

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-092>

Трехфазные диастолические трансмитральные и внутрижелудочковые потоки и их связь с диастолической дисфункцией левого желудочка по данным эхокардиографии

М.Н. Алехин^{1,2}, А.М. Гришин¹, А.В. Скрипникова¹, А.Ю. Капустина^{1,2*}

¹ ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации; 121359 Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15, Российская Федерация

² ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации; 121359 Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 19, стр. 1А, Российская Федерация

У некоторых пациентов можно наблюдать ускорение кровотока в фазу диастазиса с формированием так называемой L-волны, при наличии которой трансмитральный кровоток трансформируется в трехфазный.

Цель исследования: установить частоту регистрации L-волны и оценить ее связь при доплеровском исследовании трансмитрального кровотока на уровне створок митрального клапана, а также в полости левого желудочка с современными критериями для оценки диастолической функции левого желудочка.

Материал и методы. В исследование было включено 105 пациентов (возраст $62,21 \pm 11,97$ (29–91) года, мужчин 61 (58,1%)) с синусовым ритмом, из которых 30 (28,6%) обследованных были условно здоровыми, 64 (61%) пациента страдали ишемической болезнью сердца, еще 11 (10,5%) – артериальной гипертензией. Проводилось доплеровское исследование трансмит-

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

Гришин Алексей Михайлович – канд. мед. наук, врач функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0009-0001-7102-5614>

Скрипникова Анна Вячеславовна – врач функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0009-0007-3541-0834>

Капустина Анастасия Юрьевна – врач функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации; ассистент кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-7072-9783>

Контактная информация*: Капустина Анастасия Юрьевна – e-mail: nast.capustina@yandex.ru

рального потока в апикальной четырехкамерной позиции в импульсно-волновом режиме с расположением контрольного объема на уровне концов створок митрального клапана, а также на уровне базальных и средних отделов левого желудочка. При наличии в фазу диастазиса отчетливой положительной волны на спектрограмме со скоростью, превышающей 20 см/с, считали ее дополнительной волной L и такой кровоток в диастолу считали трехфазным.

Результаты. Трехфазный трансмитральный кровоток был зарегистрирован у 9 (8,5%) пациентов, еще у 30 (28,5%) обследованных был выявлен трехфазный внутрижелудочковый кровоток. Пациенты с трехфазным трансмитральным кровотоком были старше, у них был больше индекс объема левого предсердия и чаще выявлялась диастолическая дисфункция левого желудочка по сравнению с пациентами с трехфазным внутрижелудочковым кровотоком (66,7% по сравнению с 23,3%, $p = 0,042$).

Заключение. Трехфазный трансмитральный кровоток регистрируется существенно реже по сравнению с трехфазным внутрижелудочковым кровотоком (8,5% по сравнению с 28,5%, $p < 0,001$). Трехфазный трансмитральный кровоток чаще наблюдается у пациентов с диастолической дисфункцией левого желудочка.

Ключевые слова: L-волна; внутрижелудочковый вихрь; диастолическая функция; левый желудочек; доплерэхокардиография

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Алехин М.Н., Гришин А.М., Скрипникова А.В., Капустина А.Ю. Трехфазные диастолические трансмитральные и внутрижелудочковые потоки и их связь с диастолической дисфункцией левого желудочка по данным эхокардиографии. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2024; 3: 9–20. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-092>

ВВЕДЕНИЕ

Доплеровская оценка кровотока наполнения левого желудочка (ЛЖ) в диастолу через митральный клапан давно и успешно используется как для оценки состояния митрального клапана, так и для оценки диастолической функции ЛЖ. У пациентов с синусовым ритмом после потока раннего наполнения ЛЖ вплоть до потока наполнения, обусловленного сокращением предсердия, регистрируется фаза диастазиса, которая характеризуется минимальным градиентом и скоростью кровотока между левыми предсердием и желудочком. Таким образом формируется двухфазный трансмитральный кровоток. Однако у некоторых пациентов можно наблюдать ускорение кровотока в фазу диастазиса с формированием отчетливой волны, которая получила название L-волна. У пациентов с L-волной в фазу диастазиса двухфазный трансмитральный кровоток трансформируется в трехфазный. Несмотря на то что этот феномен был впервые описан довольно давно, он по-прежнему привлекает к себе внимание ряда исследователей [1, 2]. Точный патофизиологический механизм возникновения этой волны до сих пор не установлен. Эта волна

была описана как у здоровых лиц, так и у пациентов с различными патологическими состояниями, а также было показано, что эта волна может быть маркером выраженной диастолической дисфункции и ассоциирована с неблагоприятными сердечно-сосудистыми событиями [3, 4]. Наряду с этим есть публикации, в которых указывается на возможность регистрации L-волны у каждого здорового человека при расположении зоны интереса в импульсно-волновом доплеровском режиме на некотором расстоянии от створок митрального клапана по направлению к срединным отделам ЛЖ [5]. В таком случае L-волна вызвана повторным входом (re-entry) вихреобразного потока, обусловленного волной раннего наполнения ЛЖ, в определенным образом установленную зону интереса (на некотором расстоянии от створок митрального клапана по направлению к срединным отделам ЛЖ). Таким образом, регистрация L-волны при доплеровском исследовании трансмитрального кровотока может иметь как клиническое значение, так и может быть свойственна нормальной внутрисердечной гемодинамике при ее регистрации в полости ЛЖ.

