

Современные подходы в диагностике диастолической дисфункции левого желудочка сердца

Резюме

Цель обзора: проанализировать и обобщить современные подходы в диагностике диастолической дисфункции левого желудочка сердца.

Основные положения. В настоящем обзоре отображены современные подходы и алгоритмы выявления диастолической дисфункции левого желудочка, основанные на применении актуальных на сегодняшний день визуализирующих методик, включающих спекл-трекинг эхокардиографию и магнитно-резонансную томографию сердца.

Заключение. Современные методы диагностики диастолической дисфункции с использованием спекл-трекинг и магнитно-резонансной томографии сердца показали высокую эффективность, что позволяет применять их в рутинной практике, в том числе у бессимптомных пациентов на ранних этапах. Однако на сегодняшний день данная проблема не является полностью решенной, в связи с чем для более полного понимания необходимы дальнейшие исследования, включающие большое количество участников, с проспективным и долгосрочным наблюдением.

Ключевые слова: [диастолическая дисфункция](#), [магнитно-резонансная томография сердца](#), [спекл-трекинг](#), [эхокардиография](#)

Для цитирования

Рахчеев В.А., Мирзоев Н.Т., Пчельникова А.В., Шуленин К.С., Кутелев Г.Г. Современные подходы в диагностике диастолической дисфункции левого желудочка сердца // Вестник терапевта. 2022. № 4 (55). URL: (дата обращения: дд.мм.гггг)

<https://journaltherapy.ru/statyi/sovremennye-podhody-v-diagnostike-diastolicheskoy-disfunkcii-levogo-zheludochka-serdca/>

• Авторы

Рахчеев Владислав Александрович — слушатель ординатуры по специальности «терапия» Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. 194044, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6. eLIBRARY.RU SPIN: 4131-0241. <https://orcid.org/0000-0002-1180-4042>. E-mail: vlad180697@yandex.ru

Мирзоев Никита Тагирович — слушатель ординатуры по специальности «терапия» Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. 194044, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6. eLIBRARY.RU SPIN: 9826-5624. <https://orcid.org/0000-0002-9232-645>. E-mail: mirsoev@mail.ru

Шуленин Константин Сергеевич — д. м. н., доцент, заместитель начальника кафедры военно-морской терапии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. 194044, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6. eLIBRARY.RU SPIN: 8476-1052. <https://orcid.org/0000-0002-3141-7111>. E-mail: shulenink@mail.ru

Пчельникова Анна Владимировна — заведующая кабинетом ультразвуковой диагностики, врач ультразвуковой диагностики клиники военно-морской терапии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. 194044, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6. E-mail: pchela.anna77@mail.ru

Кутелев Геннадий Геннадьевич (автор для переписки) — к. м. н., старший преподаватель кафедры военно-морской терапии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. 194044, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6. <https://orcid.org/0000-0002-6489-9938>. eLIBRARY.RU SPIN: [5139-8511](#). E-mail: gena08@yandex.ru

В.А. Рахчеев, Н.Т. Мирзоев, А.В. Пчельникова, К.С. Шуленин, Г.Г. Кутелев

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерство обороны Российской Федерации; Россия, г. Санкт-Петербург

В последнее время пристальное внимание уделяется изучению механизмов развития и диагностики диастолической дисфункции левого желудочка (ДД ЛЖ). Оценка диастолической функции (ДФ) является важной проблемой, поскольку выявление нарушений диастолического наполнения сердца может иметь большое значение в определении патогенеза сердечной недостаточности (СН) и дальнейшего прогноза и качества жизни конкретного пациента.

Трансторакальная ЭхоКГ (ТТ-ЭхоКГ) считается методом выбора неинвазивной диагностики ДД ЛЖ. Однако ТТ-ЭхоКГ имеет ряд ограничений, которые в некоторых случаях приводят к трудностям в ранней диагностике ДД ЛЖ. Все это побуждает медицинское сообщество искать наиболее эффективные подходы в определении ДД.

Цель данного обзора: проанализировать и обобщить современные подходы в диагностике ДД ЛЖ сердца.

Трансторакальная эхокардиография в диагностике диастолической дисфункции левого желудочка

ДФ ЛЖ определяется наполнением ЛЖ и диастолическим давлением. Это сложный процесс, который зависит от многих факторов, включая диастолические и систолические объемы и давление в ЛЖ, систолические свойства ЛЖ, эластичную отдачу, скорость и степень релаксации ЛЖ, жесткость камеры ЛЖ, взаимодействия перикарда и желудочков, а также функциональные параметры левого предсердия (ЛП) [1].

«Золотой стандарт» в диагностике ДД ЛЖ — инвазивные измерения скорости релаксации ЛЖ и жесткости его камеры. Оба параметра требуют использования высокоточных катетеров, применение которых при рутинной оценке пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями практически невозможно. Таким образом, неинвазивная визуализация с помощью ТТ-ЭхоКГ становится методом выбора для выявления ДД.

Определение ДФ ЛЖ является неотъемлемой частью протокола исследования ТТ-ЭхоКГ. За прошедшее десятилетие Американским обществом эхокардиографии (American Society of Echocardiography, ASE) совместно с Европейской ассоциацией сердечно-сосудистой визуализации (European Association of Cardiovascular Imaging, EACVI) были разработаны и опубликованы рекомендации по определению ДД в 2009 и 2016 годах соответственно. В рекомендациях ASE (2009) [2] с целью оценки ДФ использовались 9 параметров. В рекомендациях ASE/EACVI (2016) [3] представлен упрощенный подход к оценке ДФ, основанный на использовании нескольких ТТ-ЭхоКГ показателей, доказавших свою наибольшую значимость с практической точки зрения.

