

# Эволюция подходов к эхокардиографической оценке диастолической функции

В.В. Степанова<sup>1,2</sup>, С.Ю. Бартош-Зеленая<sup>1</sup>, В.И. Новиков<sup>1</sup>, Т.В. Найден<sup>1</sup>, Д.С. Сазонова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Северо-Западный университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> СПб ГБУЗ Городская больница № 40 Курортного района, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Городская клиническая больница № 31, Санкт-Петербург, Россия

## РЕЗЮМЕ

Эхокардиографическая (ЭхоКГ) оценка диастолической функции (ДФ) левого желудочка (ЛЖ) в клинической практике остается сложной задачей. Применение предложенного актуальными рекомендациями алгоритма (ASE/EACVI, 2016), предполагающего оценку трансмитрального потока, тканевых доплеровских скоростей движения миокарда, индекса максимального объема левого предсердия (ИоЛП) и скорости струи трикуспидальной регургитации (ТР), приводит к тому, что наличие и тяжесть диастолической дисфункции (ДДФ) ЛЖ остаются неопределенными у значительной части пациентов. Индекс объема левого предсердия безусловно является маркером длительности существования и тяжести ДДФ ЛЖ, однако он не может служить единственным параметром для диагностики ранних фаз диастолической дисфункции ЛЖ, до формирования ремоделирования левого предсердия (ЛП). Определение функции ЛП является важной частью при оценке ДФ ЛЖ и сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса (СНсФВ). Поскольку основной функцией ЛП является модуляция наполнения ЛЖ, логично, что на самых ранних стадиях ДДФ ЛЖ, сначала появляются именно функциональные изменения ЛП. Исследование функции ЛП может быть полезным не только для диагностики ДДФ ЛЖ, но и для оценки степени ее тяжести, а также и для мониторинга эффективности лечения. В настоящей статье рассматривается эволюция подходов к оценке ДФ ЛЖ, а также обосновывается ключевая роль показателей ЛП в оценке ДДФ ЛЖ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса, левое предсердие, диастолическая дисфункция левого желудочка, фазовая функция, спекл-трекинг-эхокардиография, индекс объема левого предсердия, стрейн резервуара, стрейн кондукта, стрейн сокращения.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Evolution of approaches to echocardiographic assessment of diastolic function

V.V. Stepanova<sup>1,2</sup>, S.Yu. Bartosh-Zelenaya<sup>1</sup>, V.I. Novikov<sup>1</sup>, T.V. Nayden<sup>1</sup>, D.S. Sazonova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> City Hospital No. 40, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> North-Western State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> St. Petersburg City Clinical Hospital No. 31, St. Petersburg, Russia

## SUMMARY

Echocardiographic (EchoCG) assessment of LV DF remains a complex difficult task. The application of the algorithm proposed by current guidelines (ASE/EACVI, 2016), which involves the assessment of transmitral flow, tissue Doppler myocardial velocities, LA maximum volume index, LAVI, and tricuspid regurgitation (TR) velocity, leads to the fact that the presence and severity of LV diastolic dysfunction (DDF) remain uncertain in a significant proportion of patients. The maximum LAVI index is certainly a marker of the duration and severity of LV DDF, but it cannot serve as the only parameter for diagnosing early phases of LV DDF, before the formation of LA remodeling. Left atrial (LA) function assessment is an important part of the left ventricular (LV) diastolic dysfunction (DF) the assessment and heart failure with preserved ejection fraction. Since the main function of the LA is to modulate LV filling, it is logical that at the earliest stages of LV DDF, LA functional changes first appear. LA function testing may be useful not only for diagnosing LV DDF, but also for assessing its severity and monitoring treatment effectiveness. In this review the evolution of approaches to assessing LV DF, as well as the key role of LA parameters in assessing LV DDF are considered.

**KEYWORDS:** heart failure with preserved ejection fraction, left atrium, left ventricular diastolic dysfunction, phasic function, speckle-tracking echocardiography, left atrial volume index, strain during reservoir, conduit, contraction phase.

**CONFLICT OF INTEREST.** The authors declare that they have no conflicts of interest.

## Введение

### Определение и механизмы диастолической дисфункции

Диастолическая функция сердца заключается в способности желудочков увеличиваться в большей или меньшей степени под влиянием определенного давления наполнения, что напрямую связано с растяжимостью желудочков (с точки зрения гемодинамики – показатель  $\Delta V/\Delta P$ , определяемый только инвазивным способом).

Под термином «релаксация» понимают процесс активного удлинения мышечных волокон после завершения их сокращения вследствие изменения направления трансмембранного тока ионов, результатом которого является увеличение полости желудочка в фазу быстрого наполнения и всасывание крови в его полость.

Помимо растяжимости к пассивным диастолическим свойствам, определяющим жесткость стенок желудочков, относятся толщина стенки, содержание фиброзных

волокон, индивидуальные физические характеристики миокарда и пр. От данных свойств зависит большее или меньшее поступление крови в желудочек во время систолы предсердий [1].

Клиническое значение диастолической дисфункции (ДДФ) относительно меньше, чем систолической, а оценка диастолической функции выполняется не всегда. Однако, диастолическая функция (ДФ), которая состоит в способности желудочков наполняться кровью, является важной составляющей для полноценной работы сердца, поскольку желудочек, набравший мало крови, не сможет выбросить ее много. Результатом может быть развитие сердечной недостаточности с сохраненной ФВ (СНсФВ). Поэтому диастолическую функцию обязательно следует оценивать у пациентов с сердечной недостаточностью или с подозрением на СН.

Согласно определению, ASE/EACVI (2016) и BSE (2022) под термином «диастолическая дисфункция» подразумевают ситуацию, когда достаточное поступление крови в желудочек для получения адекватного ударного объема в покое или во время нагрузки требует аномального повышения диастолического давления наполнения.

К основным механизмам ДДФ традиционно относят:

- нарушение релаксации миокарда из-за недостаточного удаления сарколеммального  $Ca^{2+}$ ,
- снижение эластичности и увеличение жесткости левого желудочка (ЛЖ) вследствие его ремоделирования,
- снижение способности ЛЖ к расслаблению.

Два фундаментальных параметра ДФ ЛЖ (константа времени релаксации и константа жесткости камеры) определяются инвазивным способом (катетерная манометрия, кондуктометрия).

Термин «давление наполнения левого желудочка» часто используется, но может относиться к нескольким различным показателям диастолического давления в ЛЖ и левом предсердии (ЛП). К ним относятся среднее давление заклинивания в легочных капиллярах (ДЗЛК), среднее давление в левом предсердии (ДЛП), давление пре-А в ЛЖ, среднее диастолическое давление в ЛЖ и конечно-диастолическое давление в ЛЖ (КДД ЛЖ). На ранних стадиях диастолической дисфункции КДД ЛЖ является единственным аномально повышенным показателем, в то время как среднее ДЗЛК и ДЛП остаются в пределах нормы. При тахикардии и/или увеличении постнагрузки или внутрисосудистого объема среднее ДЗЛК и ДЛП увеличиваются, что положено в основу диастолического стресс-тестирования (инвазивного и неинвазивного). Некоторые доплеровские показатели коррелируют с увеличением КДД ЛЖ (скорость пика А трансмитрального потока, скорость  $A_g$  в легочных венах, разность продолжительности пиков А и  $A_g$ , деформация ЛП в фазу сокращения), в то время как другие отражают увеличение среднего ДЛП (скорость пика Е трансмитрального потока, соотношения  $E/A$ ,  $E/e'$ ).