Цель исследования: установить частоту регистрации L-волны и оценить ее связь при доплеровском исследовании трансмитрального кровотока на уровне створок митрального клапана, а также в полости ЛЖ с современными критериями для оценки диастолической функции ЛЖ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование было включено 105 пациентов (возраст $62,21 \pm 11,97$ (29–91) года, мужчин 61 (58,1%)) с синусовым ритмом, не имевших критериев исключения, подписавших информированное согласие на проведение исследования, которым выполнялось трансторакальное эхокардиографическое исследование. Критерии исключения из исследования: наличие у пациента гипертрофической кардиомиопатии, врожденных и приобретенных пороков сердца, наличие умеренной и выраженной регургитации на любом клапане сердца, нарушения ритма и проводимости и наличие кардиохирургических операций в анамнезе, неоптимальная визуализация сердца, невозможность расчета глобальной продольной систолической деформации ЛЖ. Мы также не включали в наше исследование спортсменов.

Среди обследованных 30 (28,6%) пациентов не имели жалоб и указаний в анамнезе на наличие каких-либо сердечно-сосудистых заболеваний, а также не имели изменений на электрокардиограмме (ЭКГ) и при эхокардиографическом исследовании. Ишемической болезнью сердца страдали 64 (61%) пациента, из них у 10 (9,5%) имелось указание на ранее перенесенный инфаркт миокарда, что подтверждалось изменениями на ЭКГ и/или наличием зон нарушений локальной сократимости ЛЖ при эхокардиографическом исследовании. Артериальная гипертензия (АГ) регистрировалась у 11 (10,5%) пациентов. Сопутствующим сахарным диабетом 2 типа страдали 18 (17,1%) пациентов.

Всем пациентам выполнялась трансторакальная эхокардиография (ЭхоКГ) покоя в положении на левом боку с применением ультразвукового сканера Vivid E9 (GE Medical Systems, Horten, Norway) мультичастотным (1,5–4,6 МГц) матричным датчиком M5S в режиме второй гармоники (частота излучения 1,7 МГц, частота при-

нимаемого сигнала 3,4 МГц). Все ультразвуковые изображения были сохранены на жесткий диск для последующего анализа. Все эхокардиографические измерения усреднялись для 3 последовательных сердечных циклов.

Линейные размеры оценивались по изображениям, полученным в парастернальной позиции по длинной оси ЛЖ в В- и М-режимах. Определялись следующие показатели: конечно-диастолический (КДР) и конечно-систолический (КСР) размеры ЛЖ, толщина межжелудочковой перегородки (ТМЖП) и толщина задней стенки ЛЖ (ТЗСЛЖ).

Объемные показатели получены в двухмерном режиме путем обведения границ эндокарда в апикальных четырех- и двухкамерных позициях в систолу (КСО) и в диастолу (КДО) (биплановый метод дисков) [6]. Фракция выброса ЛЖ (%) рассчитывалась методом дисков в В-режиме.

Масса миокарда (ММ) ЛЖ рассчитывалась в М-режиме по формуле:

$$\text{ММЛЖ} = 0,8 \times \{1,04 \times [(\text{КДР} + \text{МЖП} + \text{ЗСЛЖ})^3 - \text{КДР}^3] + 0,6 \text{ г}\}.$$

Индекс массы миокарда (ИММ) ЛЖ определяли как отношение массы миокарда к площади поверхности тела. Критериями гипертрофии ЛЖ считали ИММ ЛЖ $> 115 \text{ г/м}^2$ для мужчин и $> 95 \text{ г/м}^2$ для женщин [6].

Максимальный переднезадний размер левого предсердия (ЛП) измеряли из парастернального доступа в конце систолы желудочков. Объем ЛП измеряли как среднее значение объемов, рассчитанных методом дисков в верхушечной позиции на 4 и 2 камеры. Индекс объема ЛП рассчитывали как отношение объема ЛП к площади поверхности тела пациента.

Критерием нарушения локальной сократимости ЛЖ явилось снижение нормальной сократимости в одном и более сегменте при визуальной оценке сократимости в соответствии с 16-сегментарной схемой деления ЛЖ [6].

Оценка диастолической функции ЛЖ являлась частью эхокардиографического протокола. У всех пациентов выполнялась оценка наличия или отсутствия диастолической дисфункции ЛЖ в соответствии с ре-

комендациями Американского общества эхокардиографии и Европейского общества эхокардиографии по оценке диастолической функции ЛЖ методом ЭхоКГ от 2016 г. [7].

Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета статистических программ Statistica 12.0 for Windows и IBM SPSS Statistics Version 26.0 для iOS. Для статистической оценки полученных данных использовались методы параметрической и непараметрической статистики. Распределение признаков оценивалось с помощью критерия Колмогорова–Смирнова (в группах с более 50 исследуемыми) и критерия Шапиро–Уилка (в группах с менее 50 исследуемыми). В зависимости от распределения количественные данные представлены в виде $M \pm SD$ и минимального и максимального значений или медианы (Me), интерквартильного размаха [25–75-й квартиль] и минимального и максимального значений. При определении значимости различия между средними величинами при нормальном распределении применялся критерий Стьюдента или метод однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). При отсутствии нормального распределения признака проводилось сравнение при помощи теста Манна–Уитни или критерия Краскела–Уоллиса. Для оценки различия качественных параметров применялись многопольные таблицы сопряженности с использованием критерия χ^2 Пирсона и точного критерия Фишера. Для объединения всей совокупности пациентов в различные группы по исследованным параметрам применялся двухэтапный кластерный анализ. Уровень значимости p составлял $<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Среди всех 105 обследованных трехфазный трансмитральный кровоток был выявлен у 9 (8,5%), еще у 30 (28,5%) установлен трехфазный кровоток в полости ЛЖ (рис. 1, 2). В зависимости от наличия и места регистрации трехфазного кровотока все обследованные были разделены на 3 группы. В 1-ю группу вошло 9 пациентов, у которых трехфазный трансмитральный кровоток регистрировался на уровне концов створок митрального клапана в диастолу,

то есть в том месте, которое является рекомендованным для оценки скоростей трансмитрального кровотока в соответствии с действующими рекомендательными документами [6, 7]. Во 2-ю группу было включено 30 пациентов, у которых регистрировался трехфазный кровоток в полости ЛЖ на уровне базального и/или среднего отдела ЛЖ, то есть в тех местах, которые обычно не используются для регистрации кровотока в импульсно-волновом доплеровском режиме, так как они не фигурируют в действующих рекомендательных документах. В 3-ю группу было включено 66 пациентов, у которых трехфазный кровоток в диастолу не регистрировался ни на уровне концов створок митрального клапана, ни в полости ЛЖ.