Рабочей группой предложены новые алгоритмы с учетом 4 критериев, позволяющих диагностировать наличие ДД у пациентов с нормальной и сниженной фракцией выброса (ФВ) ЛЖ:

- 1) определение скоростей e' диастолического движения латеральной ($e'_{\text{lateral}} < 10$ см/с) и септальной ($e'_{\text{septal}} < 7$ см/с) частей фиброзного кольца митрального клапана с использованием тканевой доплерографии;
- 2) средний индекс раннего диастолического наполнения ЛЖ $E/e' > 14$ (на латеральном сегменте > 15 , на септальном > 13);
- 3) индекс максимального объема ЛП > 34 мл/м², который определяется из верхушечных 4-камерных и 2-камерных доступов в 2D-режиме;
- 4) скорость потока трикуспидальной регургитации в постоянно-волновом доплеровском режиме $> 2,8$ м/с.

Первый алгоритм ASE/EACVI (2016) предполагал выявление ДД у лиц с СН с сохраненной ФВ (СНсФВ) (рис. 1) [4].



Рис. 1. Алгоритм оценки диастолической функции у пациентов с нормальной фракцией выброса левого желудочка [4]. Здесь и далее в рисунках: ДД — диастолическая дисфункция, ЛЖ — левый желудочек, ЛП — левое предсердие, ТР — трикуспидальная регургитация, ФВ — фракция выброса

Второй алгоритм ASE/EACVI (2016) позволял оценить давление наполнения и ДФ ЛЖ у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ и у больных с заболеваниями миокарда и нормальной ФВ ЛЖ (рис. 2) [4].

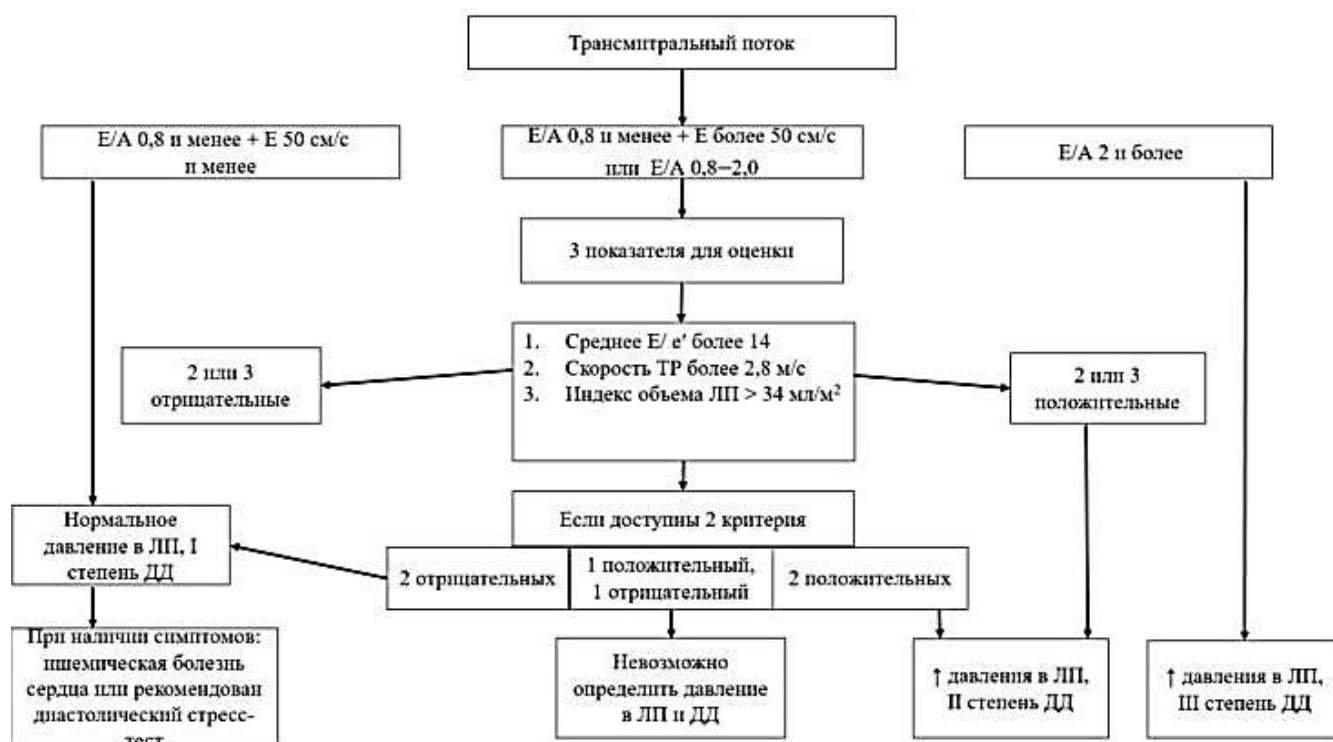


Рис. 2. Алгоритм оценки давления наполнения и диастолической функции левого желудочка у пациентов со сниженной фракцией выброса и у лиц с заболеваниями миокарда и нормальной фракцией выброса левого желудочка [4]

В то время как некоторые авторы продемонстрировали высокую значимость использования новых алгоритмов определения ДД в клинических исследованиях [5–7], другие показали лишь скромную корреляцию [8] и выявили нерешенные проблемы [9, 10].

Кроме того, продемонстрированы существенные различия в классификации ДД, когда предыдущие рекомендации и протоколы сравнивались друг с другом [11, 12]. Поэтому такая изменчивость имеет большое значение при идентификации лиц с ХСН или с риском развития СН, что может приводить к различиям в предполагаемой распространенности ДД в популяции [10, 11, 13]. Все это подчеркивает необходимость комплексного подхода в изучении ДД ЛЖ.

