикаций. В данных исследованиях конечная точка в виде больших сердечно-сосудистых неблагоприятных событий была

достигнута у 144 пациентов (31,7% от 454). Средний период наблюдения составил 45,7 мес. По результатам объединенного анализа ухудшение ГПД ЛЖ было ассоциировано со статистически значимым возрастанием средневзвешенного риска развития МАСЕ (скорректированное ОР: 1,22 на каждый 1% ухудшения ГПД ЛЖ; 95% ДИ: 1,11-1,33; $p < 0,0001$) (рис. 11). При оценке теста Эггера для ГПД ЛЖ также получен статистически незначимый результат, $t=1,73$; $df=2,0$; $p=0,22$.

Обсуждение

На данный момент современные стратегии стратификации риска пациентов с хронической СН с сохранной ФВ, вызванной ишемической или неишемической кардиомиопатией, далеки от совершенства, по-прежнему существует клиническая необходимость в выявлении новых маркеров, помогающих в стратификации риска. ФВ ЛЖ представляет собой глобальную оценку систолической функции ЛЖ, которая не всегда связана с повреждениями миокарда и электрофизиологическими нарушениями, лежащими в основе электрической нестабильности миокарда, что подчеркивает необходимость использования других дополнительных параметров для стратификации риска.

На момент написания данной работы опубликованных метаанализов в отношении прогностической роли ГПД ЛЖ у пациентов с ишемической и неишемической кардиомиопатией нам найти не удалось.

В нашей работе было показано, что пациенты с развитием ЖА и МАСЕ имели статистически значимо более худшие показатели ГПД ЛЖ по сравнению с пациентами без развития конечных точек. Кроме того, ГПД ЛЖ показала себя в качестве независимого предиктора развития неблагоприятных аритмических событий и МАСЕ. Так, по результатам объединенного анализа показано, что ухудшение ГПД ЛЖ на каждый 1% было ассоциировано со статистически значимым возрастанием средневзвешенного риска развития "аритмической" конечной точки и МАСЕ на 10% и 22%, соответственно.

Как отмечалось, МД ЛЖ является маркером замедленной и неоднородной проводимости в миокарде и может быть использована в качестве предиктора развития ЖА. В недавнем метаанализе Kawakami H, et al. [26] с участием 3198 пациентов было показано, что пациенты с развитием ЖА, имели более высокие показатели МД ЛЖ, по сравнению с пациентами без развития ЖА, так средневзвешенная разница значений МД ЛЖ составила — 20,3 мс (95% ДИ: 27,3-13,2; $p < 0,01$). По результатам метаанализа увеличение МД ЛЖ на каждые 10 мс было ассоциировано со статистически значимым возрастанием средневзвешенного риска развития ЖА (скорректированное ОР:

1,19; 95% ДИ: 1,09-1,29; $p < 0,01$). Более того, прогностическая ценность МД ЛЖ была выше, чем оценка ФВ ЛЖ или ГПД ЛЖ. Следует также отметить, что в данный метаанализ была включена смешанная популяция пациентов как с сохранной, так и сниженной ФВ ЛЖ, и большинство пациентов переносили ИМ в анамнезе.

В нашей работе в группе пациентов с ишемической и неишемической кардиомиопатией было показано, что пациенты с развитием ЖА имели статистически значимо более высокие показатели МД ЛЖ по сравнению с пациентами без развития аритмической конечной точки. МД ЛЖ также показала себя в качестве независимого предиктора развития ЖА. По результатам объединенного анализа увеличение МД ЛЖ на каждые 10 мс было ассоциировано со статистически значимым возрастанием средневзвешенного риска развития "аритмической" конечной точки на 18%. Таким образом, оценка ГПД ЛЖ и МД ЛЖ по данным STE может использоваться как эффективный инструмент для стратификации риска у пациентов с ХСНнФВ.