Основные клинические и эхокардиографические данные обследованных в выделенных трех группах представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, у обследованных 1-й группы с трехфазным трансмитральным кровотоком был достоверно больше индекс объема ЛП ($p < 0,001$ и $p = 0,004$ соответственно) и были выше значения скорости раннего наполнения ЛЖ ($p = 0,001$ и $p < 0,001$ соответственно) по сравнению с пациентами других групп. В 1-й группе при сравнении со 2-й группой пациенты были старше ($p = 0,009$), имели большие значения соотношения E/e' ($p = 0,019$), у них чаще встречалась диастолическая дисфункция ($p = 0,042$). При сравнении с 3-й группой у них была реже частота сердечных сокращений (ЧСС) ($p = 0,034$) и выше значения отношения E/A ($p = 0,001$). Обследованные 2-й группы, в которой был зарегистрирован трехфазный диастолический кровоток в полости ЛЖ, были моложе ($p = 0,009$ и $p = 0,001$ соответственно) и у них реже встречалась диастолическая дисфункция ($p = 0,042$ и $p = 0,042$ соответственно) по сравнению с пациентами других групп. При сравнении с пациентами 3-й группы они чаще страдали АГ ($p = 0,017$), у них были выше значения скорости позднего наполнения ЛЖ ($p = 0,011$), скорости пика e' на медиальном отделе фиброзного кольца митрального клапана ($p = 0,044$) и выше значения отношения E/A ($p = 0,003$).

Рис. 1. Импульсно-волновой доплеровский режим в апикальной четырехкамерной позиции с расположением контрольного объема на уровне створок митрального клапана (показано стрелкой). Трехфазная спектрограмма трансмитрального кровотока с наличием L-волны с максимальной скоростью 0,43 м/с.

Fig. 1. Pulsed-wave Doppler in the apical four-chamber view with the location of the sample volume at the level of the mitral valve leaflets (arrow). Triphasic spectrogram of trans-mitral blood flow with the presence of an L-wave with a maximum velocity of 0.43 m/s.

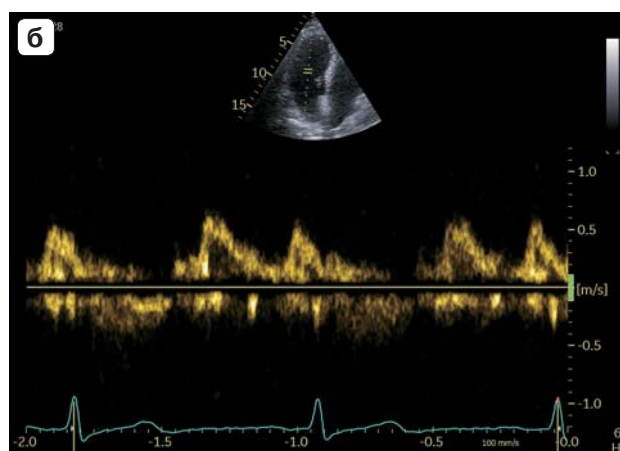
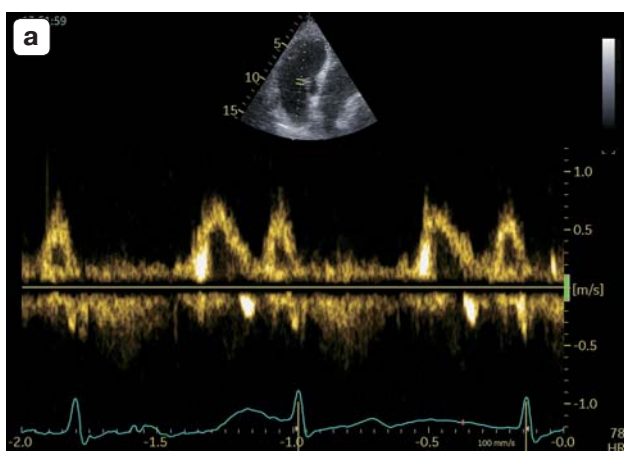
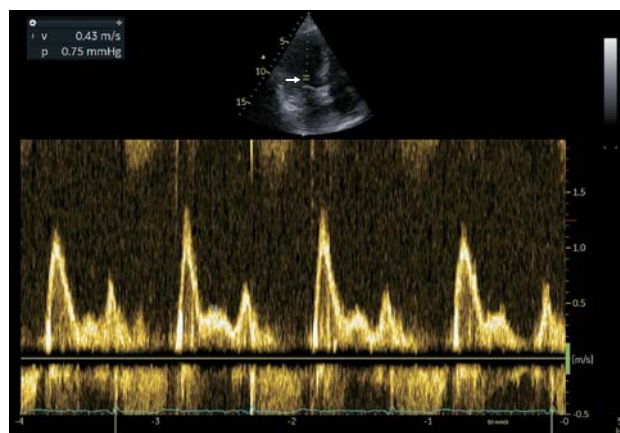


Рис. 2. Импульсно-волновой доплеровский режим в апикальной четырехкамерной позиции с расположением контрольного объема на уровне: **а** – створок митрального клапана; **б** – базального отдела левого желудочка; **в** – среднего отдела левого желудочка. На спектрограмме в среднем отделе левого желудочка регистрируется внутрижелудочковый трехфазный кровоток с максимальной скоростью L-волны 33 см/с.