В ответ на нарушение диастолической функции обычно наблюдается компенсаторное повышение давления наполнения ЛЖ как механизм поддержания ударного объема в соответствии с законом Франка – Старлинга.

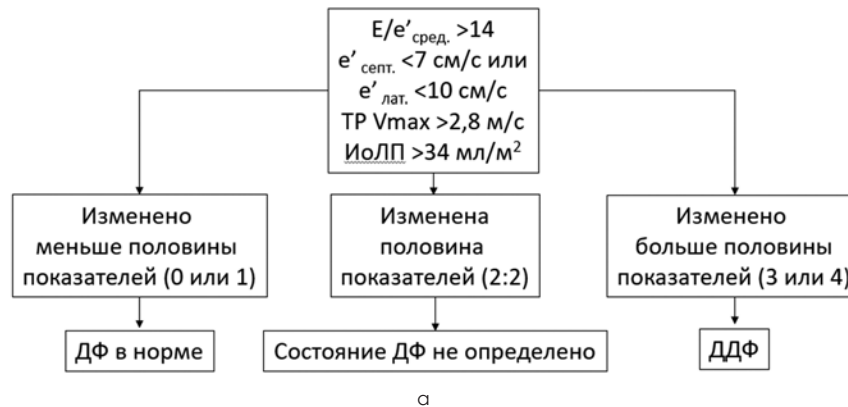
### Эхокардиографические параметры диастолической дисфункции левого желудочка

Определение диастолической функции является неотъемлемой частью эхокардиографического (ЭхоКГ) исследования, особенно у пациентов с симптомами сердечной недостаточности. Для стандартизации оценки диастолической функции рабочая группа Американского общества эхокардиографии (American Society of Echocardiography, ASE) / Европейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации (European Association of Cardiovascular Imaging, EACVI) опубликовали рекомендации в 2009 и 2016 годах [2]. В рекомендациях 2009 года было перечислено 9 параметров ДФ ЛЖ в 3 алгоритмах ( $E/e'$ , индекс объема левого предсердия, ИоЛП, разность продолжительности волны А трансмитрального потока и ретроградной предсердной волны  $A_g$  в легочной вене, соотношение пиков  $E/A$ , в том числе при пробе Вальсальвы, время замедления кровотока  $Tdec$ , систолическое давление в легочной артерии, отношение времени изоволюметрического расслабления  $IVRT$  к  $TE-e'$ , соотношение систолического и диастолического пиков  $S/D$  в легочных венах). В руководстве 2016 года был представлен более упрощенный подход с использованием 2-х отдельных алгоритмов и рекомендовано 4 основных параметра для первоначальной оценки: ранняя диастолическая скорость движения митрального кольца ( $e'$ ), соотношение между ранней диастолической скоростью трансмитрального потока (Е) и  $e'$  ( $E/e'$ ), индекс объема левого предсердия (ИоЛП) и максимальная скорость струи трикуспидальной регургитации ( $V_{max_{TP}}$ ).

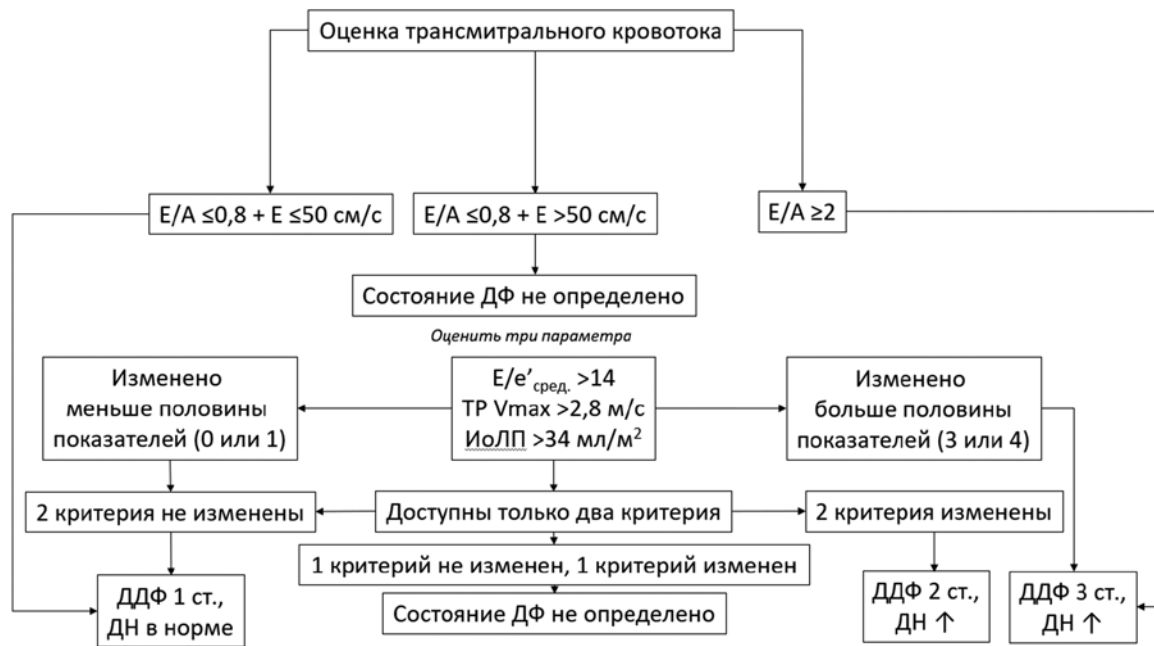
Первый алгоритм рекомендован к применению у пациентов с сохраненной фракцией выброса (ФВ) левого желудочка ( $\geq 50\%$ ) и без структурных изменений сердца с неизвестной диастолической функцией, в первую очередь, для разделения нормальной и нарушенной диастолической функции, чтобы не пропустить диастолическую СН.

Второй алгоритм предложен для пациентов со сниженной ФВ ЛЖ ( $< 50\%$ ) либо для лиц со структурным заболеванием сердца (в том числе с нормальной ФВ). У этой группы пациентов следует считать, что нарушение диастолической функции присутствует в любом случае, и следует оценить степень ее нарушения. Ведущим разграничением в данном случае является давление наполнения, которое остается нормальным при легкой диастолической дисфункции и значительно повышается при тяжелой ДДФ (рис. 1).

У отдельных пациентов, направленных на катетеризацию сердца, оценка давления наполнения в соответствии с рекомендациями 2016 года оказалась надежной, а межисследовательская вариабельность была превосходной [3]. Однако его чувствительность для выявления ДДФ (особенно 1-й степени) заметно снизилась. Так, Almeida et al. (2018) показали, что частота ДДФ на 1000 человек (средний возраст 62 года) составила 1,4% по критериям рекомендаций 2016 года по сравнению с 38,1% по параметрам, рекомендованным в 2009 году.