В ходе анализа обновленных рекомендаций [3] J.K. Oh и соавт. [14] предложили более практичный и простой модифицированный алгоритм, основанный на четырех параметрах (септальный e' , E/e' , индекс объема ЛП и скорость трикуспидальной регургитации), который предназначен для скрининговой оценки диастолического давления наполнения ЛЖ (рис. 3). После оценки давления наполнения производилась оценка ДФ на основе показателей трансмитрального кровотока (отношения E/A). Если ДФ не могла быть определена на основе четырех переменных, использовались дополнительные параметры, включая скорость легочных вен (PV), пробу Вальсальвы (Valsalva), время изоволюмического расслабления ЛЖ (IVRT), пиковую глобальную продольную деформацию ЛП (LASr). Диастолический стресс-тест использовался для пациентов с ДД I степени или неопределенной ДФ.



Рис. 3. Пересмотренный интегрированный алгоритм для оценки диастолической функции (ДФ) и давления наполнения левого желудочка [14]

S.B. Prasad и соавт. [15] оценили гемодинамическую и прогностическую значимость нового комбинированного алгоритма [14] для оценки ДФ и давления наполнения ЛЖ. Они сделали вывод, что использование данного подхода повышает чувствительность в выявлении ДД ЛЖ, подтвердив это в ходе своих исследований.

О.М. Жерко и соавт. [16] в своей работе приводят расширенную методику определения ДД у лиц с ХСН. В статье авторы отмечают, что метод диагностики ДД ЛЖ, разработанный ASE/EACVI (2016), имеет ограниченную чувствительность и так называемые «слепые зоны» — совокупность ультразвуковых признаков, когда ДД ЛЖ не может быть определена на ранней стадии и диагностируется преимущественно при тяжелых формах ДД ЛЖ.

С целью повышения диагностической эффективности и надежности определения они разработали алгоритм, базирующийся на концепции комплексной целенаправленной оценки ведущих патофизиологических и гемодинамических механизмов развития и прогрессирования ДД ЛЖ, глобального ремоделирования сердца при ХСН с учетом использования системы ультразвуковой визуализации среднего или экспертного класса (рис. 4).

На основании проведенного исследования установлен комплекс показателей для ДД ЛЖ I и III типов. Для определения риска развития ДД ЛЖ II типа при ХСН разработана балльная шкала. При сумме баллов > 38 предполагался высокий риск развития ДД ЛЖ II типа. В этом случае на следующем этапе предусматривалось дальнейшее применение алгоритма дифференцировки ДД II типа и нормальной ДФ ЛЖ.