Fig. 2. Pulsed-wave Doppler in the apical four-chamber view with the location of the sample volume at the level of: **a** – mitral valve leaflets; **б** – basal part of the left ventricle; **в** – middle part of the left ventricle. The spectrogram in the middle part of the left ventricle shows an intraventricular triphasic blood flow with a maximum L-wave velocity of 33 cm/s.

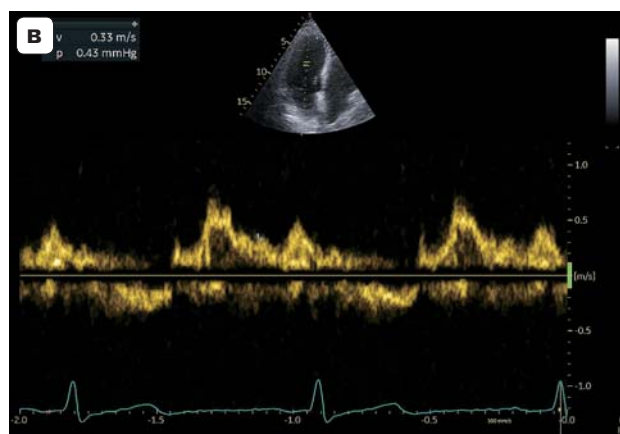


Таблица 1. Клинические и эхокардиографические показатели обследованных, включенных в исследование ($M \pm SD$), (n, %), Me [25-й и 75-й квартили], (min; max)**Table 1.** Clinical and echocardiographic parameters of the examined patients included in the study ($M \pm SD$), (n, %), Me [25 and 75 quartiles], (Min; Max)

Показатели	1-я группа, n = 9	2-я группа, n = 30	3-я группа, n = 66	p
Возраст, годы	67,9 \pm 11,6 (47; 82)	55,1 \pm 9,9 (29; 70)	64,7 \pm 11,6 (38; 91)	<0,001* p ₁₋₂ = 0,009 p ₂₋₃ = 0,001
Пол:				
мужской, n (%)	5 (55,6)	22 (73,3)	34 (51,5)	0,145
женский, n (%)	4 (44,4)	8 (26,7)	32 (48,5)	
ИМТ, кг/м ²	27,9 \pm 2,4 (23,4; 31,6)	27,8 [26,3; 31,5] (20,1; 43,5)	27,9 \pm 4,4 (19,7; 39,0)	0,696
Обследованные без ССЗ, n (%)	1 (11,1)	11 (36,7)	17 (25,8)	0,586
Артериальная гипертензия, n (%)	0 (0)	5 (16,7)	2 (3,0)	0,035* p ₂₋₃ = 0,017
Сахарный диабет 2 типа, n (%)	2 (22,2)	4 (13,3)	12 (18,2)	0,781
Инфаркт миокарда, n (%)	1 (11,1)	4 (13,3)	5 (7,6)	0,497
ЧСС, уд/мин	60 \pm 6,9 (50; 71)	64,1 \pm 7,6 (50; 88)	68 [60; 75] (52; 88)	0,029* p ₁₋₃ = 0,034
КДР ЛЖ, мм	50,0 [47,0; 51,0] (45,0; 63,0)	50,5 [46,0; 53,0] (40,0; 56,0)	47,8 \pm 4,3 (41,0; 62,0)	0,071
Индекс объема ЛП, мл/м ²	39,0 \pm 11,2 (21,8; 54,4)	28,9 \pm 6,0* (18,7; 38,8)	31,5 \pm 5,7 (21,3; 54,1)	0,032* p ₁₋₂ < 0,001 p ₁₋₃ = 0,004
Индекс ММЛЖ, г/м ²	102,9 \pm 21,7 (63,1; 141,8)	96,4 \pm 22,0 (48,8; 137,9)	98,5 \pm 24,6 (54,1; 196,2)	0,766
ГЛЖ, n (%)	4 (44,4)	7 (23,3)	23 (34,8)	0,509
Кальциноз фиброзного кольца митрального клапана, n (%)	0 (0)	3 (10)	7 (11)	0,93
ФВ ЛЖ, %	57,0 [55; 57] (37; 60)	59,0 [55; 60] (37; 63)	59,0 [56; 60] (29; 72)	0,214
ГПСД ЛЖ, %	19,3 \pm 3,8 (11,2; 23,1)	19,6 \pm 3,2 (12,6; 25,3)	20,4 [18,4; 22,4] (8,0; 26,9)	0,648
E, см/с	86,6 \pm 22,7 (66,0; 135,0)	66,5 \pm 13,3 (39,0; 97,0)	63,5 \pm 13,2 (40,0; 95,0)	<0,001* p ₁₋₂ = 0,001 p ₁₋₃ < 0,001
A, см/с	66,1 \pm 15,6 (44,0; 91,0)	65,6 \pm 13,8 (41,0; 95,0)	75,2 \pm 14,6 (41,0; 110,0)	0,008* p ₂₋₃ = 0,011
e' _{мед.} , см/с	7,44 \pm 1,1 (5,0; 9,0)	8,1 \pm 2,0 (4,0; 14,0)	7,0 [6,0; 8,0] (4,0; 14,0)	0,047 p ₂₋₃ = 0,044
e' _{лат.} , см/с	9,89 \pm 1,5 (8,0; 12,0)	9,97 \pm 2,3 (6,0; 14,0)	8,79 \pm 2,6 (4,0; 14,0)	0,076
E/e', ед.	9,98 \pm 2,5 (6,9; 15,0)	7,58 \pm 1,9 (3,8; 12,5)	7,7 [6,8; 9,3] (5,2; 13,0)	0,024* p ₁₋₂ = 0,019

Таблица 1 (окончание).