Ограничения исследования. Во-первых, в наш систематический обзор и метаанализ включено небольшое количество исследований, кроме того, как и в случае любого метаанализа обсервационных исследований, различия в критериях включения и конечных точках являются потенциальными источниками неоднородности исследований. Учитывая ограниченное количество исследований и пациентов, на данный момент нам не удалось провести метаанализ отдельно для групп с ишемической и неишемической дилатационной кардиомиопатией, поскольку в некоторые исследования включена смешанная популяция пациентов, как с ишемической, так и неишемической кардиомиопатией, и не представлены данные анализа подгрупп. Во-вторых, мы включали в анализ данные ОР, полученные для ГПД ЛЖ и/или МД ЛЖ, как по данным унивариантного регрессионного анализа, так и данные многофакторного регрессионного анализа Кокса в виде скорректированных значений ОР. Однако в последнем случае в многофакторный анализ в различных исследованиях кроме показателей ГПД ЛЖ и/или МД ЛЖ включались различные ковариаты (возраст, пол, ФВ ЛЖ, конечный диастолический объем ЛЖ, ГПД и др.). В-третьих, несмотря на то, что был доступен аналогичный оценочный критерий (изменение ГПД ЛЖ и МД ЛЖ на 1% и 10 мс, соответственно), который позволил в зависимости от конечной точки исследования объединить их в метаанализе, необходимо помнить, для оценки деформации миокарда крайне важное значение имеет качество эхокардиографической визуализации и соответствующих настроек визуализации (например, частота кадров от 50 до 70 кадров/с). Кроме того, необходимо отметить, в исследованиях оценка эхо-

кардиографических показателей проводилась с использованием различных аппаратов и программных обеспечений, используемых для постобработки данных, а также различными операторами.

Заключение

Оценка ГПД ЛЖ и МД ЛЖ с использованием STE обеспечивает важной дополнительной прогностической информацией у пациентов с ишемической и неишемической кардиомиопатией.

Необходимы проспективные многоцентровые исследования с участием большой популяции пациентов и более длительным периодом наблюдения для валидации полученных результатов и оценки возможности внедрения в практику для принятия клинических решений.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

