

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-2022-2-86-104>

Механическая дисперсия пиковой продольной деформации левого желудочка для оценки механической диссинхронии по данным спекл-трекинг эхокардиографии

М.Н. Алехин

ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия”
Управления делами Президента Российской Федерации, г. Москва

ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой”
Управления делами Президента Российской Федерации, г. Москва

Статья представляет собой иллюстрированный обзор литературы, посвященный значению оценки механической диссинхронии сердца с помощью эхокардиографии. Особое внимание уделено анализу прогностического значения механической дисперсии пиковой продольной деформации при оценке механической диссинхронии левого желудочка с помощью спекл-трекинг эхокардиографии при различных заболеваниях и патологических состояниях. Представлены значения механической дисперсии пиковой продольной деформации при оценке механической диссинхронии левого желудочка в контрольных группах,

а также при различных патологических состояниях и заболеваниях.

Ключевые слова: спекл-трекинг эхокардиография, механическая диссинхрония, систолическая деформация, механическая дисперсия, левый желудочек.

Цитирование: Алехин М.Н. Механическая дисперсия пиковой продольной деформации левого желудочка для оценки механической диссинхронии по данным спекл-трекинг эхокардиографии. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2022; 2: 86–104. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2022-2-86-104>

М.Н. Алехин – д.м.н., профессор, профессор кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации; заведующий отделением функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, г. Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9725-7528>

Контактная информация: 121359 г. Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15, ФГБУ “ЦКБ с поликлиникой”, отделение функциональной диагностики. Алехин Михаил Николаевич. E-mail: amn@mail.ru

Механическая диссинхрония сердца неизменно и закономерно привлекает внимание исследователей в самых разных группах пациентов с использованием различных методов диагностики [1–6]. В значительной мере этот интерес обусловлен возможностями и ограничениями сердечной ресинхронизирующей терапии (СРТ) у пациентов с сердечной недостаточностью. Попытки использовать различные эхокардиографические показатели диссинхронии в середине нулевых годов для эффективного отбора пациентов для проведения СРТ успехом не увенчались [7, 8]. Однако современные методики эхокардиографии позволяют проводить более детальную оценку механической диссинхронии сердца и, в частности, левого желудочка (ЛЖ), используя иные подходы [9]. С другой стороны, накопление клинического опыта указывает на прогностические возможности оценки механической диссинхронии не только в аспекте СРТ [10]. Наконец, по-прежнему не решен вопрос о достаточно высоком проценте нереспондеров на СРТ. В связи с этим целью данного обзора является обсуждение возрастающих возможностей современной методики ультразвуковой визуализации – спекл-трекинг эхокардиографии – в оценке механической диссинхронии.

Одной из основных причин смерти у больных хронической сердечной недостаточностью с низкой фракцией выброса (ФВ) является внезапная смерть из-за злокачественных желудочковых аритмий. СРТ и имплантируемые кардиовертеры-дефибрилляторы позволяют снизить смертность и частоту повторных госпитализаций и улучшить прогноз в некоторых группах пациентов [11]. Однако высокая стоимость такого лечения и отсутствие эффекта у трети пациентов заставляют искать и совершенствовать критерии отбора пациентов. Существующие в настоящее время критерии для проведения подобного лечения включают симптомную хроническую сердечную недостаточность, длительность комплекса QRS электрокардиограммы (ЭКГ) ≥ 150 мс с морфологией комплексов QRS, соответствующей блокаде левой ножки пучка Гиса, и ФВ ЛЖ $\leq 35\%$ [12–14]. Так как и сниженная ФВ ЛЖ, и электрическая диссинхрония нередко сопровождаются механической диссинхронией [8], которая может быть

выявлена с помощью эхокардиографии, то вполне закономерен вопрос о роли механической диссинхронии с позиций подбора кандидатов на СРТ.

Эхокардиография позволяет оценивать межжелудочковую и внутрижелудочковую диссинхронию с использованием различных модальностей, которые включают М-режим, спектральные доплеровские режимы, доплеровскую визуализацию тканей, а также недоплеровские методы оценки движения тканей. Основным принцип оценки диссинхронии заключается в расчете разницы во времени достижения одного и того же события разными желудочками (межжелудочковая диссинхрония) или разными отделами ЛЖ (внутрижелудочковая диссинхрония). При этом начальной точкой отсчета выступает зубец R ЭКГ. Для оценки межжелудочковой диссинхронии обычно используют разницу между временем от зубца R ЭКГ до щелчка открытия (или начала кровотока) через легочный и аортальный клапаны в импульсно-волновом доплеровском режиме (interventricular mechanical delay defined as the difference between left and right ventricular preejection intervals) [7], как это представлено на рис. 1. При значениях этой разницы ≥ 40 мс диагностируют межжелудочковую диссинхронию [7].

Для оценки внутрижелудочковой диссинхронии в М-режиме определяют интервал от максимального пика систолического движения базального сегмента межжелудочковой перегородки до максимального пика систолического движения базального задне-бокового сегмента ЛЖ (septal-posterior wall motion delay) [7], как это представлено на рис. 2. При значениях этого интервала ≥ 130 мс диагностируют внутрижелудочковую диссинхронию [7].

Доплеровская визуализация тканей позволяет оценивать внутрижелудочковую диссинхронию на основе различных показателей. Для этого можно использовать временной интервал между пиковыми систолическими скоростями движения перегородочного и бокового базальных сегментов при оценке из верхушечного доступа в позиции на 4 камеры (delay between time to peak systolic velocity in ejection phase at basal septal and basal lateral segments) [7], как это представлено на рис. 3.

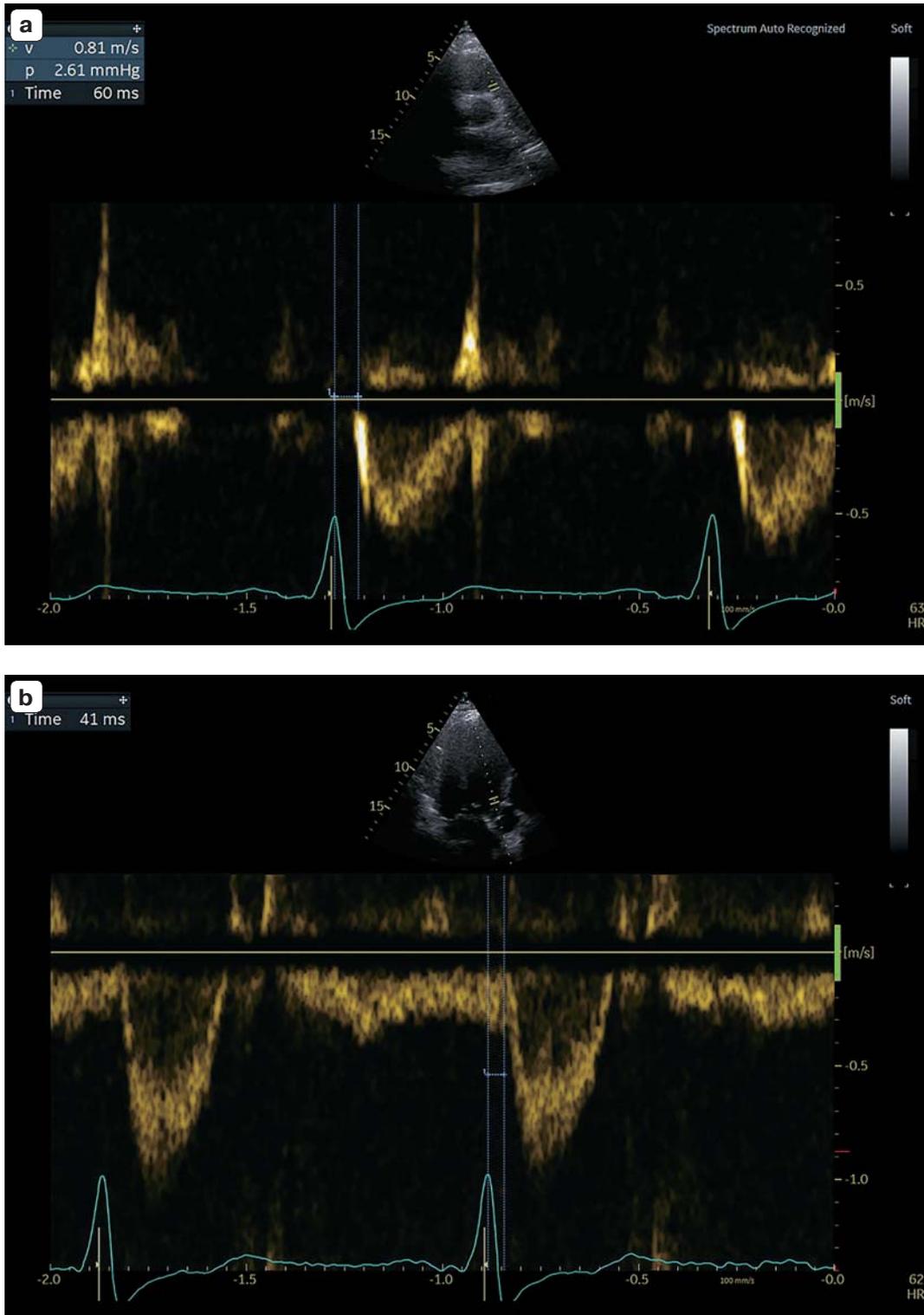


Рис. 1. Оценка межжелудочковой диссинхронии в импульсно-волновом доплеровском режиме на основе разницы между временем от зубца R ЭКГ до щелчка открытия или начала кровотока через легочный и аортальный клапаны. а, б – межжелудочковая диссинхрония отсутствует (разница между началом кровотока в аорте и легочной артерии <math><40\text{ мс}</math> (