Table 1 (end).

Показатели	1-я группа, n = 9	2-я группа, n = 30	3-я группа, n = 66	p
E/A, ед.	1,37 ± 0,5 (0,78; 2,07)	1,04 ± 0,2 (0,54; 1,46)	0,82 [0,68; 0,94] (0,42; 1,83)	<0,001* p ₁₋₃ = 0,001 p ₂₋₃ = 0,003
ДД ЛЖ, n (%)	6 (66,7)	7 (23,3)	31 (47,0)	0,028* p ₁₋₂ = 0,042 p ₂₋₃ = 0,042

Примечание. * – различие параметра статистически значимо ($p < 0,05$). ИМТ – индекс массы тела; ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания; ЧСС – частота сердечных сокращений; КДР – конечный диастолический размер; ЛП – левое предсердие; ММЛЖ – масса миокарда левого желудочка; ГЛЖ – гипертрофия левого желудочка; ФВ – фракция выброса; ГПСД – глобальная продольная систолическая деформация; ДД ЛЖ – диастолическая дисфункция левого желудочка.

В результате двухэтапного кластерного анализа в структуре исследуемой совокупности были выделены 4 кластера: доля кластера 1 в общей структуре составляла 31,4% (33 пациента), кластера 2 – 25,7% (27 пациентов), кластера 3 – 21,9% (23 пациента) и кластера 4 – 21,0% (22 пациента). На рис. 3 изображена схема принципа разделения на подгруппы проведенного кластерного анализа.

Силуэтная мера связности и разделения составила 0,3, что соответствует среднему качеству кластеров.

Результаты сравнения полученных кластеров по изучаемым признакам представлены в табл. 2.

При сравнении полученных кластеров (см. табл. 2) по изучаемым признакам были установлены статистически значимые различия частоты таких параметров, как наличие диастолической дисфункции, наличие L-волны, соотношение пиков E/A, ин-

декса объема ЛП, скорости пика A, наличие АГ ($p < 0,001$ для каждого параметра), скорости пика E ($p = 0,001$) и возраста ($p = 0,002$).

По результатам оценки признаков в зависимости от принадлежности к кластерам было отмечено, что пациенты из кластера 4 (наличие диастолической дисфункции и L-волны у большинства обследованных в группе) статистически значимо чаще страдали АГ, имели наиболее высокие значения индекса объема ЛП, значения скорости пика E и соотношения E/A, в том числе при сравнении с кластером 2, в котором находились пациенты с диастолической дисфункцией, но без L-волны.

В табл. 3 представлены пространственное распределение частоты регистрации трехфазного кровотока в диастолу в 1-й и 2-й группах, а также максимальная скорость L-волны в различных точках регистрации.

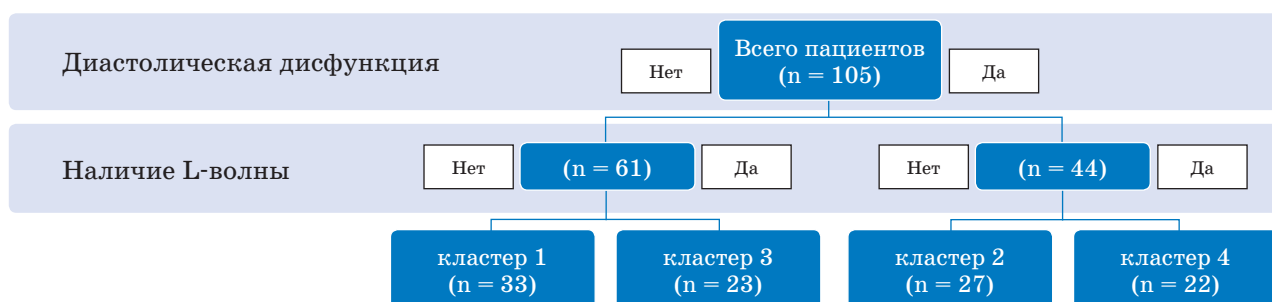


Рис. 3. Схема разделения пациентов на кластеры.

Fig. 3. Scheme of dividing patients into clusters.

Таблица 2. Сравнение кластеров пациентов по изучаемым признакам (n, %), $M \pm SD$, Me [25-й и 75-й квартили], (min; max)**Table 2.** Comparison of patient clusters by the evaluated parameters (n, %), $M \pm SD$, Me [25 and 75 quartiles], (Min; Max)