- McDonagh TA, Metra M, Adamo M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J*. 2021;42:3599-726. doi:10.1093/eurheartj/ehab368.
- Russian Society of Cardiology (RSC). 2020 Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(11):4083. (In Russ.) Российское кардиологическое общество (PKO). Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2020. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(11):4083. doi:10.15829/1560-4071-2020-4083.
- Sabbag A, Suleiman M, Laish-Farkash A, et al. Contemporary rates of appropriate shock therapy in patients who receive implantable device therapy in a real-world setting: From the Israeli ICD Registry. *Hear Rhythm*. 2015;12:2426-33. doi:10.1016/j.hrthm.2015.08.020.
- Obrezan AG, Baranov DZ. Myocardial Strain Properties in Patients with Chronic Heart Failure. *Kardiologija*. 2019;59(8):88-96. (In Russ.) Обрезан А.Г., Баранов Д.З. Деформация миокарда у больных хронической сердечной недостаточностью. *Кардиология*. 2019;59(8):88-96. doi:10.18087/cardio.2019.8.2579.
- Faggiano A, Avallone C, Gentile D, et al. Echocardiographic Advances in Dilated Cardiomyopathy. *J Clin Med*. 2021;10(23):5518. doi:10.3390/jcm10235518.
- Banasik G, Segiet O, Elwart M, et al. LV mechanical dispersion as a predictor of ventricular arrhythmia in patients with advanced systolic heart failure: A pilot study. *Herz*. 2016;41:599-604. doi:10.1007/s00059-015-4398-9.
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, et al. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Med*. 2009;6:e1000097. doi:10.1371/journal.pmed.1000097.
- Stang A. Critical evaluation of the Newcastle-Ottawa scale for the assessment of the quality of nonrandomized studies in meta-analyses. *Eur J Epidemiol*. 2010;25:603-5. doi:10.1007/s10654-010-9491-z.
- Verdonschot JAJ, Merken JJ, Brunner-La Rocca HP, et al. Value of Speckle Tracking-Based Deformation Analysis in Screening Relatives of Patients With Asymptomatic Dilated Cardiomyopathy. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2020;13:549-58. doi:10.1016/j.jcmg.2019.02.032.
- Wang J, Zhang Y, Zhang L, et al. Assessment of Myocardial Fibrosis Using Two-Dimensional and Three-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography in Dilated Cardiomyopathy With Advanced Heart Failure. *J Card Fail*. 2021;27:651-61. doi:10.1016/j.cardfail.2021.01.003.
- Kinova E, Somleva-Todorova D, Goudev A. Left Ventricular Strain and Rotation in Patients with Dilated Cardiomyopathy and Severe Systolic Dysfunction. *Cardiology*. 2020;145:1-12. doi:10.1159/000503682.
- Perry R, Patil S, Marx C, et al. Advanced Echocardiographic Imaging for Prediction of SCD in Moderate and Severe LV Systolic Function. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2020;13(2 Pt 2):604-12. doi:10.1016/j.jcmg.2019.07.026.
- Matsuzoe H, Tanaka H, Matsumoto K, et al. Left ventricular dyssynergy and dispersion as determinant factors of fatal ventricular arrhythmias in patients with mildly reduced ejection fraction. *Eur Hear journal Cardiovasc Imaging*. 2016;17:334-42. doi:10.1093/ehjci/jev172.
- Haugaa KH, Goebel B, Dahlslett T, et al. Risk assessment of ventricular arrhythmias in patients with nonischemic dilated cardiomyopathy by strain echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2012;25:667-73. doi:10.1016/j.echo.2012.02.004.
- Motoki H, Borowski AG, Shrestha K, et al. Incremental prognostic value of assessing left ventricular myocardial mechanics in patients with chronic systolic heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 2012;60:2074-81. doi:10.1016/j.jacc.2012.07.047.
- Goebel B, Haugaa KH, Meyer K, et al. Early diastolic strain rate predicts response to heart failure therapy in patients with dilated cardiomyopathy. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2014;30:505-13. doi:10.1007/s10554-014-0361-8.
- Negishi K, Negishi T, Zardkoobi O, et al. Left atrial booster pump function is an independent predictor of subsequent life-threatening ventricular arrhythmias in non-ischaemic cardiomyopathy. *Eur Hear journal Cardiovasc Imaging*. 2016;17:1153-60. doi:10.1093/ehjci/jev333.
- Kosiuk J, Dinov B, Bollmann A, et al. Association between ventricular arrhythmias and myocardial mechanical dispersion assessed by strain analysis in patients with nonischemic cardiomyopathy. *Clin Res Cardiol*. 2015;104:1072-7. doi:10.1007/s00392-015-0875-7.
- Biering-Sørensen T, Knappe D, Pouleur AC, et al. Regional Longitudinal Deformation Improves Prediction of Ventricular Tachyarrhythmias in Patients With Heart Failure With Reduced Ejection Fraction: A MADIT-CRT Substudy (Multicenter Automatic Defibrillator Implantation Trial-Cardiac Resynchronization The. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017;10(11):e005096. doi:10.1161/CIRCIMAGING.116.005096.
- Chimura M, Onishi T, Tsukishiro Y, et al. Longitudinal strain combined with delayed-enhancement magnetic resonance improves risk stratification in patients with dilated cardiomyopathy. *Heart*. 2017;103:679-86. doi:10.1136/heartjnl-2016-309746.
- Mornoş C, Muntean D, Mornoş A, et al. Risk stratification in patients with heart failure: the value of considering both global longitudinal left ventricular strain and mechanical dispersion. *Can J Physiol Pharmacol*. 2017;95:1360-8. doi:10.1139/cjpp-2017-0049.
- Santos OR, da Costa Rocha MO, de Almeida FR, et al. Speckle tracking echocardiographic deformation indices in Chagas and idiopathic dilated cardiomyopathy: Incremental prognostic value of longitudinal strain. *PLoS One*. 2019;14. doi:10.1371/journal.pone.0221028.
- Jung IH, Park JH, Lee JA, et al. Left Ventricular Global Longitudinal Strain as a Predictor for Left Ventricular Reverse Remodeling in Dilated Cardiomyopathy. *J Cardiovasc Imaging*. 2020;28:137. doi:10.4250/jcvi.2019.0111.
- Kažukauskienė I, Balčiūnaitė G, Baltrūnienė V, et al. Left ventricular global longitudinal strain predicts elevated cardiac pressures and poor clinical outcomes in patients with non-ischemic dilated cardiomyopathy. *Cardiovasc Ultrasound*. 2021;19. doi:10.1186/s12947-021-00254-1.
- Melichova D, Nguyen TM, Salte IM, et al. Strain echocardiography improves prediction of arrhythmic events in ischemic and non-ischemic dilated cardiomyopathy. *Int J Cardiol*. 2021;342:56-62. doi:10.1016/j.ijcard.2021.07.044.
- Kawakami H, Nerlekar N, Haugaa KH, et al. Prediction of Ventricular Arrhythmias With Left Ventricular Mechanical Dispersion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2020;13:562-72. doi:10.1016/j.jcmg.2019.03.025.