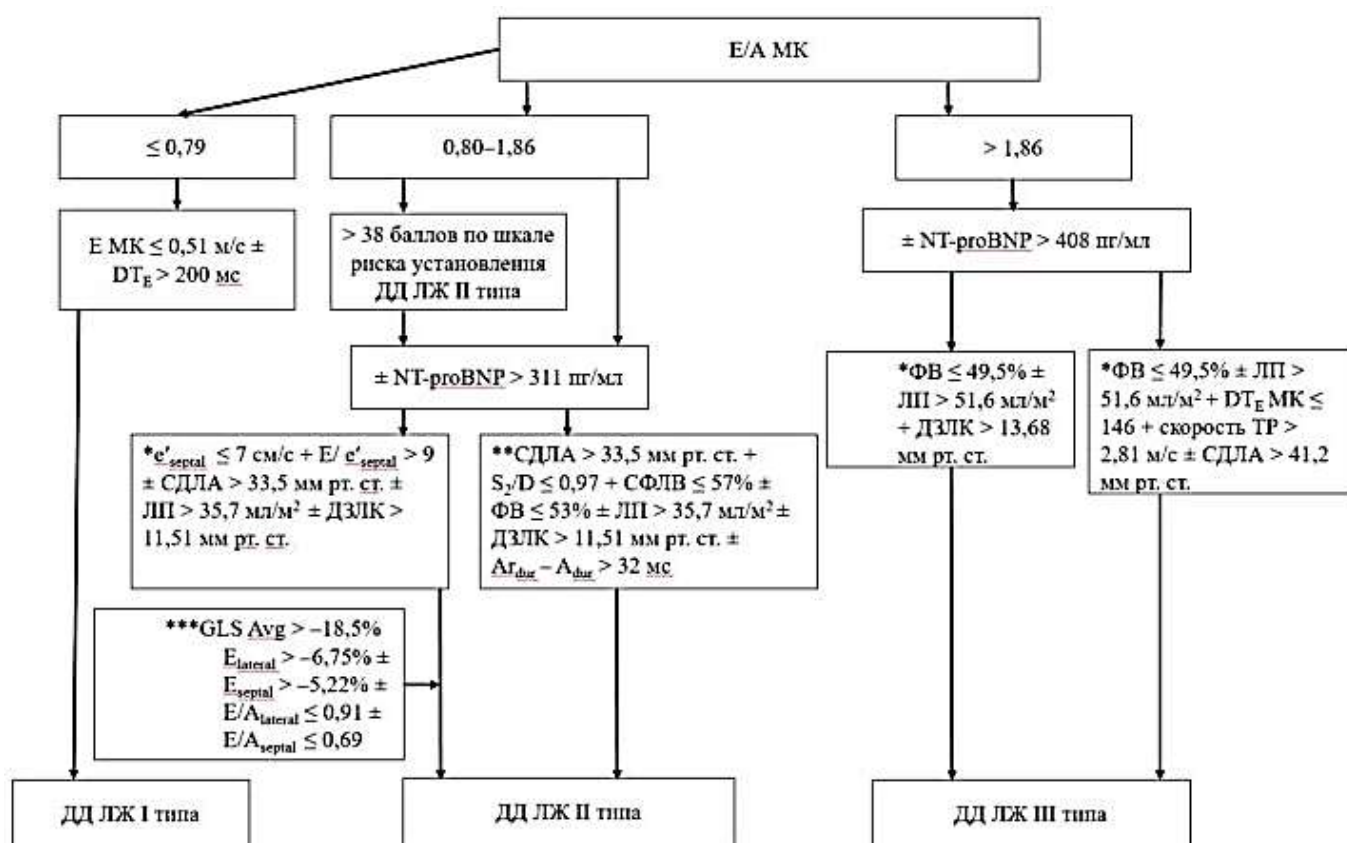


Рис. 4. Алгоритм комплексного определения диастолической дисфункции левого желудочка при сердечной недостаточности [16].

* Система ультразвуковой визуализации экспертного или высокого класса.

** Система ультразвуковой визуализации экспертного класса.

*** Система ультразвуковой визуализации среднего класса.

Примечание. Здесь и в рисунке 5: ДЗЛК — давление заклинивания легочных капилляров, МК — трансмитральный диастолический кровоток, СДЛА — систолическое давление легочной артерии, СФЛВ — систолическая фракция наполнения легочных вен

Впервые были представлены критерии повышенного в покое давления наполнения ЛЖ (рис. 5). Для оценки риска также использовалась балльная шкала. Сумма баллов > 39 указывала на высокий риск наличия у пациента повышенного давления наполнения ЛЖ.



Рис. 5. Алгоритм комплексного определения повышенного в покое давления наполнения левого желудочка [16].

* Система ультразвуковой визуализации экспертного или высокого класса.

** Система ультразвуковой визуализации экспертного класса

В проведенном исследовании новая методика определения ДД ЛЖ показала высокую диагностическую эффективность, поэтому представленный выше алгоритм авторы рекомендуют к применению в комплексной оценке глобальной диастолической и систолической функции обоих желудочков у пациентов с ХСН, выполняемой на ультразвуковых системах, имеющих в своем программном обеспечении режим тканевой доплерографии.

Спекл-трекинг эхокардиография в диагностике диастолической дисфункции левого желудочка

Как было сказано ранее, ТТ-ЭхоКГ считается методом выбора неинвазивной оценки давления наполнения ЛЖ и ДФ. Изменения функциональных параметров ЛП появляются на самой ранней стадии развития ДД ЛЖ, ввиду чего speckle tracking echocardiography, по данным доступной литературы, является одним из эффективных методов для выявления патологических отклонений в области ЛП [17, 18].

Функция ЛП связана с тремя фазами в течение сердечного цикла: 1) фаза накопления во время систолы ЛЖ, когда в ЛП поступает кровь из легочных вен; 2) фаза протекания во время ранней диастолы ЛЖ, осуществляющая функцию «трубопровода» для переноса крови в ЛЖ после открытия митрального клапана за счет градиента давления между полостями; 3) фаза сокращения ЛП с повышением внутрижелудочкового объема и давления, что является важным пусковым фактором для начала систолы ЛЖ [19] (рис. 6). Отметим, что LASr — это основной показатель, он соответствует деформации ЛП в фазу накопления.