Показатели (в порядке убывания важности)	Исследуемые кластеры				p
	1 (n = 33)	2 (n = 27)	3 (n = 23)	4 (n = 22)	
Диастолическая дисфункция, абс. (%)	0 (0,0)	27 (100)	0 (0,0)	17 (77,3)	<0,001*
Наличие L-волны, абс. (%)	0 (0,0)	0 (0,0)	23 (100)	16 (72,7)	<0,001*
E/A, ед.	$0,87 \pm 0,22$ (0,54; 1,52)	$0,74 \pm 0,14$ (0,42; 1,02)	$1,09 \pm 0,26$ (0,69; 1,86)	$1,28 \pm 0,42$ (0,54; 2,08)	<0,001* $p_{1-2} = 0,049$ $p_{1-3} = 0,003$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$
Индекс объема ЛП, мл/м ²	29,5 [26,5–32,9] (21,3; 38,8)	34,2 [29,9–36,5] (23,6; 54,1)	25,3 [22,7–30,1] (18,7; 31,7)	38,4 [31,6–42,5] (22,1; 54,4)	<0,001* $p_{1-2} = 0,019$ $p_{1-3} = 0,029$ $p_{1-4} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{3-4} < 0,001$
Скорость пика A, см/с	$72,6 \pm 11,9$ (50; 101)	$83,2 \pm 12,1$ (56; 110)	$63,8 \pm 14,3$ (41; 95)	$64,0 \pm 14,4$ (41; 91)	<0,001* $p_{1-2} = 0,008$ $p_{1-3} = 0,025$ $p_{2-3} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$
Скорость пика E, см/с	$61,8 \pm 11,7$ (42; 82)	$60,7 \pm 11,9$ (40; 91)	$67,7 \pm 12,8$ (39; 97)	$77,9 \pm 19,8$ (45; 135)	0,001* $p_{1-4} = 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$
Артериальная гипертензия, абс. (%)	0 (0,0)	1 (3,7)	0 (0,0)	6 (27,3)	<0,001* $p_{2-4} = 0,019$
Возраст, годы	$66,0 \pm 9,0$ (50; 82)	$65,5 \pm 12,1$ (40; 91)	$54,6 \pm 10,4$ (29; 79)	$60,5 \pm 13,7$ (38; 82)	0,002* $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-3} = 0,002$
E/e', ед.	7,3 [6,6–8,8] (5,2; 12,2)	8,0 [7,1–10,0] (5,4; 13,0)	7,6 [6,1–8,7] (3,8; 12,5)	8,1 [7,0–10,1] (5,8; 15,0)	0,150
ЧСС, уд/мин	67 [59–74] (52; 86)	67 [63–80] (58; 88)	64 [60–69] (54; 75)	65,5 [56–71] (50; 88)	0,158

* – различия статистически значимы ($p < 0,05$).

Таблица 3. Распределение частоты регистрации трехфазного кровотока в диастолу в 1-й и 2-й группах, а также значения максимальной скорости L-волны (n, %), Me [25-й и 75-й квартили], (min; max)**Table 3.** Distribution of the frequency of triphasic blood flow presence in diastole in groups 1 and 2, and the values of the maximum L-wave velocity (n, %), Me [25 and 75 quartiles], (Min; Max)

Место регистрации трехфазного кровотока	1-я группа, n = 9		2-я группа, n = 30	
	n (%)	скорость L-волны, см/с	n (%)	скорость L-волны, см/с
На уровне концов створок митрального клапана	9 (100%)	35 [28; 39] (26; 55)	–	–
На уровне базального отдела ЛЖ	7 (78%)	40 [37; 45] (34; 46)	11 (37%)	36 [32; 38] (26; 48)
На уровне медиального отдела ЛЖ	5 (55%)	39 [33; 42] (29; 43)	27 (90%)	40 [28; 39] (26; 55)

Как представлено в табл. 3, у пациентов с трехфазным трансмитральным кровотоком (1-я группа) L-волна регистрировалась не только на уровне концов створок митрального клапана, но и в большинстве случаев на уровне базального (78%) и на уровне среднего (55%) отделов ЛЖ с убывающей частотой. У обследованных 2-й группы трехфазный кровоток существенно чаще был зарегистрирован в среднем отделе (90%) по сравнению с базальным отделом ЛЖ (37%). При этом медианы скоростей L-волны на уровне базального и среднего отделов ЛЖ были практически одинаковыми в обеих группах.

ОБСУЖДЕНИЕ

По нашим данным, частота выявления трехфазного трансмитрального кровотока составила 8,5%. Это существенно превышает те данные, которые были представлены ранее среди обследованных с синусовым ритмом. Так, J.W. На и соавт. сообщили о частоте трехфазного трансмитрального кровотока в 0,9% среди 9004 обследованных с синусовым ритмом [8], а по данным S.A.Kim и соавт. частота трехфазного трансмитрального кровотока составила 1% в популяции из 20 845 обследованных с синусовым ритмом [9]. В то же время в целом ряде работ у пациентов с гипертрофией ЛЖ, с гипертрофической кардиомиопати-

ей, с выраженным аортальным стенозом, с сердечной недостаточностью трехфазный трансмитральный кровоток регистрировался значительно чаще.

По данным I. Merdler и соавт., трехфазный трансмитральный кровоток регистрировался в 12% случаев из 502 больных с выраженным аортальным стенозом, которым была выполнена транскатетерная имплантация аортального клапана [10]. C.S. Lam и соавт. сообщили о частоте трехфазного трансмитрального кровотока в 20% среди 177 пациентов с синусовым ритмом, гипертрофией ЛЖ и сохранной фракцией выброса ЛЖ [11]. K. Masai и соавт. сообщили о выявлении трехфазного трансмитрального кровотока в 31,7% случаев среди 151 пациента с сердечной недостаточностью [12]. C. Saito и соавт. сообщили о еще большей частоте выявления трехфазного трансмитрального кровотока (32,4%) у 445 пациентов с впервые установленным клиническим диагнозом гипертрофической кардиомиопатии [13]. Таким образом, анализ данных литературы о частоте выявления трехфазного трансмитрального кровотока указывает на значительную зависимость этой частоты от клинической характеристики обследуемых лиц. В общих популяциях обследованных лиц частота трехфазного трансмитрального кровотока не превышает 1%, а в популяциях с аортальным стенозом, гипертрофической кардиомиопатией

и с сердечной недостаточностью наблюдается почти у каждого третьего пациента.

По данным нашего исследования, трехфазный кровоток в полости ЛЖ выявлялся существенно чаще по сравнению с трансмитральным трехфазным кровотоком (28,5% по сравнению с 8,5%, $p < 0,001$). При этом у большинства лиц с трехфазным трансмитральным кровотоком трехфазный характер кровотока сохранялся и на уровне базального отдела ЛЖ (у 7 из 9) и несколько реже и на уровне среднего отдела ЛЖ (у 5 из 9). У пациентов же с внутрижелудочковым трехфазным кровотоком существенно чаще такой кровоток регистрировался в среднем отделе желудочка по сравнению с его базальным отделом (90% по сравнению с 37%, $p < 0,001$). Это позволяет нам предположить различный генез трехфазных трансмитрального и внутрижелудочкового кровотоков.