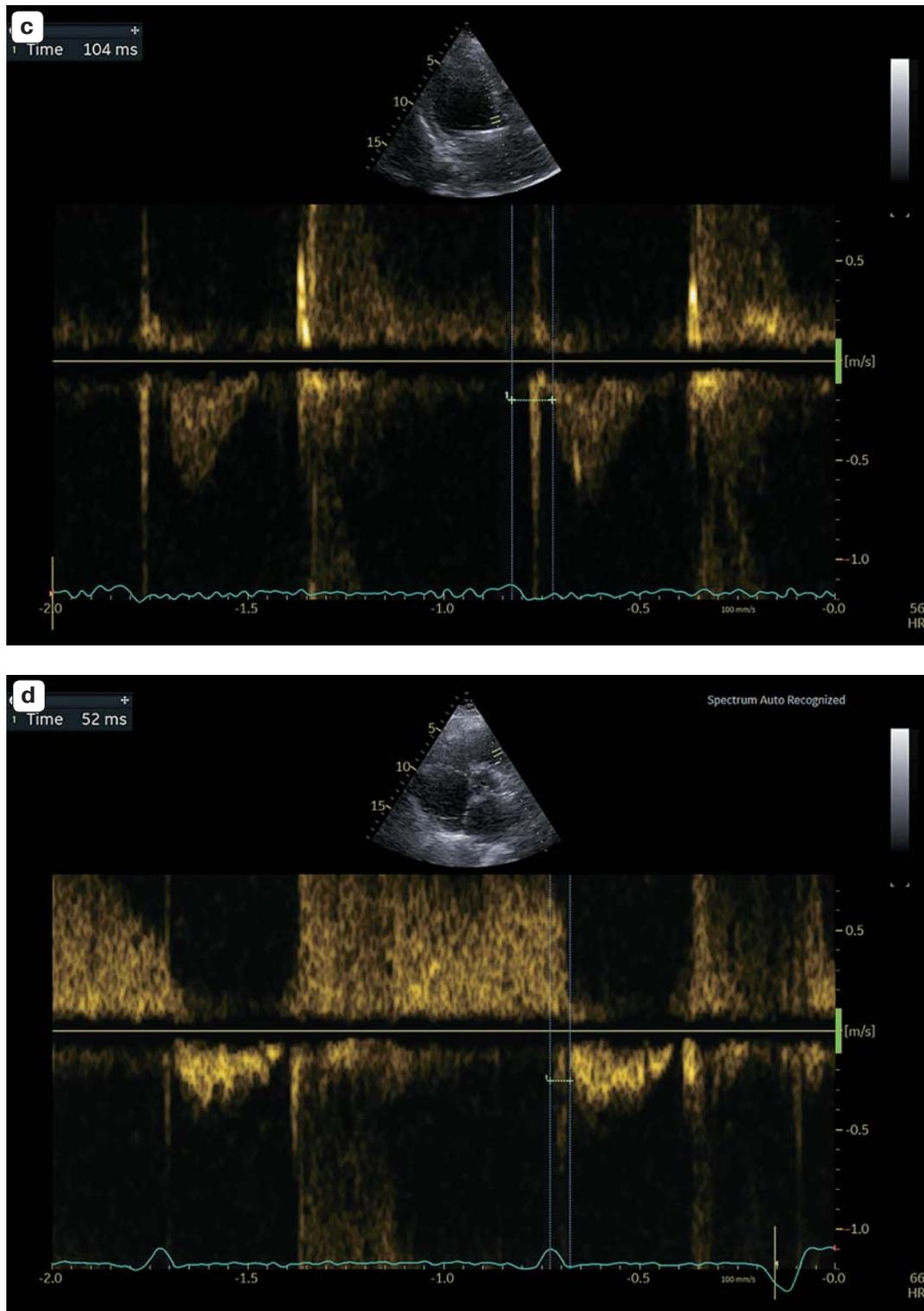


Рис. 1 (окончание). c, d – регистрируется межжелудочковая диссинхрония (разница между началом кровотока в аорте и легочной артерии >40 мс ($104 - 52 = 52$ мс)).

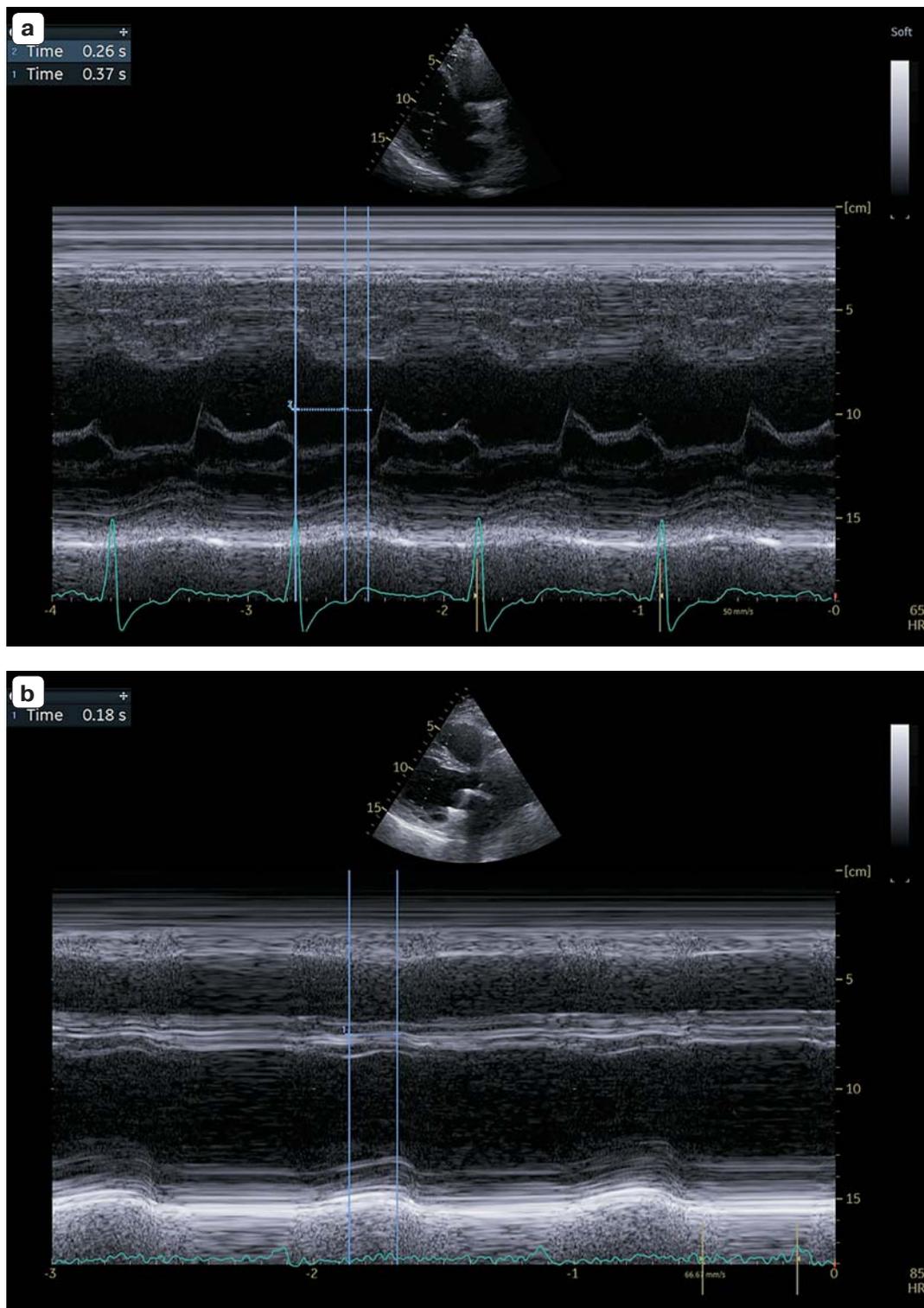


Рис. 2. Оценка внутрижелудочковой диссинхронии в М-режиме на основе интервала от максимального пика систолического движения базального сегмента межжелудочковой перегородки до максимального пика систолического движения базального задне-бокового сегмента ЛЖ. а – внутрижелудочковая диссинхрония отсутствует (интервал между пиками систолического движения стенок ЛЖ < 130 мс) ($370 - 260 = 110$ мс). б – регистрируется межжелудочковая диссинхрония (интервал между пиками систолического движения стенок ЛЖ > 130 мс (180 мс)).

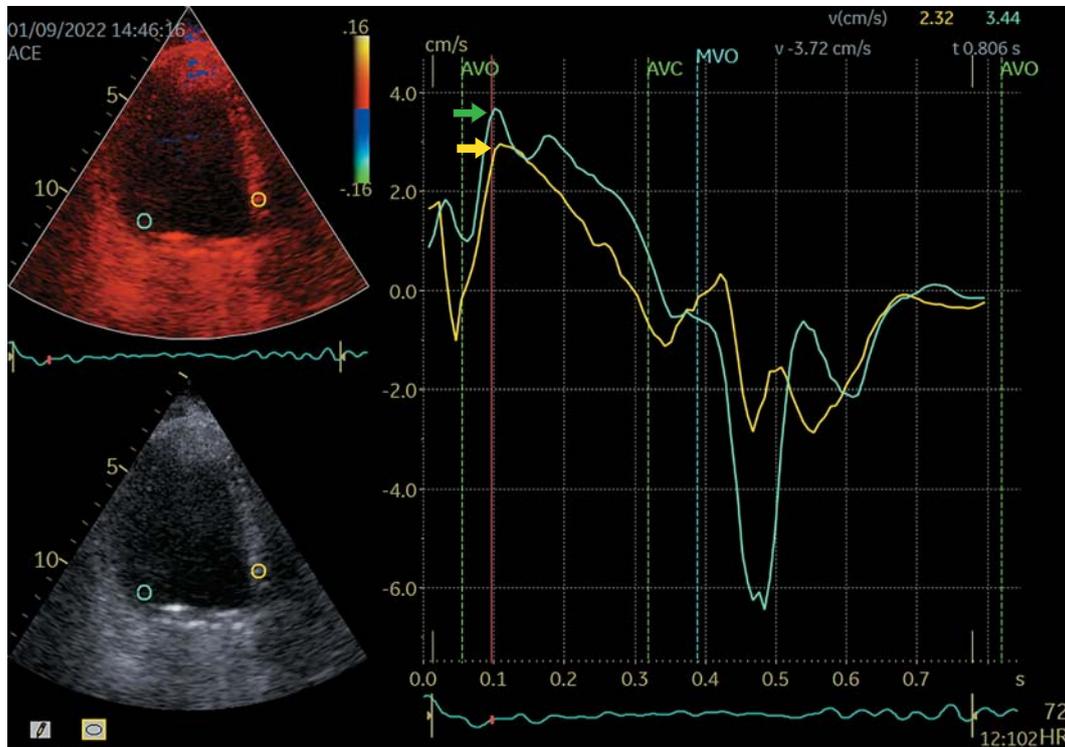


Рис. 3. Оценка внутрижелудочковой диссинхронии в режиме доплеровской визуализации тканей на основе временного интервала между пиковыми систолическими скоростями движения перегородочного (желтая кривая и желтая стрелка) и бокового (зеленая кривая и зеленая стрелка) базальных сегментов ЛЖ при оценке из верхушечного доступа в позиции на 4 камеры. Внутрижелудочковая диссинхрония отсутствует (интервал между пиковыми систолическими скоростями <math>< 65\text{ мс}</math> (10 мс)).