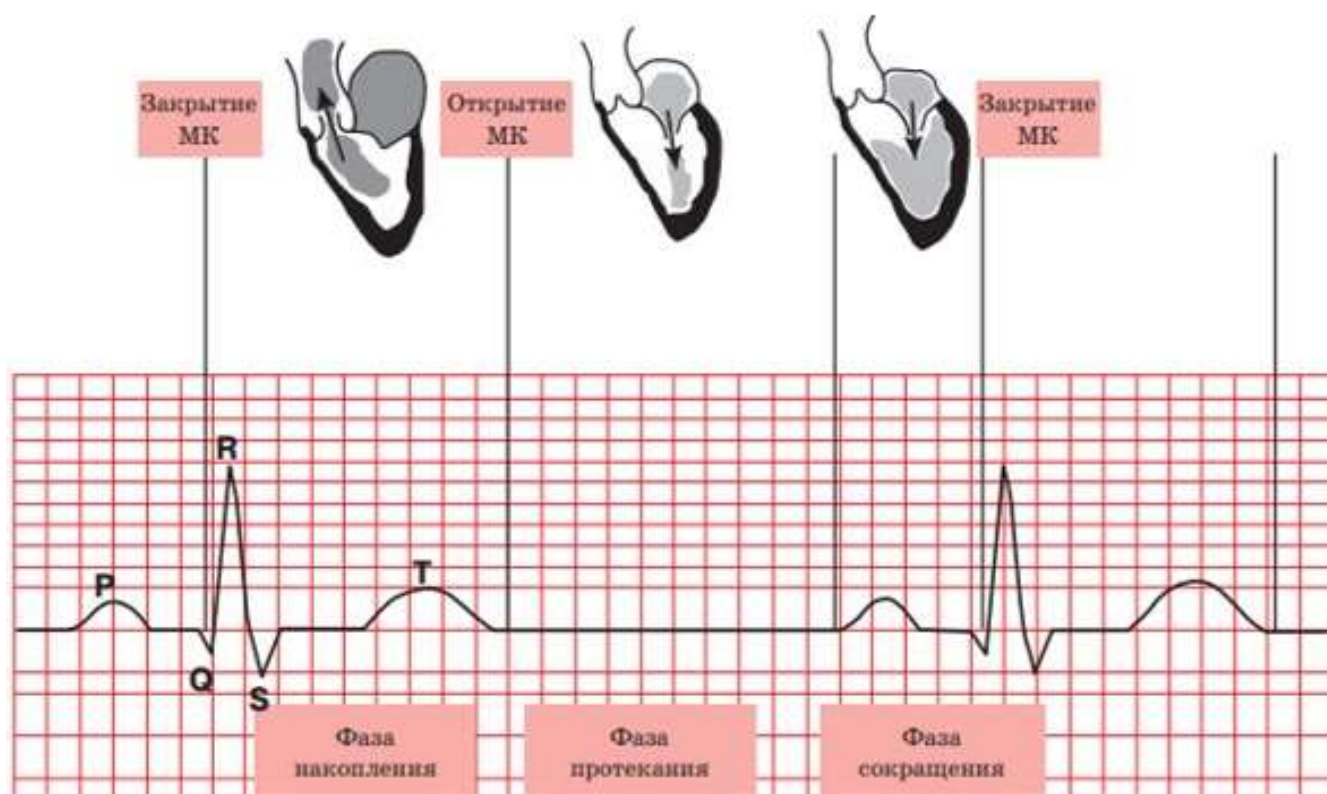


Рис. 6. Фазы механической функции левого предсердия: накопления, протекания, фаза сокращения [18]

1. Dal Canto и соавт. [17] в проведенном метаанализе подчеркивают высокую диагностическую эффективность определения LASr. При анализе показателей деформации ЛП во все три фазы, а также косвенные показатели податливости ЛЖ ($\text{LASr}/E/e'$) и жесткости ЛЖ ($E/e'/\text{LASr}$) наилучшую диагностическую способность продемонстрировал маркер LASr для диагностики давления наполнения ЛЖ в состоянии покоя. При этом сообщалось о чувствительности и специфичности показателя LASr 77% и 93% соответственно. При оценке значимости деформации ЛП в диагностике ДФ ЛЖ показана способность маркера LASr правильно классифицировать пациентов с одышкой в группу СНсФВ с более высокой чувствительностью и специфичностью, чем стандартные эхокардиографические параметры.
2. A. Singh и соавт. [12] в своей работе оценивали возможность использования LASr для диагностики выраженности ДД ЛЖ у пациентов с нормальной ФВ ЛЖ. Результаты были следующими: при $\text{LASr} > 35\%$ выявлялась нормальная ДФ ЛЖ с чувствительностью 90% и специфичностью всего 59%. $\text{LASr} > 24\%$ позволяла дифференцировать пациентов без ДД ЛЖ или с ДД ЛЖ I степени от больных с ДД ЛЖ II степени с чувствительностью 75% и специфичностью 92%. $\text{LASr} \leq 19\%$ характеризовала пациентов с выраженной ДД III степени с чувствительностью 90% и специфичностью 95%.

Несколько исследований показали, что у больных с нормальной ДФ, но имеющих факторы риска, предрасполагающих к развитию ДД, маркер LASr был наиболее чувствительным, подвергающимся ранним изменениям еще до проведения стандартной ТТ-ЭхоКГ диагностики [20–22].

М.Н. Алехин и А.О. Калинин [18] подчеркивали, что LASg является достаточно точным маркером повышенного давления в ЛП. Оценивая этот показатель, они предложили использовать деформацию ЛП в качестве дополнительного критерия к алгоритму ASE/EACVI (2016) для выявления ДД ЛЖ у пациентов с нормальным индексом объема ЛП (рис 7).



Рис. 7. Модифицированный алгоритм выявления диастолической функции левого желудочка у пациентов с нормальной фракцией выброса левого желудочка с использованием деформации левого предсердия при нормальном индексе его объема [18]

О.А. Smiseth и соавт. [23], основываясь на результатах проведенного исследования [24], предложили модифицированный алгоритм оценки давления наполнения ЛЖ (рис. 8). Исходя из того, что современные алгоритмы определения ДД предназначены больше для скрининга, чем для постановки окончательного диагноза, они сделали вывод о том, что если данные ТТ-ЭхоКГ говорят в пользу наличия ДД, то необходимо перейти на следующий этап: оценить давление наполнения ЛЖ с возможностью использования дополнительного критерия — деформации ЛП. В дальнейшем, в соответствии с алгоритмами ASE/EACVI (2016), рекомендуется классифицировать ДД ЛЖ на основе комбинации скоростей митрального кровотока и давления наполнения ЛЖ.