Как уже отмечалось ранее, точный патофизиологический механизм возникновения L-волны с формированием трехфазного кровотока до сих пор не установлен. Существует по меньшей мере несколько гипотез, с помощью которых пытаются объяснить происхождение L-волны. Первая гипотеза была предложена G. Keren и соавт. еще в 1986 г. [14]. По мнению G. Keren и соавт., быстрый поток раннего наполнения ЛЖ через малоподатливый митральный клапан приводит к падению давления в ЛП настолько, что быстро нарастающее давление в желудочке способно создавать обратный градиент давления, что приводит к остановке антеградного трансмитрального кровотока. Восстановление положительного предсердно-желудочкового градиента давления вследствие поступающей крови из легочных вен приводит к формированию L-волны [12]. Другая гипотеза была предложена L. Hatle [1], в соответствии с которой замедленная релаксация ЛЖ может приводить к формированию L-волны. В продолжение этого предположения C.S. Lam и соавт. показали, что нередко существующая при этом волна движения фиброзного кольца митрального клапана в импульсно-волновом тканевом доплере L' , которая предшествует L-волне трансмитрального кровотока, позволяет предположить процесс активного диастолического подсасывающего эффекта [15]. Вероятно,

трехфазный трансмитральный кровоток с формированием L-волны на уровне створок и является отражением описанных патофизиологических механизмов и именно поэтому у большинства этих пациентов регистрируется диастолическая дисфункция ЛЖ.

Наряду с этим E. Ghosh и соавт. предположили и показали в своем исследовании у здоровых лиц, что L-волна может быть зарегистрирована и при расположении зоны интереса в импульсно-волновом доплеровском режиме на некотором расстоянии от створок митрального клапана по направлению к срединным отделам ЛЖ, и в таком случае L-волна формируется повторным входом (re-entry) вихреобразного потока, обусловленного волной раннего наполнения ЛЖ [16]. Регистрация трехфазного внутрижелудочкового кровотока в полости ЛЖ, вероятно, обусловлена именно этим механизмом повторного входа вихреобразного потока, регистрируется существенно чаще именно дистальнее митрального клапана, и у таких пациентов диастолическая дисфункция регистрируется существенно реже.

Таким образом, трехфазный трансмитральный кровоток регистрируется существенно реже по сравнению с трехфазным внутрижелудочковым кровотоком (8,5% по сравнению с 28,5%). Трехфазный трансмитральный и трехфазный внутрижелудочковый кровотоки, вероятно, обусловлены различными механизмами их возникновения. При регистрации трехфазного трансмитрального кровотока следует убедиться в правильном позиционировании контрольного объема в импульсно-волновом доплеровском режиме на уровне концов створок митрального клапана. Трехфазный трансмитральный кровоток обычно наблюдается у пациентов с диастолической дисфункцией ЛЖ. При обнаружении трехфазного внутрижелудочкового кровотока его не следует расценивать как ассоциированный с диастолической дисфункцией ЛЖ.

Наши предположения носят косвенный характер, и мы выражаем надежду, что новые технологии с картированием внутрисердечных потоков позволят более доказательно объяснить природу трехфазных трансмитрального и трехфазного трансжелудочкового кровотоков.

Ограничения исследования

Основным ограничением нашего исследования является отсутствие верифицирующего метода оценки состояния диастолической функции ЛЖ, так как инвазивные исследования не выполнялись у обследованных нами лиц.

Исследование выполнено на селективной группе пациентов, что не позволяет перенести его результаты на всю популяцию пациентов с потенциально возможной диастолической дисфункцией ЛЖ, в частности на лиц с гипертрофией миокарда ЛЖ, клапанными пороками сердца. Очевидно, что указанные и другие группы пациентов требуют специального изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трехфазный трансмитральный кровоток регистрируется существенно реже по сравнению с трехфазным внутрижелудочковым кровотоком (8,5% по сравнению с 28,5%). Трехфазный трансмитральный кровоток чаще наблюдается у пациентов с диастолической дисфункцией левого желудочка. При обнаружении трехфазного внутрижелудочкового кровотока его не следует расценивать как ассоциированный с диастолической дисфункцией левого желудочка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [REFERENCES]