При значениях этого интервала ≥ 60 мс диагностируют внутрижелудочковую диссинхронию [7].

Наряду с перечисленными показателями механической диссинхронии был предложен и ряд других. В широко известном многоцентровом исследовании PROSPECT [7] анализировались воспроизводимость и информативность 12 эхокардиографических показателей, в том числе и всех вышеперечисленных. Однако ни в исследовании PROSPECT [7], ни в других исследованиях [8, 15], в которых в качестве предикторов эффективного ответа на СРТ использовались показатели механической диссинхронии на основе эхокардиографических методик, не было получено каких-то преимуществ этих показателей для подбора кандидатов на СРТ.

В связи с этим было высказано несколько гипотез, почему у пациентов с очевидной механической диссинхронией не наблюдается эффекта от СРТ. Это может быть обусловлено большим объемом нежизнеспособной рубцовой ткани, оценка которой

неспецифична, и в таком случае СРТ улучшает только электрическую диссинхронию нежизнеспособной ткани [16]. Таким образом, способность показателей механической диссинхронии указать на прогноз пациентов на СРТ еще не означает способности этих показателей указать на возможность их использования в качестве цели лечения. В результате ряд исследователей [17–19] не только обратился к оценке временной разницы пиковых значений определенных событий, как это было до сих пор, но и предложил принципиально иной подход с оценкой на основе кросс-корреляционного анализа скорости или ускорения движения миокарда на протяжении всего систолического цикла за несколько последовательных сердечных циклов. Однако эта технология пока не получила широкого практического применения, но ее использование показало отсутствие механической диссинхронии у ряда пациентов, у которых она диагности-

ровалась на основе анализа скоростей движения миокарда.

Так, N. Risum et al. [20] сообщили, что показатели, основанные на скорости движения миокарда, общепринятые значения которых свидетельствуют о наличии механической диссинхронии, на самом деле при выполнении кросс-корреляционного анализа кривых скоростей с построением кривых ускорения не всегда имеют истинно механическую диссинхронию.

Наряду с этим развитие технологии спекл-трекинг эхокардиографии, а также ряд исследований по использованию оценки механической диссинхронии на основе спекл-трекинг эхокардиографии показали возможности использования этой технологии в клинической практике, связанные с определением такого показателя, как механическая дисперсия ЛЖ или левого предсердия [2, 9, 21, 22]. Механическая дисперсия рассчитывается как стандартное отклонение продолжительности деформации, которая измеряется от пика зубца Q или начала зубца R ЭКГ до пика продольной деформации в сегментах ЛЖ [23] (рис. 4). В норме все сегменты имеют относительно одинаковую продолжительность этого интервала и, соответственно, небольшие значения механической дисперсии.

Здесь уместно отметить, что в современных ультразвуковых системах имеется возможность автоматического расчета значений механической дисперсии (см. рис. 4с, 4д), а также представления продолжительности систолической деформации для каждого из анализируемых сегментов с построением полярной диаграммы (рис. 5).

У пациентов с синдромом удлиненного интервала QT механическая дисперсия, которая отражает межсегментарную варибельность в продолжительности сокращения, ассоциирована с увеличенным риском желудочковых аритмий. У пациентов с синдромом удлиненного интервала QT и высоким риском аритмий механическая дисперсия увеличена. Для предсказания сердечных событий в этой группе больных используют значения механической дисперсии ≥ 33 мс (AUC – 0,870, чувствительность – 76%, специфичность – 91%) [23]. Синдром удлиненного интервала QT представляет собой патологию ионных каналов

и считается патологией с высоким риском аритмий и внезапной сердечной смерти. В ранних публикациях по этой проблеме еще в M-режиме была выявлена механическая диссинхрония, которая оказалась ассоциированной с риском аритмий [24]. Эти находки были позднее подтверждены с помощью методик тканевой доплерографии и спекл-трекинг эхокардиографии, которые показали, что механическая дисперсия ассоциирована с риском аритмий и у этих пациентов наблюдалось субклиническое снижение функции миокарда [1, 25]. Механическая дисперсия может быть использована в качестве дополнительного параметра для оценки риска желудочковых аритмий у таких пациентов. Однако имеющаяся доказательная база пока недостаточна для того, чтобы использовать показатель механической диссинхронии в качестве критерия при решении вопроса об имплантации кардиовертера-дефибриллятора у больных с синдромом удлиненного интервала QT [26].

Идея оценки механической дисперсии в качестве предиктора жизнеугрожающих аритмий или неблагоприятного прогноза жизни была успешно использована и при других заболеваниях, таких как перенесенный инфаркт миокарда [27], ишемическая и неишемическая кардиомиопатии [28–34], гипертрофическая кардиомиопатия [35–37], аортальный стеноз [38, 39], хроническая болезнь почек перед и на фоне диализа [40], пролапс митрального клапана [41] и стабильная ишемическая болезнь сердца [42] (табл. 1).

Оценка диссинхронии ЛЖ методом определения продольной систолической деформации является мощным прогностическим фактором злокачественных аритмий при сердечной недостаточности с низкой ФВ, а также при острой сердечной недостаточности [43–45]. Более того, было показано, что у пациентов с острой сердечной недостаточностью увеличение механической дисперсии через 23 ч на фоне лечения указывало на высокую вероятность повторной госпитализации в ближайшие 30 дней [45]. То есть было показано, что механическая дисперсия может быть использована в качестве показателя, отражающего эффективность проводимой терапии.

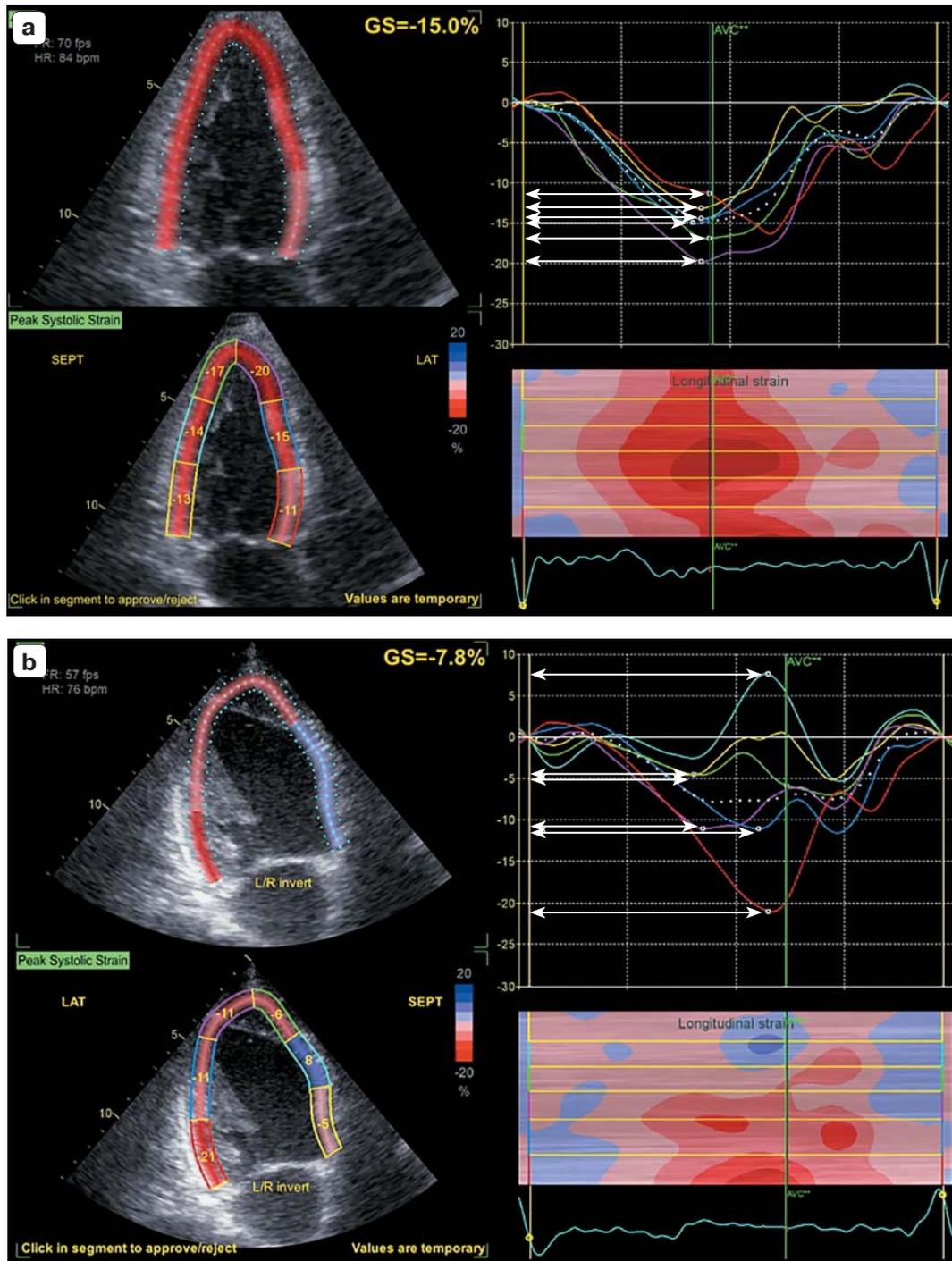


Рис. 4. Механическая дисперсия рассчитывается как стандартное отклонение продолжительности деформации, которая измеряется от пика зубца Q или начала зубца R ЭКГ до пика продольной деформации в сегментах ЛЖ. Представлены примеры измерения продолжительности деформации (двухсторонние стрелки) для сегментов миокарда из верхушечного доступа на 4 камеры у пациента без механической диссинхронии (а) и с механической диссинхронией (б).