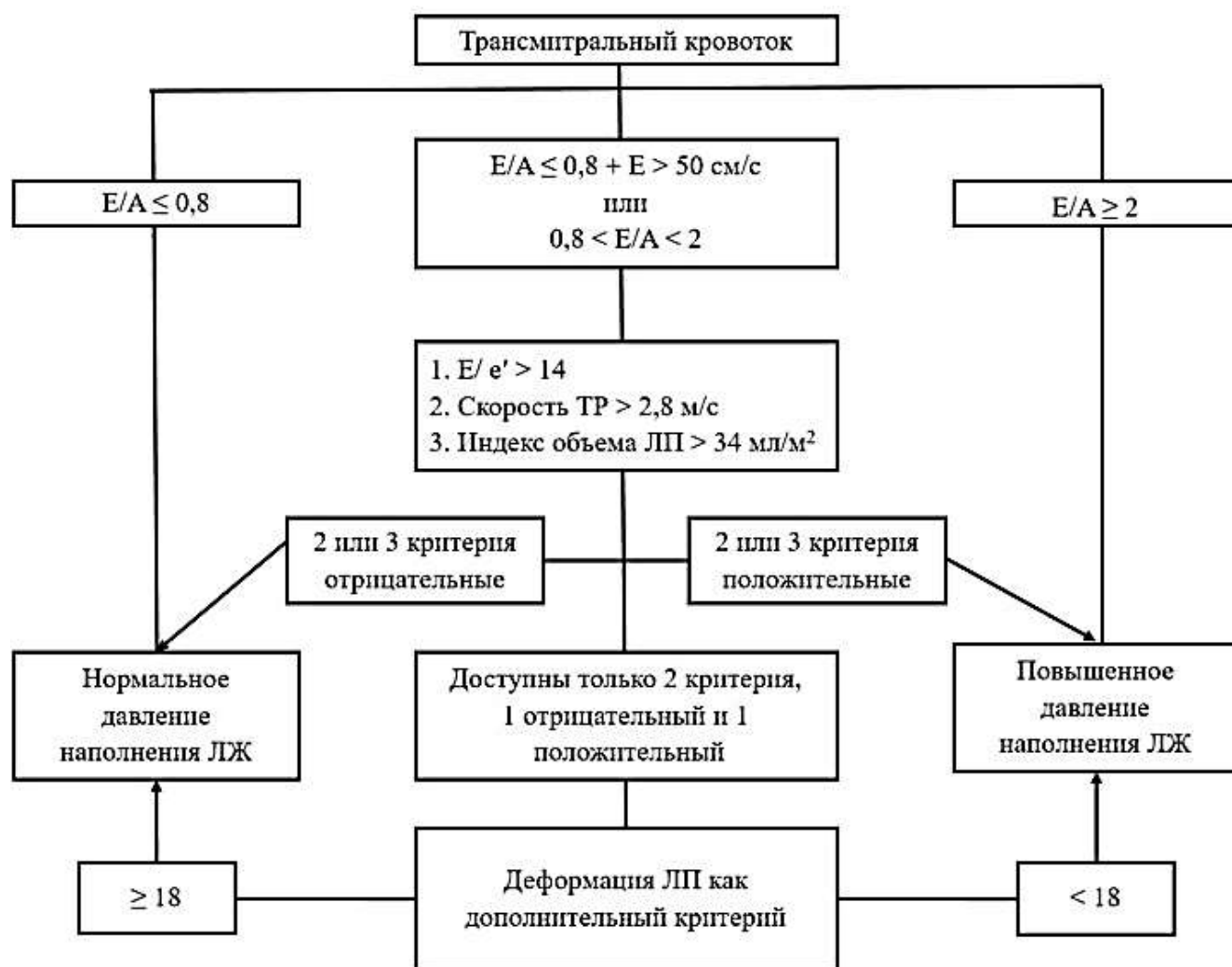


Рис. 8. Модифицированный алгоритм оценки давления наполнения левого желудочка [23]

Таким образом, LASr, отражающая дисфункцию ЛП, может быть использована в качестве раннего маркера диагностики ДД. Определение деформации ЛП можно считать ценным инструментом в диагностике ДД у лиц с повышенным давлением наполнения ЛЖ, а также в классификации стадий ДД у больных, попадающих в неопределенный диапазон по стандартным критериям.

Магнитно-резонансная томография сердца — новый метод в диагностике диастолической дисфункции

ДД часто может быть диагностирована у пациентов с СНсФВ и связана с нарушением активной релаксации и/или жесткостью ЛЖ, что, в свою очередь, приводит к непропорциональному повышению давления наполнения ЛЖ. В последнее десятилетие МРТ сердца стала ценным инструментом в диагностике ДД у лиц с СН. Высокая разрешающая способность МРТ сердца в визуализации сердечной мышцы предоставляет дополнительную информацию к полученной в ходе проведения ТТ-ЭхоКГ, которая имеет преимущество в определении ДД в неясных случаях, в том числе у пациентов с СН [25].

Считается, что при СНсФВ изменения во внеклеточном матриксе с повышенным отложением коллагена являются результатом воспаления и повышенного окислительного стресса. Это

приводит к фиброзированию миокарда с развитием нарушения релаксации и жесткости ЛЖ. Стоит сказать, что МРТ сердца обладает уникальной способностью в выявлении диффузного интерстициального фиброза, связанного с ДД и жесткостью ЛЖ, с помощью параметрического картирования — количественное определение нативного T1 и внеклеточного объема (ECV) [26].

ДД является фактором риска СН и сердечной смертности независимо от ФВ ЛЖ. Связанное с этим повышение давления наполнения ЛЖ приводит к увеличению размера, потере податливости и сократимости ЛП, что можно оценить с помощью деформации стенки ЛП и ФВ ЛП (LA EF). J. Nguyen и соавт. [27] определили взаимосвязь параметров ЛП, оцененных с помощью МРТ сердца, включая максимальный (LAVmax) и минимальный (LAVmin) объем ЛП, LA EF, деформацию ЛП в каждую фазу сердечного цикла, и пришли к выводу, что показатели ЛП тесно коррелируют с ДД и сила корреляции зависит от значений этих параметров.

Полученные результаты подчеркивают важность оценки LAVmin при определении ДД, который превосходит широко используемый LAVmax. Физиологически LAVmin напрямую зависит от давления наполнения ЛЖ во время конца диастолы ЛЖ, в отличие от LAVmax, который преимущественно связан с систолической функцией ЛЖ и податливостью ЛП. При оценке ДФ следует рассматривать именно параметр LAVmin.

1. Ito и соавт. [28] сделали вывод, что среди пациентов с СНсФВ показатель глобальной продольной деформации ЛЖ (GLS) независимо связан с инвазивными показателями релаксации ЛЖ (Tau), отражающими снижение давления в ЛЖ в период релаксации, что может помочь обнаружить ДД при отсутствии явного снижения ФВ ЛЖ у данных пациентов.