а



б

Рисунок 1. Алгоритмы оценки диастолической функции левого желудочка, согласно рекомендациям ASE/EACVI (2016): а – для пациентов с нормальной фракцией выброса, б – для пациентов со сниженной фракцией выброса. E – ранняя диастолическая скорость трансмитрального потока, A – поздняя диастолическая скорость трансмитрального потока, e' – ранняя диастолическая скорость движения митрального кольца, TR Vmax – максимальная скорость струи трикуспидальной регургитации, IoЛП – индекс объема левого предсердия, ДФ – диастолическая функция, ДДФ – диастолическая дисфункция, ДН – давление наполнения

Согласно рекомендациям 2016 года, решение о наличии ДДФ следует принимать, основываясь не только на данных визуализации, но и на клинических данных. Однако лица с предрасполагающими к ДДФ факторами (артериальная гипертензия, сахарный диабет, ишемическая болезнь сердца и др.) могут иметь нормальную диастолическую функцию, особенно в молодом возрасте.

Ряд авторов отмечают следующие нюансы обновленных в 2016 году рекомендаций. В алгоритме для пациентов с сохраненной фракцией выброса ЛЖ критерии нормальной диастолической функции могут быть отнесены как к истинно нормальной ДФ, так и к пациентам с замедленной релаксацией миокарда и нормальным давлением наполнения, ранее классифицированных как дисфункция 1 степени. Дело в том, что эксперты ASE/EACVI, основываясь на данных исследования NORRE, приняли

диастолический паттерн с замедленной релаксацией ЛЖ в старшей возрастной группе за нормальный, при условии отсутствия фонового заболевания, предрасполагающего к ДДФ (рис. 2) [4].

У многочисленной подгруппы пациентов с СНсФВ диастолическое давление наполнения увеличивалось только при нагрузке (рис. 3). У этих пациентов единственным отклонением от нормы в состоянии покоя может быть снижение скорости e' с паттерном 1 степени ДДФ, но может быть классифицировано как нормальная ДФ. Более того, молодые пациенты с ранней стадией кардиомиопатии могут быть классифицированы в группу нормальной ДФ при наличии явной дисфункции 1 степени [5]. Проведение диастолического стресс-теста обосновано при одышке и легкой ДДФ, когда присутствует замедление релаксации, а давление наполнения в норме. В данной ситуации

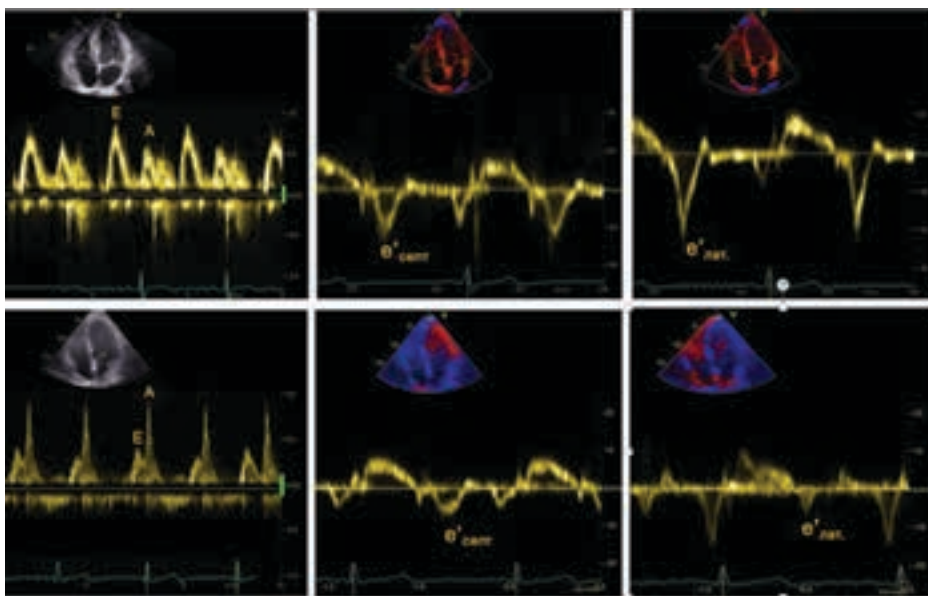


Рисунок 2. Два варианта спектра трансмитрального кровотока, движения митрального кольца при нормальной диастолической функции, согласно рекомендациям ASE/EACVI (2016). Вверху: эхограммы здорового 28-летнего пациента с соотношением E/A 1,3; e'сред. 16 см/с и E/e'сред. 5,6. Внизу: эхограммы 65-летней бессимптомной пациентки с соотношением E/A 0,45 и нарушенной релаксацией e'сред. 6 см/с и E/e'сред. 7,5

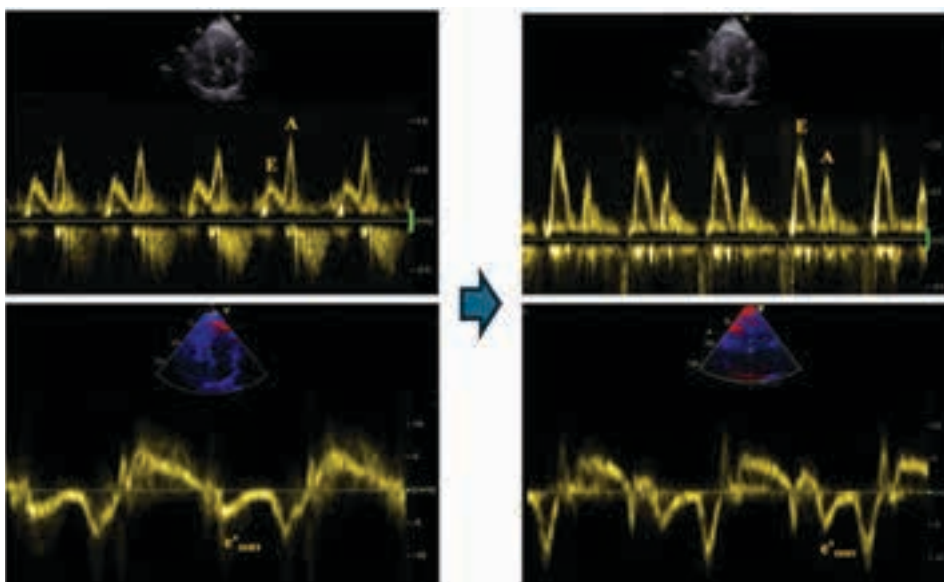


Рисунок 3. Спектры трансмитрального кровотока и движения митрального кольца в покое (слева) и при нагрузке (справа). Соотношение E/e' увеличилось с 9,4 до 17 с минимальным увеличением скорости e', что указывает на выраженное повышение давления наполнения при нагрузке

давление наполнения может повыситься на фоне нагрузки. По данным ASE (2025), диагностировать ДДФ по результатам стресс-теста можно при изменении всех перечисленных ниже параметров:

- $E/e'_{\text{сред.}} > 14$  (или  $E/e'_{\text{септ.}} > 15$ );
- $V_{\text{TPmax}} > 320$  см/с.

Напротив, диастолическую функцию следует считать нормальной, если при нагрузке  $V_{\text{TPmax}} < 280$  см/с и  $E/e'_{\text{сред.}}$  (или  $E/e'_{\text{септ.}}$ )  $< 10$ .