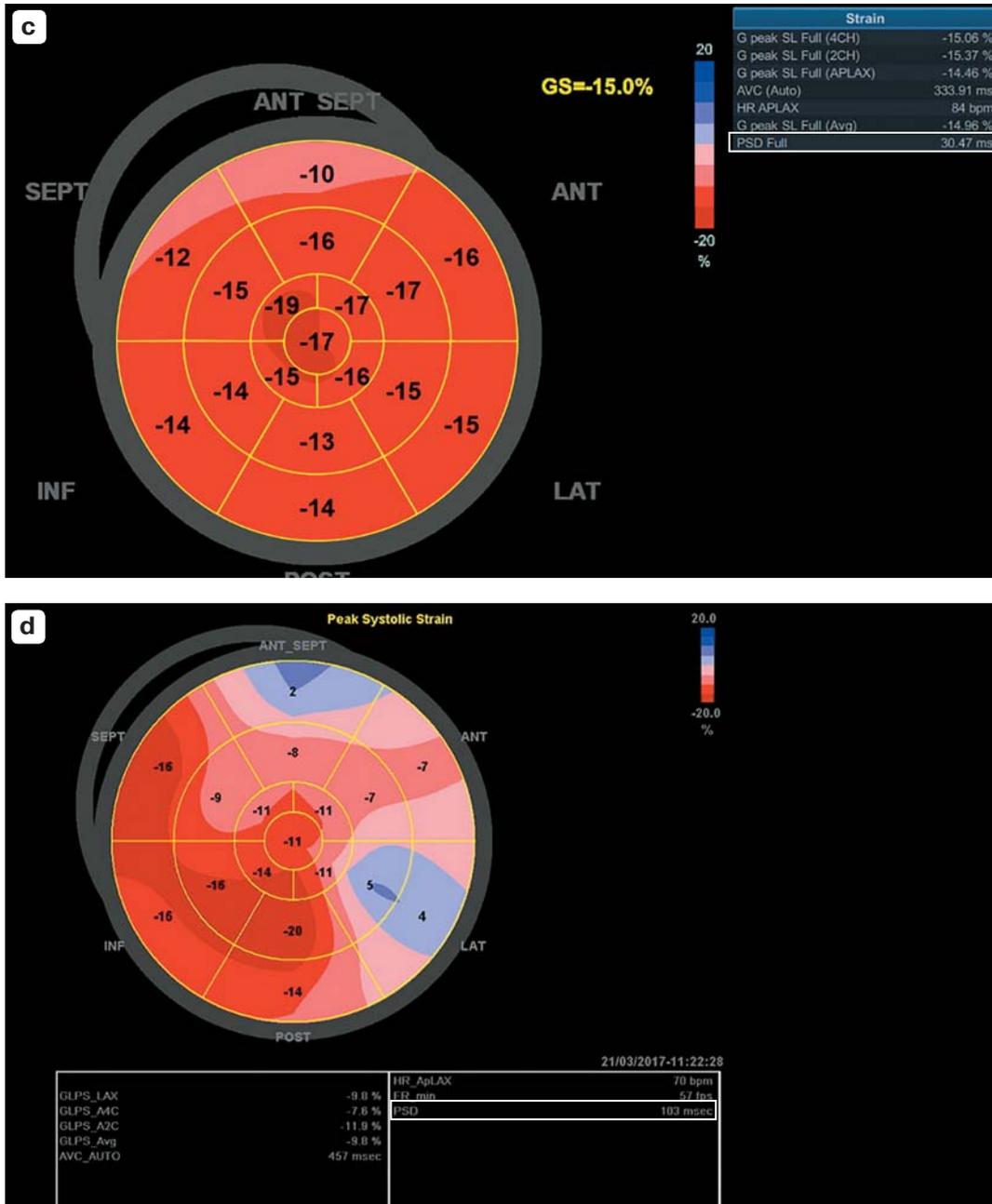


Рис. 4 (окончание). Примеры представления продольной деформации всех сегментов ЛЖ в виде полярной диаграммы “бычий глаз” также показаны у пациента без механической диссинхронии (с) (в рамке выделено значение пиковой систолической дисперсии (PSD – peak systolic dispersion), которая составляет 30 мс) и с механической диссинхронией (d) (в рамке выделено значение PSD, которое составляет 103 мс).

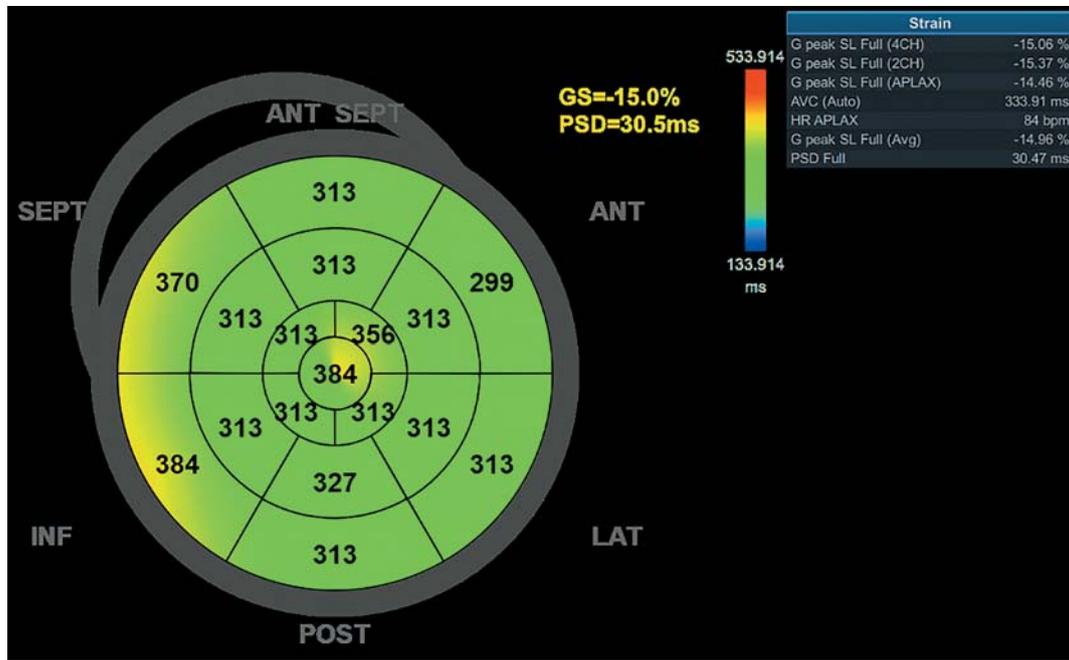


Рис. 5. Продолжительность систолической деформации для каждого из анализируемых сегментов с построением полярной диаграммы у пациента без механической диссинхронии (PSD – 31 мс).

Имеются данные и о том, что в общей популяции механическая диссинхрония ассоциирована с распространенностью ИБС и артериальной гипертензии [46].

Механическая дисперсия является индексом межсегментарной дискоординации сокращения на основе вариабельности времени от зубца R ЭКГ до максимального систолического укорочения по аналогии с другими аналогичными индексами с использованием скоростей движения и деформации сегментов миокарда, которые использовались для количественной оценки диссинхронии ЛЖ. Этот подход привлекателен с точки зрения выделения пациентов с высоким риском, имеющих нормальную или сохранную ФВ ЛЖ. У пациентов с сердечной недостаточностью или инфарктом миокарда механическая дисперсия ожидаема и очевидна. И, наверное, не следует ожидать, что ее расчет может дать дополнительную информацию. Хотя для ответа на этот вопрос необходимы дальнейшие исследования, которые могли бы показать, обладает ли оценка механической дисперсии допол-

нительной прогностической ценностью по сравнению с другими индексами диссинхронии для предсказания риска желудочковых аритмий. Явным преимуществом использования механической дисперсии является то обстоятельство, что для ее расчета может быть использована та же запись, которая выполняется для оценки глобальной продольной систолической деформации ЛЖ [26]. Как было отмечено выше, в настоящее время существуют программы автоматического расчета механической дисперсии, что позволяет шире использовать этот показатель в повседневной практике. При этом существует возможность визуального анализа корректности выполненных прибором измерений. Однако следует помнить, что это лишь один показатель из многих, которые следует использовать для полноценного описания функции ЛЖ, таких как ФВ, продольная и другие виды деформации, показатели вращения и скручивания ЛЖ.

Причины механической дисперсии, вероятнее всего, различны при синдроме удлиненного интервала QT и при большинстве

Таблица 1. Прогностическое значение механической дисперсии систолической деформации ЛЖ по данным спекл-трекинг эхокардиографии в различных группах пациентов

№№ п/п	Авторы, год	Количество обследованных	Заболевание, состояние	Конечная точка	Значения механической дисперсии	Отношение рисков (hazard ratio (HR)) или отношение шансов (odds ratio (OR))	Продолжительность наблюдения
1	К.Н. Наугаа et al., 2012 [28]	94	Неишемическая кардиомиопатия	Остановка сердца/желудочковая тахикардия (12 (13%))	98 ± 43 мс по сравнению с 56 ± 18 мс (mean ± SD) P < 0,001	HR – 1,28 (95%-ный ДИ – 1,11–1,49) P = 0,001	22 (1–46) мес (median (range))
2	J. Kosiuk et al., 2015 [33]	20	Неишемическая кардиомиопатия	Фибрилляция желудочков/желудочковая тахикардия (11 (55%))	>50 мс	OR – 12,5 (95%-ный ДИ – 1,1–143,4) P = 0,024	26 (15–58) мес (median (inter-quartile range))
3	T. Haland et al., 2016 [37]	150	Гипертрофическая кардиомиопатия	Непродолжительная и устойчивая желудочковая тахикардия и прерванная остановка сердца (37 (25%))	79 ± 27 мс по сравнению с 59 ± 16 мс (mean ± SD) P < 0,001	OR – 1,6 (95%-ный ДИ – 1,1–2,3) P = 0,02	–
4	O. Candan et al., 2017 [36]	63	Гипертрофическая кардиомиопатия с имплантированным кардиовертером-дефибрилятором	Кардиоверсии в ответ на фибрилляции желудочков/желудочковые тахикардии (17 (26,9%))	>63,5 мс – оправданная терапия	OR – 1,062 (95%-ный ДИ – 1,016–1,109) P = 0,007	21,5 ± 6,9 мес (mean ± SD)
5	O.H. Lie et al., 2018 [30]	117	Аритмогенная кардиомиопатия	Жизнеугрожающие желудочковые аритмии (18 (15%))	>45 мс	HR – 1,4 на увеличение на 10 мс (95%-ный ДИ – 1,2–1,6) P < 0,001	4,2 (2,4–7,4) года (median (inter-quartile range))
6	L. C.R. Hensen et al., 2018 [40]	250	Пациенты на диализе или ожидающие диализа	Внезапная сердечная смерть/желудочковые аритмии (16 (6%))	66 (55–74) мс по сравнению с 52 (43–65) мс (median (inter-quartile range)) P = 0,004	–	28 (16–53) мес (median (inter-quartile range))
7	E.A. Prihadi et al., 2019 [38]	630	АС (небольшой – 19,8%; умеренный – 37,0%; выраженный – 43,2%)	Смерть от всех причин, замена клапана (302 (48%))	Небольшой АС 54,5 ± 17,2 мс; умеренный АС 56,7 ± 19,3 мс; выраженный АС 70,9 ± 24,3 мс (mean ± SD) P < 0,001	HR – 1,10 на каждые 10 мс увеличения (95%-ный ДИ – 1,04–1,15) P < 0,001	107 (43–133) мес (median (inter-quartile range))

Таблица 1 (окончание).