Одна из возможностей МРТ сердца позволяет оценить энергетику миокарда путем измерения соотношения уровней фосфокреатина и аденозинтрифосфата (PCr/ATP). В исследовании M. Diamant и соавт. [29] отмечалась корреляция ДД с уровнями фосфокреатина и аденозинтрифосфата у лиц с нарушенным метаболизмом сердца на основании снижения соотношения PCr/ATP у пациентов с СД 2 типа и ДД. M.K. Burrage и соавт. [30] при исследовании пациентов с СНсФВ и ДД также наблюдали снижение соотношения PCr/ATP.

В настоящее время МРТ сердца является методом второй линии после ТТ-ЭхоКГ для визуализации ДФ, поскольку стоимость ее высока и она не распространена повсеместно.

Заключение

Современные методы диагностики диастолической дисфункции с использованием спекл-трекинг ЭхоКГ и МРТ сердца показали высокую эффективность, что позволяет применять их в рутинной практике, в том числе у бессимптомных пациентов на ранних этапах. Однако на сегодняшний день данная проблема не является полностью решенной, в связи с чем для более полного понимания необходимы дальнейшие исследования, включающие большое количество участников, с проспективным и долгосрочным наблюдением.

Литература

1. Nagueh S.F. Left ventricular diastolic function: understanding pathophysiology, diagnosis, and prognosis with echocardiography. JACC Cardiovasc. Imaging. 2020; 13(1 Pt 2): 228–44. DOI: 10.1016/j.jcmg.2018.10.038
2. Nagueh S.F., Appleton C.P., Gillebert T.C., Marino P.N. et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. J. Am. Soc. Echocardiogr. 2009; 22(2): 107–33. DOI: 10.1016/j.echo.2008.11.023

3. Nagueh S.F., Smiseth O.A., Appleton C.P., Byrd B.F. et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2016; 29(4): 277– DOI: 10.1016/j.echo.2016.01.011
4. Мрикаев Д.В. Диастолическая дисфункция левого желудочка у больных с сердечной недостаточностью. *Креативная кардиология.* 2017; 11(2): 145–58. [Mrikaev D.V. Left ventricular diastolic dysfunction in patients with heart failure. *Creative Cardiology.* 2017; 11(2): 145–58. (in Russian)]. DOI: <http://dx.doi.org/10.24022/1997-3187-2017-11-2-145-158>
5. Nagueh S.F., Abraham T.P., Aurigemma G.P., Bax J.J. et al. Diastolic function assessment collaborators. interobserver variability in applying American Society of Echocardiography/European Association of Cardiovascular Imaging 2016 Guidelines for estimation of left ventricular filling pressure. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2019; 12(1): e008122. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.118.008122
6. Sanchis L., Andrea R., Falces C., Poyatos S. et al. Differential clinical implications of current recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2018; 31(11): 1203–8. DOI: 10.1016/j.echo.2018.08.011
7. Мирзоев Н.Т., Кутелев Г.Г., Пугачев М.И., Киреева Е.Б. Сердечно-сосудистые осложнения у пациентов, перенесших COVID-19. *Вестник Российской военно-медицинской академии.* 2022; 24(1): 199–208. [Mirzoev N.T., Kutelev G.G., Pugachev M.I., Kireeva E.B. Cardiovascular complications in patients after coronavirus disease-2019. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy.* 2022; 24(1): 199–208. (in Russian)]. DOI: 10.17816/brmma90733
8. Nauta J.F., Hummel Y.M., van der Meer P., Lam C.S.P. et al. Correlation with invasive left ventricular filling pressures and prognostic relevance of the echocardiographic diastolic parameters used in the 2016 ESC heart failure guidelines and in the 2016 ASE/EACVI recommendations: a systematic review in patients with heart failure with preserved ejection fraction. *Eur. J. Heart Fail.* 2018; 20(9): 1303–11. DOI: 10.1002/ehhf.1220
9. Abergel E., Lafitte S., Mansencal N. Evaluation of left ventricular filling pressure: updated recommendations lack new evidence and have severe interpretation issues. *Arch. Cardiovasc. Dis.* 2018; 111(12): 707–11. DOI: 10.1016/j.acvd.2018.09.002
10. Edvardsen T., Smiseth O.A. Evaluation of diastolic function by echocardiography: important progression, but issues to be resolved. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 19(4): 387–8. DOI: 10.1093/ehjci/jex319
11. Almeida J.G., Fontes-Carvalho R., Sampaio F., Ribeiro J. et al. Impact of the 2016 ASE/EACVI recommendations on the prevalence of diastolic dysfunction in the general population. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 19(4): 380–6. DOI: 10.1093/ehjci/jex252
12. Singh A., Addetia K., Maffessanti F., Mor-Avi V. et al. LA strain for categorization of LV diastolic dysfunction. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2017; 10(7): 735–43. DOI: 10.1016/j.jcmg.2016.08.014
13. Кутелев Г.Г., Мирзоев Н.Т., Иванов В.В., Черкашин Д.В. и др. Клиническое наблюдение новой коронавирусной инфекции с развитием сердечно-сосудистых осложнений на фоне коморбидной патологии. *Доктор.Ру.* 2022; 21(6): 25– [Kutelev G.G., Mirzoev N.T., Ivanov V.V., Cherkashin D.V. et al. Clinical case of the novel coronavirus infection with the development of cardiovascular complications against the background of comorbid pathology. *Doctor.Ru.* 2022; 21(6): 25–8. (in Russian)]. DOI: 10.31550/1727-2378-2022-21-6-25-28
14. Oh J.K., Miranda W.R., Bird J.G., Kane G.C. et al. The 2016 diastolic function guideline: is it already time to revisit or revise them? *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2020; 13(1 Pt 2): 327–35. DOI: 10.1016/j.jcmg.2019.12.004
15. Prasad S.B., Guppy-Coles K.B., Holland D.J., Whalley G. et al. Hemodynamic and prognostic validation of novel combined algorithm to assess diastolic function and filling pressures. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2020; 13(10): 2275–6. DOI: 10.1016/j.jcmg.2020.06.046