Кроме того, наличие у пациента трех из 4 параметров (увеличение E/e', ИоЛП и TP Vmax) в 1-м алгоритме клас-

сифицируется как ДДФ, тогда как данная ситуация ассоциируется также и с повышенным давлением наполнения ЛЖ.

В литературе также приводятся примеры ложноположительной диагностики ДДФ в некоторых группах пациентов. В рекомендациях 2016 года риск гипердиагностики ДДФ отмечен лишь для молодых лиц с соотношением E/A  $> 2$ . В таких случаях предложено основываться на значениях скорости e' [3]. Oh J.K. et al. (2019) полагают, что более надежно и стандартизировано определять основной компонент ДДФ как сниженную или нарушенную релаксацию

миокарда, используя скорость  $e'$  митрального кольца в качестве скринингового показателя у большинства пациентов без перечисленных ниже исключений [5].

В обоих алгоритмах предложено использовать среднее значение скорости  $e'$  медиальной и латеральной частей митрального кольца, поскольку они могут значительно различаться в определенных ситуациях, таких как, к примеру, блокада левой ножки пучка Гиса, нарушения локальной сократимости или значительная дисфункция правого желудочка (как при первичной легочной гипертензии). Однако, в большинстве других клинических ситуаций нет доказательств того, что усреднение скоростей  $e'$  обеспечивает более надежную оценку диастолической функции. Измерение септальной скорости  $e'$  более корректно в связи с почти параллельной ориентацией ультразвукового луча и также рекомендуется для измерения при фибрилляции предсердий или констриктивном перикардите. Более того, в исследовании TOPCAT (2014) было обнаружено, что именно увеличение соотношения  $E/e'_{\text{септ.}}$  связано с неблагоприятным исходом, тогда как  $E/e'_{\text{лат.}}$  в исследовании I-Preserve (2015) не различались у госпитализированных и не госпитализированных пациентов с СНсФВ [6, 7].

С учетом сказанного выше, Oh J.K. et al. (2019) предложили объединить два алгоритма, содержащихся в рекомендациях 2016 г. со следующими изменениями (рис. 4) [5]:

1. Первоначальная оценка, основанная на 4 параметрах ( $e'_{\text{септ.}}$ ,  $E/e'$ , ИоЛП и TP Vmax), направлена на определение диастолического давления наполнения, а не на разграничение нормальной или нарушенной диастолической функции. Если 3 или более параметров в норме, давление наполнения следует считать нормальным, если же 3 или более параметров отклонены от нормы, давление наполнения повышено.

2. После оценки давления наполнения градация ДДФ основана на соотношении  $E/A$ . Нормальная ДФ или 1 степень диастолической дисфункции устанавливается при нормальном давлении наполнения при  $E/A > 0,8$  и  $\leq 0,8$ , соответственно, а степень 2 или 3 ДДФ – при повышенном давлении наполнения и  $E/A < 2$  и  $\geq 2$ , соответственно.

3. Если диастолическая функция не определена на основании 4-х указанных в п. 1 параметров, следует использовать дополнительные параметры, включая скорость потока в легочных венах, время изоволюметрического расслабления, проведение пробы Вальсальвы или оценку деформации миокарда ЛП.

4. Одной из основных причин неопределенной оценки ДФ является несоответствие между ее параметрами. Наиболее противоречивой является оценка ИоЛП, который может быть увеличен у здоровых лиц с высоким ударным объемом, например, у спортсменов. Было показано, что при нормализации давления в левом предсердии значения  $E/e'$  и деформация левого предсердия также нормализуются, тогда как ИоЛП остается повышенным [6]. Singh A. с соавт. (2017) установили, что систолическая деформация ЛП постепенно снижается по мере ухудшения диастолической функции [7]. Thomas L. et al. (2019) предложили оптимизировать оценку диастолической функции, исключив ИоЛП или используя вместо него деформацию левого предсердия [8].

Представленный алгоритм не может быть применим у пациентов с кальцификацией митрального кольца, блокадой левой ножки пучка Гиса, нарушениями локальной сократимости или выраженной первичной легочной гипертензией. Данный алгоритм предназначен для большинства пациентов без заболеваний, влияющих на скорость движе-



Рисунок 4. Унифицированный алгоритм оценки диастолической функции и давления наполнения (Oh J.K. с соавт., 2019). E – ранняя диастолическая скорость трансмитрального потока, A – поздняя диастолическая скорость трансмитрального потока,  $e'$  – ранняя диастолическая скорость движения митрального кольца, TP Vmax – максимальная скорость струи трикуспидальной регургитации, ИоЛП – индекс объема левого предсердия, ДФ – диастолическая функция, ДДФ – диастолическая дисфункция, ДН – давление наполнения, ЛВ – легочные вены, IVRT – время изоволюметрического расслабления, LAS – деформация левого предсердия

ния митрального кольца, не обусловленных непосредственно дисфункцией ЛЖ. Для последних оценка диастолической функции и давления наполнения должна основываться на соотношении E/A, времени изоволюметрического расслабления, скорости TP, спектре кровотока легочных венах, деформации левого предсердия и результатах пробы Вальсальвы [2, 7]. Приведенный алгоритм также может быть использован у пациентов с фибрилляцией предсердий для оценки давления наполнения, но не для градации ДДФ, с другим пороговым значением E/e', равным 11.

Эксперты Американского общества эхокардиографии (American Society of Echocardiography, 2025) подчеркнули, что ЭхоКГ-оценка ДФ не должна основываться на каком-то одном параметре и предложили пошаговый подход к оценке давления наполнения и нарушения релаксации ЛЖ:

1. Оценка параметров релаксации ЛЖ по значению e' (нарушение релаксации констатируется при  $e'_{\text{септ.}} \leq 6$  см/с или  $e'_{\text{лат.}} \leq 7$  см/с или  $e'_{\text{сред.}} \leq 6,5$  см/с)
2. Оценка параметров ремоделирования ЛП и ЛЖ и повышения ДЛП (повышенное ДЛП отмечают при  $E/e'_{\text{сред.}} > 14$ ,  $LASr \leq 18\%$ ,  $E/A \leq 0,8$  или  $\geq 2$ ,  $ИоЛП > 34$  мл/м<sup>2</sup>).
3. Вывод о наличии ДДФ при:
  - а. Снижении e' и наличии 1 и более изменений из п. 2
  - б. Отсутствие снижения e' и наличии 2 и более изменений из п. 2.

### Фазовый анализ функции левого предсердия

Остановимся подробнее на оценке функции ЛП, фигурирующей на 2-м этапе алгоритма, предложенного ASE (2025). Возможности speckle-tracking эхокардиографии (STE) позволяют не только оценивать движения желудочков, но также измерять параметры деформации предсердий [10, 11]. Однако есть ряд особенностей иссле-

дования предсердий методом STE по сравнению с оценкой желудочков, которые связаны с различиями в строении этих камер сердца. Для предсердий характерна меньшая толщина миокарда, отсутствие строгой ориентации пучков, контур эндокарда нечеткий и прерывистый, межпредсердная перегородка неоднородная [11]. По этой причине рекомендуется оценивать деформацию предсердий только в продольном направлении без анализа по сегментам.