- Hatle L. Doppler echocardiographic evaluation of diastolic function in hypertensive cardiomyopathies. *Eur. Heart J.* 1993; 14, Suppl. J: 88–94. PMID: 8281971
- Di Virgilio E., Monitillo F., Santoro D. et al. Mid-Diastolic Events (L Events): A Critical Review. *J. Clin. Med.* 2021; 10 (23): 5654. <http://doi.org/10.3390/jcm10235654>
- Masai K., Mano T., Goda A. et al. Correlates and Prognostic Values of Appearance of L Wave in Heart Failure Patients With Preserved vs. Reduced Ejection Fraction. *Circ. J.* 2018; 82 (9): 2311–2316. <http://doi.org/10.1253/circj.CJ-18-0417>
- Su H.M., Lin T.H., Hsu P.C. et al. Incremental prognostic value of identifying mitral L wave in patients with atrial fibrillation. *Int. J. Cardiol.* 2013; 168 (4): 4501–4503. <http://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.06.118>
- Ghosh E., Caruthers S.D., Kovács S.J. E-wave generated intraventricular diastolic vortex to L-wave relation: model-based prediction with in vivo validation. *J. Appl. Physiol.* (1985). 2014; 117 (3): 316–324. <http://doi.org/10.1152/japplphysiol.00215.2014>
- Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2015; 16 (3): 233–270. <http://doi.org/10.1093/ehjci/jev014>
- Nagueh S.F., Smiseth O.A., Appleton C.P. 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): 277–314. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2016.01.011>
- Ha J.W., Oh J.K., Redfield M.M. et al. Triphasic mitral inflow velocity with middiastolic filling: clinical implications and associated echocardiographic findings. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2004; 17 (5): 428–431. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2004.02.007>
- Kim S.A., Son J., Shim C.Y. et al. Long-term outcome of patients with triphasic mitral flow with a mid-diastolic L wave: prognostic role of left atrial volume and N-terminal pro-brain natriuretic peptide. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2017; 33 (9): 1377–1384. <http://doi.org/10.1007/s10554-017-1122-2>
- Merdler I., Richert E., Hochstadt A. et al. Echocardiographic L-wave as a prognostic indicator in transcatheter aortic valve replacement. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2020; 36 (10): 1897–1905. <http://doi.org/10.1007/s10554-020-01903-8>
- Lam C.S., Han L., Oh J.K. et al. The mitral annular middiastolic velocity curve: functional correlates and clinical significance in patients with left ventricular hypertrophy. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008; 21 (2): 165–170. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2007.05.027>
- Masai K., Mano T., Goda A. et al. Correlates and Prognostic Values of Appearance of L Wave in Heart Failure Patients With Preserved vs. Reduced Ejection Fraction. *Circ. J.* 2018; 82 (9): 2311–2316. <http://doi.org/10.1253/circj.CJ-18-0417>
- Saito C., Minami Y., Arai K. et al. Prognostic Significance of the Mitral L-Wave in Patients With Hypertrophic Cardiomyopathy. *Am. J. Cardiol.* 2020; 130: 130–136. <http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2020.05.040>
- Keren G., Meisner J.S., Sherez J. et al. Interrelationship of mid-diastolic mitral valve motion, pulmonary venous flow, and transmitral flow. *Circulation.* 1986; 74 (1): 36–44. <http://doi.org/10.1161/01.cir.74.1.36>
- Lam C.S., Han L., Oh J.K. et al. The mitral annular middiastolic velocity curve: functional correlates and clinical significance in patients with left ventricular hypertrophy. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008; 21 (2): 165–170. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2007.05.027>
- Ghosh E., Caruthers S.D., Kovács S.J. E-wave generated intraventricular diastolic vortex to L-wave relation: model-based prediction with in vivo validation. *J. Appl. Physiol.* (1985). 2014; 117 (3): 316–324. <http://doi.org/10.1152/japplphysiol.00215.2014>

Triphasic diastolic transmitral and intraventricular blood flows and their relationship with LV diastolic dysfunction according to echocardiography

M.N. Alekhin^{1,2}, A.M. Grishin¹, A.V. Skripnikova¹, A.Yu. Kapustina^{1,2*}

¹ Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation;
15, Marshal Timoshenko str., Moscow 121359, Russian Federation

² Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation;
19-1A, Marshal Timoshenko str., Moscow 121359, Russian Federation

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

Aleksey M. Grishin – Cand. Sci. (Med.), doctor of functional diagnostics, Central Clinical Hospital with Outpatient Clinic of Department of Presidential Affairs, Moscow. <https://orcid.org/0009-0001-7102-5614>

Anna V. Skripnikova – doctor of functional diagnostics, Central Clinical Hospital with Outpatient Clinic of Department of Presidential Affairs, Moscow. <https://orcid.org/0009-0007-3541-0834>

Anastasiya Yu. Kapustina – functional diagnostics doctor, Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation; Assistant Professor, Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-7072-9783>

Correspondence* to Dr. Anastasiya Yu. Kapustina – e-mail: nast.capustina@yandex.ru

An acceleration of blood flow in the diastasis phase with the formation of the so-called L-wave may be found in some patients. The transmitral blood flow is transformed into a triphasic in the presence of L-wave.

Objective: to assess the frequency of L-wave presence and to evaluate the relationship between the presence of L-wave in Doppler imaging of left ventricular blood flow, transmitral blood flow at the level of the mitral valve leaflets, and modern criteria for assessing left ventricular diastolic function.

Material and methods. The study included 105 patients (age 62.21 ± 11.97 (29–91) years, 61 men) with sinus rhythm. From a total of examined patients, 30 were conditionally healthy, 64 patients suffered from coronary heart disease, and 11 suffered from arterial hypertension. Pulsed-wave Doppler ultrasound of transmitral flow was performed in the apical 4-chamber view with the sample volume located at the level of the ends of the mitral valve leaflets, as well as at the level of the basal and middle segments of the left ventricle. The distinct positive wave on the spectrogram during the diastasis phase with a speed exceeding 20 cm/s was considered an additional L-wave, and such blood flow in diastole was considered triphasic.

Results. Triphasic transmitral blood flow was found in 9 patients (8.5%), and triphasic intraventricular blood flow in another 30 patients (28.5%). Patients with triphasic transmitral blood flow were older, with a greater left atrial volume index, and LV diastolic dysfunction was more often detected compared to patients with triphasic intraventricular blood flow (66.7% compared to 23.3%, $p = 0.042$).

Conclusion. Triphasic transmitral blood flow is revealing significantly less frequently than triphasic intraventricular blood flow (8.5% compared to 28.5%, $p < 0.001$). Triphasic transmitral blood flow is more often observed in patients with left ventricular diastolic dysfunction.

Keywords: *L wave; intraventricular vortex; diastolic function; left ventricular; Doppler echocardiography*

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Alekhin M.N., Grishin A.M., Skripnikova A.V., Kapustina A.Yu. Triphasic diastolic transmitral and intraventricular blood flows and their relationship with LV diastolic dysfunction according to echocardiography. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2024; 3: 9–20. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-092> (In Russian)