16. Жерко О.М., Михайлов А.Н., Шкребнева Э.И., Олиферко Н.П. Диагностическая эффективность нового метода определения диастолической дисфункции левого желудочка при сердечной недостаточности. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия медицинских наук. 2021; 18(3): 292–303. [Zherko O.M., Mikhailov A.N., Shkrebneva E.I., Oliferko N.P. Diagnostic efficiency of a new method for determining the left ventricular diastolic dysfunction in heart failure. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Medical series. 2021; 18(3): 292–303. (in Russian)]. DOI: 29235/1814-6023-2021-18-3-292-303
17. Dal Canto E., Remmelzwaal S., van Ballegooijen A.J., Handoko M.L. et al. Diagnostic value of echocardiographic markers for diastolic dysfunction and heart failure with preserved ejection fraction. *Heart Fail. Rev.* 2022; 27(1): 207–18. DOI: 10.1007/s10741-020-09985-1
18. Алехин М.Н., Калинин А.О. Диастолическая функция левого желудочка: значение глобальной продольной деформации левого предсердия. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2020; 3: 91–104. [Alekhin M.N., Kalinin A.O. Left ventricular diastolic function: value of left atrial global longitudinal strain. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2020; 3: 91–104. (in Russian)]. DOI: 10.24835/1607-0771-2020-3-91-104
19. Lundberg A., Johnson J., Hage C., Bäck M. et al. Left atrial strain improves estimation of filling pressures in heart failure: a simultaneous echocardiographic and invasive haemodynamic study. *Clin. Res. Cardiol.* 2019; 108(6): 703–15. DOI: 10.1007/s00392-018-1399-8
20. Braunauer K., Pieske-Kraigher E., Belyavskiy E., Aravind-Kumar R. et al. Early detection of cardiac alterations by left atrial strain in patients with risk for cardiac abnormalities with preserved left ventricular systolic and diastolic function. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 34(5): 701–11. DOI: 10.1007/s10554-017-1280-2
21. Cameli M., Mandoli G.E., Lisi E., Ibrahim A. et al. Left atrial, ventricular and atrio-ventricular strain in patients with subclinical heart dysfunction. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2019; 35(2): 249–58. DOI: 10.1007/s10554-018-1461-7
22. Цветков В.А., Крутиков Е.С., Чистякова С.И. Субклиническая дисфункция левого желудочка у больных сахарным диабетом 2 типа. Проблемы эндокринологии. 2020; 66(1): 56–63. [Tsvetkov V.A., Krutikov E.S., Chistyakova S.I. Subclinical left ventricular dysfunction in patients with type 2 diabetes mellitus. *Problems of Endocrinology.* 2020; 66(1): 56–63. (in Russian)]. DOI: 10.14341/probl12359
23. Smiseth O.A., Morris D.A., Cardim N., Cikes M. et al. Multimodality imaging in patients with heart failure and preserved ejection fraction: an expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2022; 23(2): e34–61. DOI: 10.1093/ehjci/jeab154
24. Inoue K., Khan F.H., Remme E.W., Ohte N. et al. Determinants of left atrial reservoir and pump strain and use of atrial strain for evaluation of left ventricular filling pressure. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2021; 23(1): 61–70. DOI: 10.1093/ehjci/jeaa415
25. Ramos J.G., Fyrdahl A., Wieslander B., Thalén S. et al. Comprehensive cardiovascular magnetic resonance diastolic dysfunction grading shows very good agreement compared with echocardiography. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2020; 13(12): 2530–42. DOI: 10.1016/j.jcmg.2020.06.027
26. Lau C., Elshibly M.M., Kanagala P., Khoo J.P. et al. The role of cardiac magnetic resonance imaging in the assessment of heart failure with preserved ejection fraction. *Front. Cardiovasc. Med.* 2022; 9: 922398. DOI: 10.3389/fcvm.2022.922398
27. Nguyen J., Weber J., Hsu B., Mulyala R.R. et al. Comparing left atrial indices by CMR in association with left ventricular diastolic dysfunction and adverse clinical outcomes. *Sci. Rep.* 2021; 11(1): 21331. DOI: 10.1038/s41598-021-00596-w
28. Ito H., Ishida M., Makino W., Goto Y. et al. Cardiovascular magnetic resonance feature tracking for characterization of patients with heart failure with preserved ejection fraction: correlation of global longitudinal strain with invasive diastolic functional indices. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2020; 22(1): 42. DOI: 10.1186/s12968-020-00636-w

29. Diamant M., Lamb H.J., Groeneveld Y., Endert E.L. et al. Diastolic dysfunction is associated with altered myocardial metabolism in asymptomatic normotensive patients with well-controlled type 2 diabetes mellitus. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2003; 42(2): 328–35. DOI: 10.1016/s0735-1097(03)00625-9
30. Burrage M.K., Hundertmark M., Valkovič L., Watson W.D. et al. Energetic basis for exercise-induced pulmonary congestion in heart failure with preserved ejection fraction. *Circulation.* 2021; 144(21): 1664–78. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.121.054858