Таким образом, основным параметром деформации ЛП является глобальная продольная деформация [10]. Ее значение изменяется в тесной связи с механической функцией ЛП. Фаза накопления, также называемая фазой резервуара (англ. reservoir phase), начинается в конце диастолы желудочков с закрытия митрального клапана и продолжается до его открытия. В эту фазу наблюдается удлинение предсердия в продольном направлении с увеличением показателя его деформации – стрейна резервуара (англ. left atrial strain during reservoir phase, LASr). Затем наступает фаза кондукта (англ. conduit phase), длящаяся от момента открытия митрального клапана до начала сокращения ЛП при синусовом ритме. Во время фазы кондукта происходит укорочение ЛП со снижением деформации – стрейна кондукта (англ. left atrial strain during conduit phase, LAScd). Последующую фазу называют фазой сокращения (англ. contraction phase), она начинается с начала сокращения ЛП до начала диастолы желудочков и также характеризуется укорочением предсердия и снижением соответствующего параметра деформации – стрейна сокращения (англ. left atrial strain during contraction phase, LASct). На кривой деформации ЛП эти фазы отображаются в виде 3 пиков, при этом числовое выражение показателя LASr является положительным, тогда как параметры LAScd и LASct отрицательные (рис. 5) [9]. В большинстве случаев определяют пиковую глобальную продольную деформацию ЛП, соответствующую деформации в фазу резервуара [10, 11].

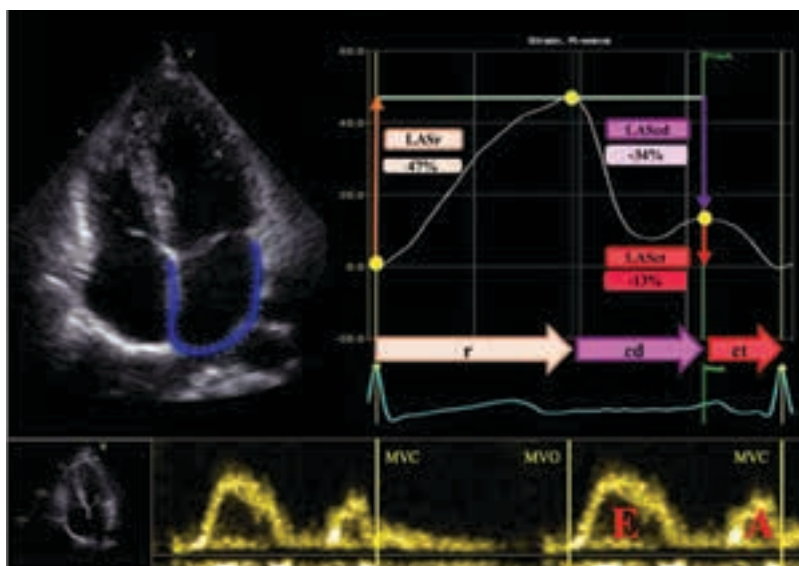


Рисунок 5. Оценка деформации левого предсердия с нулевым стрейном в конце диастолы (рекомендовано). В обоих случаях требуются три точки оценки (желтые точки) для вычисления деформации во время трех фаз цикла левого предсердия: r – фаза резервуара; cd – фаза кондукта; ct – фаза сокращения. MVO – открытие митрального клапана; MVC – закрытие митрального клапана; E, A – E- и A-волны митрального притока, LASr – стрейн левого предсердия в фазу резервуара, LAScd – стрейн левого предсердия в фазу кондукта, LASct – стрейн левого предсердия в фазу сокращения

Еще одним параметром, характеризующим функциональное состояние и структуру ЛП, является его жесткость. Жесткость ЛП определяется как отношение  $E/e'$  к продольному стрейну ЛП в фазу резервуара [12].

Для широкого использования STE левого предсердия в клинической практике и в научных исследованиях была признана необходимость стандартизации параметров деформации ЛП, в связи с чем проведены исследования с определением параметров деформации ЛП у здоровых лиц.

По данным мета-анализа F. Pathan и соавт. (2017), включившего 40 исследований и 2542 испытуемых, референсные диапазоны средних значений показателей деформации ЛП у здоровых лиц составили: стрейн резервуара, LASr – 39,4% (95% ДИ 38,0 – 40,8%), стрейн сокращения, LASct – 17,4% (95% ДИ 16,0 – 19,0%), стрейн кондуита, LAScd – 23,0% (95% ДИ 20,7 – 25,2%). Показано влияние частоты сердечных сокращений (ЧСС) и площади поверхности тела на гетерогенность полученных результатов [13].

По данным исследования A.B. Nielsen et al. (2021), в котором приняли участие 1641 здоровый доброволец, диапазон средних значений показателей деформации ЛП у здоровых лиц следующие: LASr – 39,4% (23,0–67,6%), LASct – 15,5% (6,4–28,0%), LAScd – 23,7% (8,8–44,8%) [14].

Авторами этой статьи также были рассчитаны средние значения деформации ЛП в 2D и 4D режимах у здоровых лиц молодого возраста (18-44 лет, ВОЗ) в группе численностью 25 человек (табл. 1, рис. 6).

Таблица 1

Показатели деформации левого предсердия в 2D- и 4D-режимах

Показатели	Контрольная группа M±SD
LASr 4D,%	37,6±5,8
LAScd 4D,%	-21,7±6,03
LASct 4D,%	-15,9±4,04
LASr 2D,%	44,7±4,5
LAScd 2D,%	-30,2±5,2
LASct 2D,%	-13,8±2,2



Рисунок 6. Определение деформации левого предсердия у здоровых лиц. S<sub>R</sub> – стрейн резервуара, S<sub>CD</sub> – стрейн кондуита, S<sub>CT</sub> – стрейн сокращения: вверху – в 2D-режиме, внизу – в 3D-режиме

### Оценка диастолической функции левого желудочка с использованием показателей деформации левого предсердия

Анализ глобальной продольной деформации ЛП, в частности, определение пиковой глобальной продольной деформации ЛП, может дать ценную диагностическую информацию для оценки изменений диастолической функции ЛЖ [15, 16].

Так, в исследовании A. Brecht et al. (2016) было показано, что в ходе прогрессирования диастолической дисфункции ЛЖ специфическим образом изменяются все показатели деформации ЛП, т.е. деформация в фазу резервуара, в фазу кондукта и в фазу сокращения. Однако параметры, оцененные в фазе резервуара и кондукта, были более чувствительными для диагностики начальных стадий диастолической дисфункции ЛЖ, чем индекс объема ЛП, тогда как деформация в фазу кондукта была связана со всеми степенями нарушения диастолической функции [15].

Khan U.A. et al. (2013) продемонстрировали значимость деформации ЛП как маркера диастолической дисфункции ЛЖ 1 и 2 степени. Тот факт, что этот параметр является относительно независимым от объема левого предсердия, позволил заключить, что снижение деформации ЛП может свидетельствовать об уменьшении податливости предсердия [17]. Более того, D.A. Morris с соавт. (2018) в исследовании с участием 517 пациентов, у которых были выявлены факторы риска диастолической дисфункции ЛЖ, обнаружили большую чувствительность деформации ЛП, чем индекса объема ЛП, рекомендованного ASE/EACVI в 2016 году как один из четырех критериев для диагностики ДДФ ЛЖ. Данный параметр деформации имеет чувствительность 73% и специфичность 76%, что почти вдвое превосходит рекомендованный параметр [18].