№№ п/п	Авторы, год	Количество обследованных	Заболевание, состояние	Конечная точка	Значения механической дисперсии	Отношение рисков (hazard ratio (HR)) или отношение шансов (odds ratio (OR))	Продолжительность наблюдения
8	S. Ergačov et al., 2019 [41]	59	Пролапс митрального клапана	Жизнеугрожающие желудочковые аритмии/имплантация дефибриллятора (32 (54%))	59 ± 21 мс по сравнению с 43 ± 12 мс (mean ± SD) P < 0,001	OR – 1,1 (95%-ный ДИ – 1,02–1,11) P = 0,006	–
9	B. Kvisvik et al., 2019 [42]	160	Стабильная ишемическая болезнь сердца	Смерть от всех причин, госпитализация из-за инфаркта миокарда или сердечной недостаточности (43 (27%))	>64 мс – неблагоприятный прогноз как в отношении летальности от всех причин (P < 0,01), так и в отношении комбинированной конечной точки (P = 0,014)	Летальность от всех причин: HR – 1,91 на увеличение на 10 мс (95%-ный ДИ – 1,32–2,76) P < 0,01 Комбинированная конечная точка: HR – 1,68 на увеличение на 10 мс (95%-ный ДИ – 1,29–2,20) P < 0,01	8,4 (8,2–8,8) года (median (inter-quartile range))
10	R. Abou et al., 2020 [27]	1000	Инфаркт миокарда с подъемом сегмента ST	Смерть (229 (23%))	63 (50–85) мс (умершие) по сравнению с 52 (42–63) мс (выжившие) (median (inter-quartile range)) P < 0,001	HR – 1,012 (95%-ный доверительный интервал (ДИ) – 1,005–1,018) P = 0,001	117 (104–132) мес (median (inter-quartile range))
11	D. Melichova et al., 2021 [34]	290	Хроническая сердечная недостаточность, дилатационная кардиомиопатия (71% ишемическая кардиомиопатия)	Жизнеугрожающие желудочковые аритмии (32 (11%))	>70 мс при ишемической кардиомиопатии P < 0,001	HR – 1,19 (95%-ный ДИ – 1,08–1,32) P = 0,001	22 ± 12 мес (mean ± SD)

Обозначение: АС – аортальный стеноз.

Таблица 2. Значения механической дисперсии пиковой продольной деформации ЛЖ по данным спекл-трекинг эхокардиографии в контрольных группах

№№ п/п	Авторы, год	Количество обследованных	Значения механической дисперсии (мс)	Представление данных
1	M. Jalanko et al., 2016 [35]	20	41 ± 16	mean ± SD
2	T.F. Haland et al., 2016 [37]	50	36 ± 13	mean ± SD
3	S. Ermakov et al., 2019 [41]	39	42 ± 10	mean ± SD
4	T.F. Cianciulli et al., 2020 [32]	50	32 (26–39)	median (inter-quartile range)

других состояний. При синдроме удлиненного интервала QT механическая дисперсия может отражать неомогенность удлиненного потенциала действия [26]. Потенциальные причины механической дисперсии у пациентов с кардиомиопатиями включают фиброз и ишемию, которые могут приводить к локальной задержке в электромеханическом сопряжении. Более того, неравномерные условия пред- и постнагрузки при поражениях желудочка могут также влиять на время достижения пикового укорочения.

Так как диссинхрония нередко наблюдается при сердечной недостаточности и может быть ассоциирована с увеличением риска сердечно-сосудистых событий, всякий раз следует анализировать этот показатель с учетом патофизиологии механической дисперсии в каждом конкретном случае.

Очевидным ограничением механической дисперсии является отсутствие достаточно масштабных данных о его нормальных значениях, гендерных и возрастных особенностях. В основном эти данные ограничиваются контрольными группами оригинальных исследований, которые выполнялись для анализа механической дисперсии при каких-либо патологических состояниях и заболеваниях (табл. 2).

Таким образом, несмотря на это ограничение, механическая дисперсия и другие индексы, отражающие неоднородность скоростей миокарда и его деформации, представляют собой важный исследовательский инструмент диагностики механической диссинхронии ЛЖ, который может быть использован и в практической деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Leren I.S., Hasselberg N.E., Saberniak J., Haland T.F., Kongsgard E., Smiseth O.A., Edvardsen T., Haugaa K.H. Cardiac mechanical alterations and genotype specific differences in subjects with long QT syndrome. *JACC. Cardiovasc. Imaging*. 2015; 8 (5): 501–510. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.12.023>
- Вождаева З.И., Дупляков Д.В., Землянова М.Е., Суслина Е.А., Филиппова И.В., Долгина С.И., Хохлунов С.М. Возможности 3D-эхокардиографии в оценке внутрижелудочковой асинхронии у пациентов с полной блокадой левой ножки пучка Гиса. *Вестник аритмологии*. 2012; 70 (70): 63–67.
- Завадовский К.В., Саушкин В.В., Варламова Ю.В., Мишкина А.И., Шипулин В.В., Лебедев Д.И., Попов С.В. Механическая диссинхрония в прогнозе ответа на ресинхронизирующую терапию у пациентов с дилатационной кардиомиопатией. *Кардиология*. 2021; 61 (7): 14–21. <https://doi.org/10.18087/cardio.2021.7.n1420>
- Рычков А.Ю., Кузнецов В.А., Хорькова Н.Ю., Кривоножко Д.В., Мельников Н.Н., Оленников Е.А., Дюрягина Е.Л. Диссинхрония миокарда и факторы риска внезапной кардиальной смерти у больных с хронической сердечной недостаточностью. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2014; 29 (4): 22–26. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2014-29-4-22-26>
- Капустина А.Ю., Гришин А.М., Алехин М.Н. Индекс систолической диссинхронии для оценки левого желудочка в режиме реального времени трехмерной эхокардиографии. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2018; 3: 73–78. <https://kremlin-medicine.ru/index.php/km/article/view/1062>
- Ставцева Ю.В., Виллевалде С.В., Воробьев А.С., Свешников А.В., Кобалава Ж.Д. Методы эхокардиографической оценки механической диссинхронии у пациентов с хронической сердечной недостаточностью. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2017; 12 (4-2): 121–128.
- Chung E.S., Leon A.R., Tavazzi L., Sun J.P., Nihoyannopoulos P., Merlino J., Abraham W.T., Ghio S., Leclercq C., Bax J.J., Yu C.M., Gorcsan J. 3rd, St John Sutton M., De Sutter J., Murillo J.

- Results of the predictors of response to CRT (PROSPECT) trial. *Circulation*. 2008; 117 (20): 2608–2616. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.107.743120>
8. Ruschitzka F., Abraham W.T., Singh J.P., Bax J.J., Borer J.S., Brugada J., Dickstein K., Ford I., Gorcsan J. 3rd, Gras D., Krum H., Sogaard P., Holzmeister J.; EchoCRT Study Group. Cardiac-resynchronization therapy in heart failure with a narrow QRS complex. *N. Engl. J. Med.* 2013; 369 (15): 1395–1405. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1306687>
 9. Haugaa K.H., Smedsrud M.K., Steen T., Kongsgaard E., Loennechen J.P., Skjaerpe T., Voigt J.U., Willems R., Smith G., Smiseth O.A., Amlie J.P., Edvardsen T. Mechanical dispersion assessed by myocardial strain in patients after myocardial infarction for risk prediction of ventricular arrhythmia. *JACC. Cardiovasc. Imaging*. 2010; 3 (3): 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2009.11.012>
 10. Kawakami H., Nerlekar N., Haugaa K.H., Edvardsen T., Marwick T.H. Prediction of ventricular arrhythmias with left ventricular mechanical dispersion: a systematic review and meta-analysis. *JACC. Cardiovasc. Imaging*. 2020; 13 (2): 562–572. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.03.025>
 11. Moss A.J., Hall W.J., Cannom D.S., Klein H., Brown M.W., Daubert J.P., Estes N.A. 3rd, Foster E., Greenberg H., Higgins S.L., Pfeiffer M.A., Solomon S.D., Wilber D., Zareba W.; MADIT-CRT trial investigators. Cardiac-resynchronization therapy for the prevention of heart-failure events. *N. Engl. J. Med.* 2009; 361 (14): 1329–1338. <https://doi.org/10.1056/nejmoa0906431>
 12. Tracy C.M., Epstein A.E., Darbar D., DiMarco J.P., Dunbar S.B., Estes N.A. 3rd, Ferguson T.B. Jr., Hammill S.C., Karasik P.E., Link M.S., Marine J.E., Schoenfeld M.H., Shanker A.J., Silka M.J., Stevenson L.W., Stevenson W.G., Varosy P.D., Ellenbogen K.A., Freedman R.A., Gettes L.S., Gillinov A.M., Gregoratos G., Hayes D.L., Page R.L., Stevenson L.W., Sweeney M.O.; American College of Cardiology Foundation; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines; Heart Rhythm Society. 2012 ACCF/AHA/HRS focused update of the 2008 guidelines for device-based therapy of cardiac rhythm abnormalities: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. [corrected]. *Circulation*. 2012; 126 (14): 1784–1800. <https://doi.org/10.1161/cir.0b013e3182618569>
 13. Glikson M., Nielsen J.C., Kronborg M.B., Michowitz Y., Auricchio A., Barbash I.M., Barrabes J.A., Boriani G., Braunschweig F., Brignole M., Burri H., Coats A.J.S., Deharo J.C., Delgado V., Diller G.P., Israel C.W., Keren A., Knops R.E., Kotecha D., Leclercq C., Merkely B., Starck C., Thylen I., Tolosana J.M.; ESC Scientific Document Group. 2021 ESC Guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy. *Eur. Heart J.* 2021; 42 (35): 3427–3520. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab364>
 14. Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2020. *Российский кардиологический журнал*. 2020; 25 (11): 4083. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4083>
 15. Beshai J.F., Grimm R.A., Nagueh S.F., Baker J.H. 2nd, Beau S.L., Greenberg S.M., Pires L.A., Tchou P.J.; RethinQ Study Investigators. Cardiac-resynchronization therapy in heart failure with narrow QRS complexes. *N. Engl. J. Med.* 2007; 357 (24): 2461–2471. <https://doi.org/10.1056/nejmoa0706695>
 16. Olsen F.J., Biering-Sørensen T. Myocardial strain and dyssynchrony: incremental value? *Heart Fail. Clin.* 2019; 15 (2): 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2018.12.002>
 17. Fornwalt B.K., Arita T., Bhasin M., Voulgaris G., Merlino J.D., Leon A.R., Fyfe D.A., Oshinski J.N. Cross-correlation quantification of dyssynchrony: a new method for quantifying the synchrony of contraction and relaxation in the heart. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2007; 20 (12): 1330–1337.e1. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2007.04.030>
 18. Olsen N.T., Mogelvang R., Jons C., Fritz-Hansen T., Sogaard P. Predicting response to cardiac resynchronization therapy with cross-correlation analysis of myocardial systolic acceleration: a new approach to echocardiographic dyssynchrony evaluation. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2009; 22 (6): 657–664. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2009.03.017>
 19. Tayal B., Gorcsan J. 3rd, Bax J.J., Risum N., Olsen N.T., Singh J.P., Abraham W.T., Borer J.S., Dickstein K., Gras D., Krum H., Brugada J., Robertson M., Ford I., Holzmeister J., Ruschitzka F., Sogaard P. Cardiac resynchronization therapy in patients with heart failure and narrow QRS complexes. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018; 71 (12): 1325–1333. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.01.042>
 20. Risum N., Williams E.S., Khouri M.G., Jackson K.P., Olsen N.T., Jons C., Storm K.S., Velazquez E.J., Kisslo J., Bruun N.E., Sogaard P. Mechanical dyssynchrony evaluated by tissue Doppler cross-correlation analysis is associated with long-term survival in patients after cardiac resynchronization therapy. *Eur. Heart J.* 2013; 34 (1): 48–56. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehs035>
 21. Karsum E.H., Andersen D.M., Modin D., Biering-Sørensen S.R., Mogelvang R., Jensen G., Schnohr P., Gislason G., Biering-Sørensen T. The prognostic value of left atrial dyssynchrony measured by speckle tracking echocardiography in the general population. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2021; 37 (5): 1679–1688. <https://doi.org/10.1007/s10554-020-02154-3>
 22. Loghin C., Karimzadehnajar K., Ekeruo I.A., Mukerji S.S., Memon N.B., Kantharia B.K. Outcome of pulmonary vein isolation ablation for paroxysmal atrial fibrillation: predictive role of left atrial mechanical dyssynchrony by speckle tracking echocardiography. *J. Interv. Card. Electrophysiol.* 2014; 39 (1): 7–15. <https://doi.org/10.1007/s10840-013-9841-3>
 23. Haugaa K.H., Amlie J.P., Berge K.E., Leren T.P., Smiseth O.A., Edvardsen T. Transmural differences in myocardial contraction in long-QT syndrome: mechanical consequences of ion channel dysfunction.

- Circulation*. 2010; 122 (14): 1355–1363.
<https://doi.org/10.1161/circulationaha.110.960377>
24. De Ferrari G.M., Nador F., Beria G., Sala S., Lotto A., Schwartz P.J. Effect of calcium channel block on the wall motion abnormality of the idiopathic long QT syndrome. *Circulation*. 1994; 89 (5): 2126–2132. <https://doi.org/10.1161/01.cir.89.5.2126>
 25. Haugaa K.H., Edvardsen T., Leren T.P., Gran J.M., Smiseth O.A., Amlie J.P. Left ventricular mechanical dispersion by tissue Doppler imaging: a novel approach for identifying high-risk individuals with long QT syndrome. *Eur. Heart J.* 2009; 30 (3): 330–337. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehn466>
 26. Smiseth O.A., Torp H., Opdahl A., Haugaa K.H., Urheim S. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *Eur. Heart J.* 2016; 37 (15): 1196–1207. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv529>
 27. Abou R., Goedemans L., van der Bijl P., Fortuni F., Prihadi E.A., Mertens B., Schaliq M.J., Ajmone Marsan N., Bax J.J., Delgado V. Correlates and long-term implications of left ventricular mechanical dispersion by two-dimensional speckle-tracking echocardiography in patients with ST-segment elevation myocardial infarction. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020; 33 (8): 964–972. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.03.010>
 28. Haugaa K.H., Goebel B., Dahlslett T., Meyer K., Jung C., Lauten A., Figulla H.R., Poerner T.C., Edvardsen T. Risk assessment of ventricular arrhythmias in patients with nonischemic dilated cardiomyopathy by strain echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2012; 25 (6): 667–673. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2012.02.004>
 29. Haugaa K.H., Grenne B.L., Eek C.H., Ersboll M., Valeur N., Svendsen J.H., Florian A., Sjoli B., Brunvand H., Kober L., Voigt J.U., Desmet W., Smiseth O.A., Edvardsen T. Strain echocardiography improves risk prediction of ventricular arrhythmias after myocardial infarction. *JACC. Cardiovasc. Imaging.* 2013; 6 (8): 841–850. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2013.03.005>
 30. Lie O.H., Rootwelt-Norberg C., Dejgaard L.A., Leren I.S., Stokke M.K., Edvardsen T., Haugaa K.H. Prediction of life-threatening ventricular arrhythmia in patients with arrhythmogenic cardiomyopathy: a primary prevention cohort study. *JACC. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 11 (10): 1377–1386. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.05.017>
 31. Azevedo A.C.A., Barros M.V.L., Klabeo L.G., Edvardsen T., Costa H.S., Paixao G.M.M., Junior O.R.S., Nunes M.C.P., Rocha M.O.C. Association between myocardial mechanical dispersion and ventricular arrhythmogenicity in chagas cardiomyopathy. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2021; 37 (9): 2727–2734. <https://doi.org/10.1007/s10554-021-02246-8>
 32. Cianciulli T.F., Saccheri M.C., Risolo M.A., Lax J.A., Mendez R.J., Morita L.A., Beck M.A., Kazelian L.R. Mechanical dispersion in Fabry disease assessed with speckle tracking echocardiography. *Echocardiography.* 2020; 37 (2): 293–301. <https://doi.org/10.1111/echo.14592>
 33. Kosiuk J., Dinov B., Bollmann A., Koutalas E., Mussigbrodt A., Sommer P., Arya A., Richter S., Hindricks G., Breithardt O.A. Association between ventricular arrhythmias and myocardial mechanical dispersion assessed by strain analysis in patients with nonischemic cardiomyopathy. *Clin. Res. Cardiol.* 2015; 104 (12): 1072–1077. <https://doi.org/10.1007/s00392-015-0875-7>
 34. Melichova D., Nguyen T.M., Salte I.M., Klabeo L.G., Sjoli B., Karlsen S., Dahlslett T., Leren I.S., Edvardsen T., Brunvand H., Haugaa K.H. Strain echocardiography improves prediction of arrhythmic events in ischemic and non-ischemic dilated cardiomyopathy. *Int. J. Cardiol.* 2021; 342: 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2021.07.044>
 35. Jalanko M., Tarkiainen M., Sipola P., Jaaskeinen P., Lauerma K., Laine J., Nieminen M.S., Laakso M., Helio T., Kuusisto J. Left ventricular mechanical dispersion is associated with nonsustained ventricular tachycardia in hypertrophic cardiomyopathy. *Ann. Med.* 2016; 48 (6): 417–427. <https://doi.org/10.1080/07853890.2016.1186826>
 36. Candan O., Gecmen C., Bayam E., Guner A., Celik M., Dogan C. Mechanical dispersion and global longitudinal strain by speckle tracking echocardiography: predictors of appropriate implantable cardioverter defibrillator therapy in hypertrophic cardiomyopathy. *Echocardiography.* 2017; 34 (6): 835–842. <https://doi.org/10.1111/echo.13547>
 37. Haland T.F., Almaas V.M., Hasselberg N.E., Saberniak J., Leren I.S., Hopp E., Edvardsen T., Haugaa K.H. Strain echocardiography is related to fibrosis and ventricular arrhythmias in hypertrophic cardiomyopathy. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2016; 17 (6): 613–621. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jew005>
 38. Prihadi E.A., Vollema E.M., Ng A.C.T., Ajmone Marsan N., Bax J.J., Delgado V. Determinants and prognostic implications of left ventricular mechanical dispersion in aortic stenosis. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2019; 20 (7): 740–748. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez004>
 39. Lavall D., Kuprat L.K., Kandels J., Stobe S., Hagendorff A., Laufs U. Left ventricular mechanical dispersion in flow-gradient patterns of severe aortic stenosis with narrow QRS complex. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2020; 36 (4): 605–614. <https://doi.org/10.1007/s10554-019-01754-y>
 40. Hensen L.C.R., Goossens K., Podlesnikar T., Rotmans J.I., Jukema J.W., Delgado V., Bax J.J. Left ventricular mechanical dispersion and global longitudinal strain and ventricular arrhythmias in predialysis and dialysis patients. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2018; 31 (7): 777–783. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2018.01.010>
 41. Ermakov S., Gulhar R., Lim L., Bibby D., Fang Q., Nah G., Abraham T.P., Schiller N.B., Delling F.N. Left ventricular mechanical dispersion predicts arrhythmic risk in mitral valve prolapse. *Heart.* 2019; 105 (14): 1063–1069. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2018-314269>
 42. Kvisvik B., Aagaard E.N., Morkrid L., Rosjo H., Lyngbakken M., Smedsrud M.K., Eek C., Bendz B., Haugaa K.H., Edvardsen T., Gravning J. Mechanical dispersion as a marker of left ventricular dysfunction and prognosis in stable coronary artery disease. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2019;