Lundberg A. et al. (2019) показали, что глобальная продольная деформация ЛП может служить единственным критерием нарушения диастолической функции у пациентов со сниженной или сохранной ФВ ЛЖ, при этом продемонстрировать большую диагностическую точность [19].

Алексин М.Н. et al. (2020) также продемонстрировали, что снижение показателей продольной деформации ЛП может указывать на дебют сердечной недостаточности с сохранной фракцией выброса ЛЖ [11].

Machino-Ohtsuka T. et al. (2011) оценивали жесткость ЛП с помощью 2D STE как показатель структурного ремоделирования и нарушения функции ЛП у 155 пациентов с фибрилляцией предсердий (123–79% мужчин, средний возраст  $61 \pm 9$  лет). Авторы показали, что расчетный индекс жесткости ЛП был связан с диастолической дисфункцией ЛЖ, дилатацией ЛП и синтезом коллагена. Кроме того, было обнаружено, что этот показатель является независимым предиктором рецидива фибрилляции предсердий после радиочастотной абляции (ОР 2,88; 95% ДИ 1,75–4,73,  $p < 0,001$ ) [12].

В рекомендациях EACVI 2022 года уже присутствует оценка LASr с пограничным значением -18% для применения в ситуациях, когда доступны к определению только 2 из 3-х параметров ДФ, при этом изменен только один из них [20].

Согласно данным Британского общества эхокардиографии (British Society of Echocardiography, BSE, 2024), кроме известных параметров ( $E/e' > 14$ ,  $V_{TRmax} > 2,8$  м/с,  $ИоЛП > 34$  мл/м<sup>2</sup>), для улучшения алгоритма оценки ДФ также отмечен ключевой параметр – деформация ЛП. Деформацию в фазу резервуара (LASr) и в фазу сокращения (LASct) с пороговым значением  $< 18\%$  и  $< 8\%$ , можно рассматривать для оценки ДФ, что предполагает ее нарушение с повышением давления наполнения [20].

### Трехмерная эхокардиография в оценке функции левого предсердия

3D-режим более точный в измерении объемов, но пока мало применяется для ЛП в повседневной клинической практике. Из верхушечного доступа, с помощью трехмерной модели ЛП можно получить такие показатели, как LA Vmin (минимальный объем предсердия), LA Vmax (максимальный объем предсердия), LA VpreA (объем в начале сокращения предсердия), а также показатели деформации ЛП.

Измерение объема ЛП в 3D-режиме хорошо коррелирует с данными КТ и МРТ. На основании объемов можно определить резервуарную функцию или фракцию опорожнения ( $LAEF = 100 \times (Vmax - Vmin)/Vmax$ ;  $> 51\%$ ); сократительную (фракцию активного опорожнения,  $100 \times (VpreA - Vmin)/VpreA$ ;  $> 27\%$ ) и кондуктную (фракцию пассивного опорожнения,  $100 \times (Vmax - VpreA)/Vmax$ ;  $> 21\%$ ) функцию ЛП [21]. Нормативы функции ЛП уточняются.

Алгоритм оценки диастолической функции ЛЖ с учетом параметров деформации ЛП приведен на рис. 7.

Эксперты ASE (2025) отмечают, что все эхокардиографические заключения должны включать оценку диастолической функции и давления наполнения ЛЖ с указанием, является ли диастолическая функция нормальной или нарушенной (1, 2 степень – умеренное повышение ДЛП или 3 степень – значительное повышение ДЛП). Если степень диастолической дисфункции не определена, в заключении следует указать состояние давления наполнения левого желудочка (нормальное или повышенное). Следует также отмечать признаки изолированного повышения КДД ЛЖ, поскольку это предрасполагает пациентов к повышению среднего ДЛП при физической нагрузке или увеличению постнагрузки.

По возможности в заключении следует указать, произошли ли изменения в степени ДФ ЛЖ по сравнению с предыдущими исследованиями. В отчет следует включать все измерения, использованные для формирования заключения о степени нарушения ДФ: скорости трансмитрального кровотока (E, A); скорость  $e'$  митрального кольца; пиковую скорость трикуспидальной регургитации; соотношение E/A и среднее соотношение E/e'; LASr; соотношение S/D или систолическую фракцию в легочных венах; длительность пика A трансмитрального кровотока; длительность пика Ar в легочных венах и/или IVRT.

У пациентов со структурной патологией сердца, заболеваниями клапанов и суправентрикулярными нарушениями ритма взаимосвязь между показателями диастолической функции и давлением наполнения левого желудочка

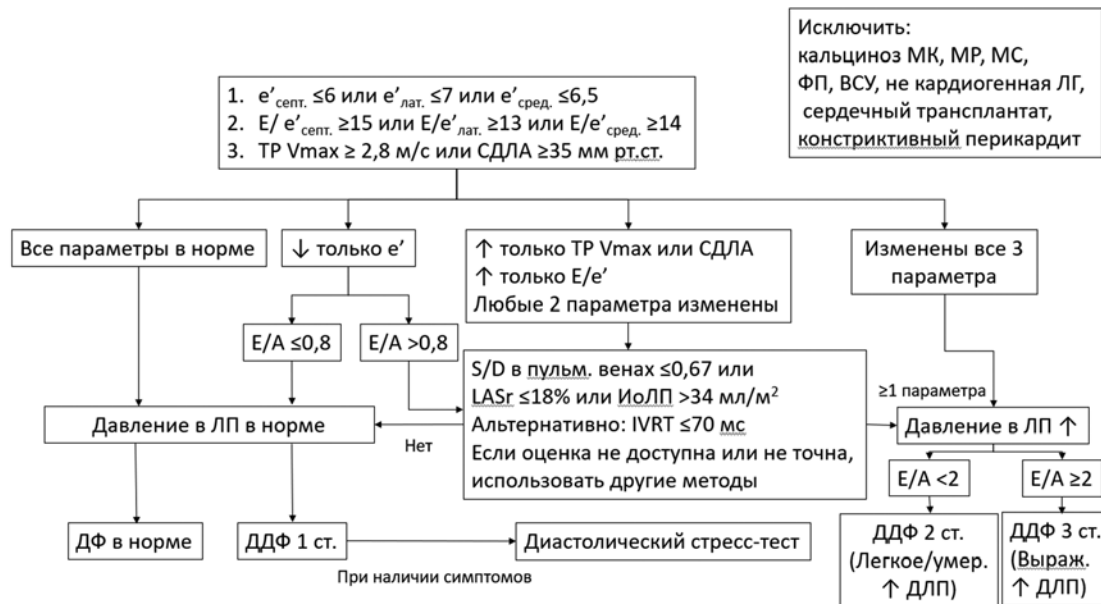


Рисунок 7. Алгоритм оценки диастолической функции левого желудочка у пациентов с сохранной фракцией выброса (ASE, 2025)

изменяется. В табл. 2 приведены основные параметры, ассоциированные с повышением давления наполнения ЛЖ у пациентов в различных клинических ситуациях (табл. 2).

Дополнительные параметры, используемые в оценке ДФ, подробно рассмотрены в монографиях Бартош-Зеленой С.Ю. и соавт. (2024), Новикова В.И. и соавт. (2026).

Таблица 2

**Эхокардиографические маркеры повышения давления наполнения левого желудочка у пациентов с отдельными заболеваниями сердца**

Заболевание	Параметры повышения ДН ЛЖ
Фибрилляция предсердий	Tdec < 160 мс у пациентов со сниженной ФВ Максимальное ускорение пика E ≥ 1,9 см/с <sup>2</sup> IVRT ≤ 65 мс Tdec диаст. скорости в легочных венах ≤ 220 мс E/Vp ratio ≥ 1,4 E/e' <sub>септ.</sub> ≥ 11 TR V <sub>max</sub> > 2,8 м/с
Синусовая тахикардия	Митральный кровоток с преобладанием раннего диастолического наполнения у пациентов со сниженной ФВ IVRT ≤ 70 мс Систолическая фракция в ЛВ ≤ 40% E/e' <sub>сред.</sub> > 14 (низкая чувствительность, но высокая специфичность)
Митральная регургитация	IVRT < 60 мс A-A ≥ 30 мс IVRT/TE-e' < 5,6 E/e' <sub>сред.</sub> > 14 у пациентов со сниженной ФВ
Гипертрофическая кардиомиопатия	E/e' <sub>сред.</sub> > 14 A-A ≥ 30 мс TR V <sub>max</sub> > 2,8 м/с ИоЛП > 33 мл/м <sup>2</sup>
Рестриктивная кардиомиопатия	E/e' <sub>сред.</sub> > 14 Tdec < 140 мс E/A > 2,5 IVRT < 50 мс
Легочная гипертензия	E/A ≥ 2 характерно для посткапиллярной ЛГ E/A ≤ 0,8 характерно для прекапиллярной ЛГ E/A > 0,8 и E/A < 2, E/e' <sub>лат.</sub> > 13, ИоЛП > 34 мл/м <sup>2</sup> и LASr < 18% характерно для посткапиллярной ЛГ
Митральный стеноз	IVRT < 60 мс Скорость пика A > 1,5 м/с IVRT/T <sub>E/e'</sub> < 4,2
Умеренный/тяжелый кальциноз митрального кольца	ДН ЛЖ в норме при E/A < 0,8 ДН ЛЖ повышено при E/A > 1,8 E/A > 0,8 и < 1,8 и IVRT ≥ 80 мс E/A > 0,8 и < 1,8 и IVRT < 80 мс
Наличие ВСУ	E/A > 2 Давление в ПП > 10 мм рт. ст. СДЛА > мм рт. ст. E/e' <sub>сред.</sub> > 14 или E/e' <sub>септ.</sub> ≥ 15 ИоЛП > 33 мл/м <sup>2</sup> ВСУ расположено в МПП†
Сердечный трансплантат	E/e' <sub>сред.</sub> < 7 – нормальное ДН ЛЖ E/e' <sub>сред.</sub> > 14 ДН ЛЖ повышено E/e' <sub>сред.</sub> > 7 и < 14, E/SR <sub>IVR</sub> ≤ 200 см – нормальное ДН ЛЖ, E/SR <sub>IVR</sub> > 200 см – ДН ЛЖ повышено При отсутствии возможности измерить E/SR <sub>IVR</sub> , оценить TP <sub>Vmax</sub> : TP <sub>Vmax</sub> ≤ 2,8 м/с – нормальное ДН ЛЖ, TP <sub>Vmax</sub> > 2,8 м/с – ДН ЛЖ повышено

## Заключение

На настоящее время для оценки диастолической функции в качестве отправной точки по-прежнему рекомендуются четыре переменные (ранняя диастолическая скорость движения митрального кольца,  $e'$ ; соотношение между ранней диастолической скоростью трансмитрального потока  $E$  и  $e'$ ,  $E/e'$ ; индекс объема левого предсердия и максимальная скорость струи трикуспидальной регургитации), но уже с учетом как клинических данных, так и других ЭхоКГ параметров (скорость потока в легочных венах, время изоволюметрического расслабления, проведение пробы Вальсальвы или оценка деформации миокарда ЛП).

Новым и многообещающим параметром, особенно в ситуациях с противоречивыми изменениями основных показателей ДФ, является деформация ЛП в фазу резервуара, которая также рекомендована как для диагностики ДДФ ЛЖ, так и для оценки ее тяжести и мониторинга эффективности лечения, как более точный маркер ДДФ по сравнению с объемом ЛП, в особенности на ее ранних стадиях.

Фазовую функцию ЛП можно оценить как с помощью объемного анализа с использованием 3х-мерной эхокардиографии, так и с помощью анализа деформации/скорости деформации с использованием спекл-трекинг эхокардиографии. Последний способ в меньшей степени зависит от преднагрузки.

Исследование функции ЛП повышает диагностическую точность и прогностическую ценность алгоритмов оценки диастолической функции ЛЖ и сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса. Деформация ЛП является новым адекватным биомаркером функции левого предсердия.