- 35 (7): 1265–1275.
<https://doi.org/10.1007/s10554-019-01583-z>
43. Banasik G., Segiet O., Elwart M., Szulik M., Lenarczyk R., Kalarus Z., Kukulski T. LV mechanical dispersion as a predictor of ventricular arrhythmia in patients with advanced systolic heart failure: a pilot study. *Herz*. 2016; 41 (7): 599–604. <https://doi.org/10.1007/s00059-015-4398-9>
 44. Chan Y.H., Kuo C.T., Wu L.S., Wang C.L., Yeh Y.H., Hsu L.A., Ho W.J. Combined global longitudinal strain and intraventricular mechanical dyssynchrony predicts long-term outcome in patients with systolic heart failure. *Circ. J.* 2016; 80 (1): 177–185. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-15-0953>
 45. Favot M., Ehrman R., Gowland L., Sullivan A., Reed B., Abidov A., Levy P. Changes in speckle-tracking-derived mechanical dispersion index are associated with 30-day readmissions in acute heart failure. *Ultrasound J.* 2019; 11 (1): 9. <https://doi.org/10.1186/s13089-019-0125-8>
 46. Aagaard E.N., Kvisvik B., Pervez M.O., Lyngbakken M.N., Berge T., Enger S., Orstad E.B., Smith P., Omland T., Tveit A., Rosjo H., Steine K. Left ventricular mechanical dispersion in a general population: Data from the Akershus Cardiac Examination 1950 study. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2020; 21 (2): 183–190. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez210>
- ## REFERENCES
1. Leren I.S., Hasselberg N.E., Saberniak J., Haland T.F., Kongsgard E., Smiseth O.A., Edvardsen T., Haugaa K.H. Cardiac mechanical alterations and genotype specific differences in subjects with long QT syndrome. *JACC. Cardiovasc. Imaging*. 2015; 8 (5): 501–510. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.12.023>
 2. Vozhdaeva Z.I., Duplyakov D.V., Zemlyanova M.E., Suslina E.A., Filippova I.V., Dolginina S.I., Khokhlunov S.M. Potentialities of 3D echocardiography for assessment of intra-ventricular asynchrony in patients with the complete left bundle branch block. *Journal of Arrhythmology*. 2012; 70 (70): 63–67. (in Russian)
 3. Zavadovskij K.V., Saushkin V.V., Varlamova Yu.V., Mishkina A.I., Shipulin V.V., Lebedev D.I., Popov S.V. Mechanical dyssynchrony for prediction of the cardiac resynchronization therapy response in patients with dilated cardiomyopathy. *Kardiologiya*. 2021; 61 (7): 14–21. <https://doi.org/10.18087/cardio.2021.7.n1420> (in Russian)
 4. Rychkov A.Yu., Kuznetsov V.A., Khorkova N.Yu., Krinochkin D.V., Melnikov N.N., Olennikov E.A., Dyuraygina E.L. Myocardial dyssynchrony and risk factors of sudden cardiac death in patients with congestive heart failure. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2014; 29 (4): 22–26. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2014-29-4-22-26> (in Russian)
 5. Kapustina A.Yu., Grishin A.M., Alekhin M.N. Dyssynchrony indexes for real-time three-dimensional echocardiographic assessment of left ventricular. *Kremlin Medicine Journal*. 2018; 3: 73–78. <https://kremlin-medicine.ru/index.php/km/article/view/1062> (in Russian)
 6. Stavceva Yu.V., Villeval'de S.V., Vorobev A.S., Sveshnikov A.V., Kobalava Zh.D. Methods of echocardiographical estimation of mechanical dyssynchronia in patients with chronic heart failure. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center*. 2017; 12 (4-2): 121–128. (in Russian)
 7. Chung E.S., Leon A.R., Tavazzi L., Sun J.P., Nihoyannopoulos P., Merlino J., Abraham W.T., Ghio S., Leclercq C., Bax J.J., Yu C.M., Gorcsan J. 3rd, St John Sutton M., De Sutter J., Murillo J. Results of the predictors of response to CRT (PROSPECT) trial. *Circulation*. 2008; 117 (20): 2608–2616. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.107.743120>
 8. Ruschitzka F., Abraham W.T., Singh J.P., Bax J.J., Borer J.S., Brugada J., Dickstein K., Ford I., Gorcsan J. 3rd, Gras D., Krum H., Sogaard P., Holzmeister J.; EchoCRT Study Group. Cardiac-resynchronization therapy in heart failure with a narrow QRS complex. *N. Engl. J. Med.* 2013; 369 (15): 1395–1405. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1306687>
 9. Haugaa K.H., Smedsrud M.K., Steen T., Kongsgaard E., Loennechen J.P., Skjaerpe T., Voigt J.U., Willems R., Smith G., Smiseth O.A., Amlie J.P., Edvardsen T. Mechanical dispersion assessed by myocardial strain in patients after myocardial infarction for risk prediction of ventricular arrhythmia. *JACC. Cardiovasc. Imaging*. 2010; 3 (3): 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2009.11.012>
 10. Kawakami H., Nerlekar N., Haugaa K.H., Edvardsen T., Marwick T.H. Prediction of ventricular arrhythmias with left ventricular mechanical dispersion: a systematic review and meta-analysis. *JACC. Cardiovasc. Imaging*. 2020; 13 (2): 562–572. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.03.025>
 11. Moss A.J., Hall W.J., Cannom D.S., Klein H., Brown M.W., Daubert J.P., Estes N.A. 3rd, Foster E., Greenberg H., Higgins S.L., Pfeffer M.A., Solomon S.D., Wilber D., Zareba W.; MADIT-CRT trial investigators. Cardiac-resynchronization therapy for the prevention of heart-failure events. *N. Engl. J. Med.* 2009; 361 (14): 1329–1338. <https://doi.org/10.1056/nejmoa0906431>
 12. Tracy C.M., Epstein A.E., Darbar D., DiMarco J.P., Dunbar S.B., Estes N.A. 3rd, Ferguson T.B. Jr., Hammill S.C., Karasik P.E., Link M.S., Marine J.E., Schoenfeld M.H., Shanker A.J., Silka M.J., Stevenson L.W., Stevenson W.G., Varosy P.D., Ellenbogen K.A., Freedman R.A., Gettes L.S., Gillinov A.M., Gregoratos G., Hayes D.L., Page R.L., Stevenson L.W., Sweeney M.O.; American College of Cardiology Foundation; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines; Heart Rhythm Society. 2012 ACCF/AHA/HRS focused update of the 2008 guidelines for device-based therapy of cardiac rhythm abnormalities: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. [corrected]. *Circulation*. 2012; 126 (14): 1784–1800. <https://doi.org/10.1161/cir.0b013e3182618569>
 13. Glikson M., Nielsen J.C., Kronborg M.B., Michowitz Y., Auricchio A., Barbash I.M.,

- Barrabes J.A., Boriani G., Braunschweig F., Brignole M., Burri H., Coats A.J.S., Deharo J.C., Delgado V., Diller G.P., Israel C.W., Keren A., Knops R.E., Kotecha D., Leclercq C., Merkely B., Starck C., Thylen I., Tolosana J.M.; ESC Scientific Document Group. 2021 ESC Guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy. *Eur. Heart J.* 2021; 42 (35): 3427–3520. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab364>
14. 2020 Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology.* 2020; 25 (11): 4083. (in Russian) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4083>
 15. Beshai J.F., Grimm R.A., Nagueh S.F., Baker J.H. 2nd, Beau S.L., Greenberg S.M., Pires L.A., Tchou P.J.; RethinQ Study Investigators. Cardiac-resynchronization therapy in heart failure with narrow QRS complexes. *N. Engl. J. Med.* 2007; 357 (24): 2461–2471. <https://doi.org/10.1056/nejmoa0706695>
 16. Olsen F.J., Biering-Sørensen T. Myocardial strain and dyssynchrony: incremental value? *Heart Fail. Clin.* 2019; 15 (2): 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2018.12.002>
 17. Fornwalt B.K., Arita T., Bhasin M., Voulgaris G., Merlino J.D., Leon A.R., Fyfe D.A., Oshinski J.N. Cross-correlation quantification of dyssynchrony: a new method for quantifying the synchrony of contraction and relaxation in the heart. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2007; 20 (12): 1330–1337.e1. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2007.04.030>
 18. Olsen N.T., Mogelvang R., Jons C., Fritz-Hansen T., Sogaard P. Predicting response to cardiac resynchronization therapy with cross-correlation analysis of myocardial systolic acceleration: a new approach to echocardiographic dyssynchrony evaluation. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2009; 22 (6): 657–664. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2009.03.017>
 19. Tayal B., Gorcsan J. 3rd, Bax J.J., Risum N., Olsen N.T., Singh J.P., Abraham W.T., Borer J.S., Dickstein K., Gras D., Krum H., Brugada J., Robertson M., Ford I., Holzmeister J., Ruschitzka F., Sogaard P. Cardiac resynchronization therapy in patients with heart failure and narrow QRS complexes. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018; 71 (12): 1325–1333. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.01.042>
 20. Risum N., Williams E.S., Khouri M.G., Jackson K.P., Olsen N.T., Jons C., Storm K.S., Velazquez E.J., Kisslo J., Bruun N.E., Sogaard P. Mechanical dyssynchrony evaluated by tissue Doppler cross-correlation analysis is associated with long-term survival in patients after cardiac resynchronization therapy. *Eur. Heart J.* 2013; 34 (1): 48–56. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehs035>
 21. Karsum E.H., Andersen D.M., Modin D., Biering-Sørensen S.R., Mogelvang R., Jensen G., Schnohr P., Gislason G., Biering-Sørensen T. The prognostic value of left atrial dyssynchrony measured by speckle tracking echocardiography in the general population. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2021; 37 (5): 1679–1688. <https://doi.org/10.1007/s10554-020-02154-3>
 22. Loghin C., Karimzadehnajar K., Ekeruo I.A., Mukerji S.S., Memon N.B., Kantharia B.K. Outcome of pulmonary vein isolation ablation for paroxysmal atrial fibrillation: predictive role of left atrial mechanical dyssynchrony by speckle tracking echocardiography. *J. Interv. Card. Electrophysiol.* 2014; 39 (1): 7–15. <https://doi.org/10.1007/s10840-013-9841-3>
 23. Haugaa K.H., Amlie J.P., Berge K.E., Leren T.P., Smiseth O.A., Edvardsen T. Transmural differences in myocardial contraction in long-QT syndrome: mechanical consequences of ion channel dysfunction. *Circulation.* 2010; 122 (14): 1355–1363. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.110.960377>
 24. De Ferrari G.M., Nador F., Beria G., Sala S., Lotto A., Schwartz P.J. Effect of calcium channel block on the wall motion abnormality of the idiopathic long QT syndrome. *Circulation.* 1994; 89 (5): 2126–2132. <https://doi.org/10.1161/01.cir.89.5.2126>
 25. Haugaa K.H., Edvardsen T., Leren T.P., Gran J.M., Smiseth O.A., Amlie J.P. Left ventricular mechanical dispersion by tissue Doppler imaging: a novel approach for identifying high-risk individuals with long QT syndrome. *Eur. Heart J.* 2009; 30 (3): 330–337. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehn466>
 26. Smiseth O.A., Torp H., Opdahl A., Haugaa K.H., Urheim S. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *Eur. Heart J.* 2016; 37 (15): 1196–1207. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv529>
 27. Abou R., Goedemans L., van der Bijl P., Fortuni F., Prihadi E.A., Mertens B., Schalij M.J., Ajmone Marsan N., Bax J.J., Delgado V. Correlates and long-term implications of left ventricular mechanical dispersion by two-dimensional speckle-tracking echocardiography in patients with ST-segment elevation myocardial infarction. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020; 33 (8): 964–972. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.03.010>
 28. Haugaa K.H., Goebel B., Dahlslett T., Meyer K., Jung C., Lauten A., Figulla H.R., Poerner T.C., Edvardsen T. Risk assessment of ventricular arrhythmias in patients with nonischemic dilated cardiomyopathy by strain echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2012; 25 (6): 667–673. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2012.02.004>
 29. Haugaa K.H., Grenne B.L., Eek C.H., Ersboll M., Valeur N., Svendsen J.H., Florian A., Sjøli B., Brunvand H., Kober L., Voigt J.U., Desmet W., Smiseth O.A., Edvardsen T. Strain echocardiography improves risk prediction of ventricular arrhythmias after myocardial infarction. *JACC. Cardiovasc. Imaging.* 2013; 6 (8): 841–850. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2013.03.005>
 30. Lie O.H., Rootwelt-Norberg C., Dejgaard L.A., Leren I.S., Stokke M.K., Edvardsen T., Haugaa K.H. Prediction of life-threatening ventricular arrhythmia in patients with arrhythmogenic cardiomyopathy: a primary prevention cohort study. *JACC. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 11 (10): 1377–1386. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.05.017>
 31. Azevedo A.C.A., Barros M.V.L., Klaboe L.G., Edvardsen T., Costa H.S., Paixao G.M.M., Junior O.R.S., Nunes M.C.P., Rocha M.O.C. Association between myocardial mechanical dispersion and ventricular arrhythmogenicity in chagas cardiomyopathy. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.*

- 2021; 37 (9): 2727–2734.
<https://doi.org/10.1007/s10554-021-02246-8>
32. Cianciulli T.F., Saccheri M.C., Risolo M.A., Lax J.A., Mendez R.J., Morita L.A., Beck M.A., Kazelian L.R. Mechanical dispersion in Fabry disease assessed with speckle tracking echocardiography. *Echocardiography*. 2020; 37 (2): 293–301. <https://doi.org/10.1111/echo.14592>
33. Kosiuk J., Dinov B., Bollmann A., Koutalas E., Mussigbrodt A., Sommer P., Arya A., Richter S., Hindricks G., Breithardt O.A. Association between ventricular arrhythmias and myocardial mechanical dispersion assessed by strain analysis in patients with nonischemic cardiomyopathy. *Clin. Res. Cardiol*. 2015; 104 (12): 1072–1077. <https://doi.org/10.1007/s00392-015-0875-7>
34. Melichova D., Nguyen T.M., Salte I.M., Klæboe L.G., Sjøli B., Karlsten S., Dahlslett T., Leren I.S., Edvardsen T., Brunvand H., Haugaa K.H. Strain echocardiography improves prediction of arrhythmic events in ischemic and non-ischemic dilated cardiomyopathy. *Int. J. Cardiol*. 2021; 342: 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2021.07.044>
35. Jalanko M., Tarkiainen M., Sipola P., Jaaskelainen P., Lauerma K., Laine M., Nieminen M.S., Laakso M., Helio T., Kuusisto J. Left ventricular mechanical dispersion is associated with nonsustained ventricular tachycardia in hypertrophic cardiomyopathy. *Ann. Med*. 2016; 48 (6): 417–427. <https://doi.org/10.1080/07853890.2016.1186826>
36. Candan O., Gecmen C., Bayam E., Guner A., Celik M., Dogan C. Mechanical dispersion and global longitudinal strain by speckle tracking echocardiography: predictors of appropriate implantable cardioverter defibrillator therapy in hypertrophic cardiomyopathy. *Echocardiography*. 2017; 34 (6): 835–842. <https://doi.org/10.1111/echo.13547>
37. Haland T.F., Almaas V.M., Hasselberg N.E., Saberniak J., Leren I.S., Hopp E., Edvardsen T., Haugaa K.H. Strain echocardiography is related to fibrosis and ventricular arrhythmias in hypertrophic cardiomyopathy. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2016; 17 (6): 613–621. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jew005>
38. Prihadi E.A., Vollema E.M., Ng A.C.T., Ajmone Marsan N., Bax J.J., Delgado V. Determinants and prognostic implications of left ventricular mechanical dispersion in aortic stenosis. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2019; 20 (7): 740–748. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez004>
39. Lavall D., Kuprat L.K., Kandels J., Stobe S., Haggendorff A., Laufs U. Left ventricular mechanical dispersion in flow-gradient patterns of severe aortic stenosis with narrow QRS complex. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2020; 36 (4): 605–614. <https://doi.org/10.1007/s10554-019-01754-y>
40. Hensen L.C.R., Goossens K., Podlesnikar T., Rotmans J.I., Jukema J.W., Delgado V., Bax J.J. Left ventricular mechanical dispersion and global longitudinal strain and ventricular arrhythmias in predialysis and dialysis patients. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2018; 31 (7): 777–783. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2018.01.010>
41. Ermakov S., Gulhar R., Lim L., Bibby D., Fang Q., Nah G., Abraham T.P., Schiller N.B., Delling F.N. Left ventricular mechanical dispersion predicts arrhythmic risk in mitral valve prolapse. *Heart*. 2019; 105 (14): 1063–1069. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2018-314269>
42. Kvisvik B., Aagaard E.N., Morkrid L., Rosjo H., Lyngbakken M., Smedsrud M.K., Eek C., Bendz B., Haugaa K.H., Edvardsen T., Gravning J. Mechanical dispersion as a marker of left ventricular dysfunction and prognosis in stable coronary artery disease. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2019; 35 (7): 1265–1275. <https://doi.org/10.1007/s10554-019-01583-z>
43. Banasik G., Segiet O., Elwart M., Szulik M., Lenarczyk R., Kalarus Z., Kukulski T. LV mechanical dispersion as a predictor of ventricular arrhythmia in patients with advanced systolic heart failure: a pilot study. *Herz*. 2016; 41 (7): 599–604. <https://doi.org/10.1007/s00059-015-4398-9>
44. Chan Y.H., Kuo C.T., Wu L.S., Wang C.L., Yeh Y.H., Hsu L.A., Ho W.J. Combined global longitudinal strain and intraventricular mechanical dyssynchrony predicts long-term outcome in patients with systolic heart failure. *Circ. J*. 2016; 80 (1): 177–185. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-15-0953>
45. Favot M., Ehrman R., Gowland L., Sullivan A., Reed B., Abidov A., Levy P. Changes in speckle-tracking-derived mechanical dispersion index are associated with 30-day readmissions in acute heart failure. *Ultrasound J*. 2019; 11 (1): 9. <https://doi.org/10.1186/s13089-019-0125-8>
46. Aagaard E.N., Kvisvik B., Pervez M.O., Lyngbakken M.N., Berge T., Enger S., Orstad E.B., Smith P., Omland T., Tveit A., Rosjo H., Steine K. Left ventricular mechanical dispersion in a general population: Data from the Akershus Cardiac Examination 1950 study. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2020; 21 (2): 183–190. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez210>

Mechanical dispersion of peak longitudinal strain of the left ventricle in mechanical dissynchrony assessment by speckle-tracking echocardiography

M.N. Alekhin

*Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow
Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow*

M.N. Alekhin – M.D., Ph.D., Professor, Division of Therapy, Cardiology, Functional Diagnostics, and Nephrology, Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation; Head of Functional Diagnostics Department, Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9725-7528>

Correspondence to Prof. Mikhail N. Alekhin. E-mail: amn@mail.ru

The article is a pictorial review on the value of the assessment of mechanical dissynchrony in echocardiography. Special attention is paid to the prognostic value analysis of the mechanical dispersion of peak longitudinal strain of the left ventricle by speckle-tracking echocardiography in various diseases and pathological conditions. The values of this parameter in control groups and in various diseases and pathological conditions are presented.

Key words: *speckle tracking echocardiography, mechanical dissynchrony, systolic strain, mechanical dispersion, left ventricle.*

Citation: *Alekhin M.N. Mechanical dispersion of peak longitudinal strain of the left ventricle in mechanical dissynchrony assessment by speckle-tracking echocardiography. Ultrasound and Functional Diagnostics. 2022; 2: 86–104. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2021-2-86-104> (in Russian)*