## Список литературы / References

1. Эхокардиография. Методика и количественная оценка / В.И. Новиков, Т.Н. Новикова, С.Ю. Бартош-Зеленая – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: МЕДпресс-информ, 2026. – 160 с. : ил.
2. Novikov V.I., Novikova T.N. Echocardiography. Methodology and quantitative assessment / 3rd ed., revised and enlarged. – M.: MEDpress-inform, 2023. – 136 p.
3. Алгоритм проведения эхокардиографии и формулирование заключения / Под редакцией С.Ю. Бартош-Зеленой. – СПб: Аргус, 2024 – 92 с.: ил. Bartosh-Zelenaya S. Yu. Algorithm of echocardiography performing and forming a report – St. Petersburg: Argus, 2024 – 92 p.
4. Nagueh S.F., Smiseth O.A., Appleton C.P. 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 Apr;29(4):277–314. doi: 10.1016/j.echo.2016.01.011. PMID: 27037982.
5. Nagueh S.F. Left ventricular diastolic function: understanding pathophysiology, diagnosis, and prognosis with echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2020; 13:228.
6. Caballero L., Kou S., Dulgheru R., Gonjilashvili N. et al: Echocardiographic reference ranges for normal cardiac Doppler data: results from the NORRE Study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015; 16: 1031.
7. Oh J.K., Miranda W.R., Bird J.G., Kane G.C., Nagueh S.F. The 2016 Diastolic Function Guideline: Is it Already Time to Revisit or Revise Them? *JACC Cardiovasc Imaging.* 2020 Jan; 13(1 Pt 2):327–335. doi: 10.1016/j.jcmg.2019.12.004. PMID: 31918901.
8. Huynh Q.L., Kalam K., Iannaccone A. et al: Functional and anatomic responses of the left atrium to change in estimated left ventricular filling pressure. *J Am Soc Echocardiogr* 2015; 28:1428.
9. Singh A., Addetia K., Maffessanti F. et al: LA strain for categorization of LV diastolic dysfunction. *J Am Coll Cardiol* 2017; 10:735.
10. Thomas L., Marwick T.H., Popescu B.A., Donal E. and Badano L.P.: Left atrial structure and function, and left ventricular diastolic dysfunction: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol* 2019; 73: 961.
11. Nagueh S.F., Sanborn D.Y., Oh J.K. et al. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography and for Heart Failure With Preserved Ejection Fraction Diagnosis: An Update From the American Society of Echocardiography. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2025.03.011>.
12. Badano L.P., Kolias T.J., Muraru D., Abraham T.P., Aurigemma G., Edvardsen T., D'Hooge J., Donal E., Fraser A.G., Marwick T., Mertens L., Popescu B.A., Sengupta P.P., Lancellotti P., Thomas J.D., Voigt J.-U., Industry representatives, & Reviewers: This document was reviewed by members of the 2016–2018 EACVI Scientific Documents Committee. (2018). Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: A consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *European Heart Journal. Cardiovascular Imaging.* 19(6), 591–600. <https://doi.org/10.1093/ehjci/ey042>.
13. Alexhin M.N., Kalinin A.O. Диастолическая функция левого желудочка: значение глобальной продольной деформации левого предсердия. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2020;(3):91-104. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-3-91-104>.
14. Alexhin M.N., Kalinin A.O. Left ventricular diastolic function: value of left atrial global longitudinal strain. *Ultrasound & Functional Diagnostics.* 2020;(3):91-104. (In Russ.) <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2020-3-91-104>.
15. Machino-Ohtsuka T., Seo Y., Tada H. et al. Left atrial stiffness relates to left ventricular diastolic dysfunction and recurrence after pulmonary vein isolation for atrial fibrillation. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology.* 2011 (9): 999-1006. doi: 10.1111/j.1540-8167.2011.02049.x.
16. Pathan F., Sivaraj E., Negishi K. Use of Atrial Strain to Predict Atrial Fibrillation After Cerebral Ischemia. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2018; 11(11):1557-1565. doi: 10.1016/j.jcmg.2017.07.027.
17. Nielsen A.B., Skaaraup K.G., Hauser R. Normal values and reference ranges for left atrial strain by speckle-tracking echocardiography: the Copenhagen City Heart Study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2021. 18;23(1):42-51. doi: 10.1093/ehjci/jeab201.
18. Brecht A., Oertelt-Prigione S., Seeland U. Left Atrial Function in Preclinical Diastolic Dysfunction: Two-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography-Derived Results from the BEFRI Trial. *Journal of American Society of Echocardiography* 2016; 29(8):750-758. doi: 10.1016/j.echo.2016.03.013.
19. Cameli M., Sparla S., Losito M. Correlation of Left Atrial Strain and Doppler Measurements with Invasive Measurement of Left Ventricular End-Diastolic Pressure in Patients Stratified for Different Values of Ejection Fraction. *Echocardiography.* 2016; 33(3):398-405. doi: 10.1111/echo.13094.
20. Khan U.A., de Simone G., Hill J. et al. Depressed atrial function in diastolic dysfunction: a speckle tracking imaging study. *Echocardiography.* 2013; 30(3):309-16. doi: 10.1111/echo.12043.
21. Morris D.A., Belyavskiy E., Aravind-Kumar R. Potential Usefulness and Clinical Relevance of Adding Left Atrial Strain to Left Atrial Volume Index in the Detection of Left Ventricular Diastolic Dysfunction. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2018 Oct; 11(10):1405-1415. doi: 10.1016/j.jcmg.2017.07.029.
22. Lundberg A., Johnson J., Hage C. et al. Left atrial strain improves estimation of filling pressures in heart failure: a simultaneous echocardiographic and invasive haemodynamic study. *Clin Res Cardiol.* 2019 Jun; 108(6):703-715. doi: 10.1007/s00392-018-1399-8.
23. Smiseth O.A., Wang T.K.M., Klein A.L., Nagueh S.F. Left ventricular diastolic dysfunction in non-myocardial disorders. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2024 Oct 30; 25(11):1554-1565. doi: 10.1093/ehjci/jeae209. PMID: 39172598; PMCID: PMC11522870.
24. Thomas L., Marwick T.H., Popescu B.A. et al. Left Atrial Structure and Function, and Left Ventricular Diastolic Dysfunction: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol.* 2019 Apr 23; 73(15):1961-1977. doi: 10.1016/j.jacc.2019.01.059. PMID: 31000000.

Статья поступила / Received 03.03.2026  
Получена после рецензирования / Revised 10.03. 2026  
Принята в печать / Accepted 10.03. 2026

## Информация об авторах

**Степанова Виктория Викторовна**<sup>1,2</sup> – врач функциональной диагностики  
E-mail: vikkistepanova16@yandex.ru. ORCID: 0009-0006-7141-0586  
**Бартош-Зеленая Светлана Юрьевна**<sup>1</sup> – д.м.н., проф., проф. кафедры функциональной диагностики  
E-mail: s.bartosh.spb@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7300-1942  
**Новиков Владимир Игоревич**<sup>1</sup> – д.м.н., проф., зав. кафедрой функциональной диагностики  
E-mail: vladimir.novikov@szgmu.ru. ORCID: 0000-0002-2493-6300.  
**Найден Татьяна Викторовна**<sup>1</sup> – к.м.н., доц. кафедры функциональной диагностики  
E-mail: tatiyan86@mail.ru. ORCID: 0000-0002-9770-472  
**Сазонова Дарья Сергеевна**<sup>3</sup> – врач функциональной диагностики  
E-mail: daria.razgovorova@yandex.ru. ORCID: 0009-0004-6470-2770

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Северо-Западный университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> СПб ГБУЗ Городская больница № 40 Курортного района, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Городская клиническая больница № 31, Санкт-Петербург, Россия

## Контактная информация:

Татьяна Викторовна Найден. E-mail: tatiyan86@mail.ru

## Author information

**Victoria Viktorovna Stepanova**<sup>1,2</sup> – specialist of functional diagnostics department  
E-mail: vikkistepanova16@yandex.ru. ORCID: 0009-0006-7141-0586  
**Svetlana Yuryevna Bartosh-Zelenaya**<sup>1</sup> – MD, Professor, Professor of the Department of Functional Diagnostics  
E-mail: s.bartosh.spb@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7300-1942  
**Vladimir Igorevich Novikov**<sup>1</sup> – MD, PhD, Professor, Head of the Functional Diagnostics Department  
E-mail: vladimir.novikov@szgmu.ru. ORCID: 0000-0002-2493-6300  
**Tatyana Viktorovna Nayden**<sup>1</sup> – MD, PhD, Associate Professor, Department of Functional Diagnostics  
E-mail: tatiyan86@mail.ru. ORCID: 0000-0002-9770-472X  
**Daria Sergeevna Sazonova**<sup>3</sup> – specialist of functional diagnostics department  
E-mail: daria.razgovorova@yandex.ru. ORCID: 0009-0004-6470-2770

<sup>1</sup> City Hospital No. 40, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> North-Western State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> St. Petersburg City Clinical Hospital No. 31, St. Petersburg, Russia

## Contact information

Tatyana Viktorovna Nayden. E-mail: tatiyan86@mail.ru

**For citation:** Stepanova V.V., Bartosh-Zelenaya S.Yu., Novikov V.I., Nayden T.V., Sazonova D.S. Evolution of approaches to echocardiographic assessment of diastolic function. *Medical alphabet.* 2026;(6):11–20. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2026-6-11-20>

