

Пичкуре Ж.^{1,2}, Калинин А.^{1,2}, Лейниекс А.², Алехин М. Н.^{3,4}

¹«Рижская восточная клиническая университетская больница», клиника Гайлезерс, Рига, Латвия

²«Рижский университет им. П. Страдыня», Рига, Латвия

³ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» УД Президента РФ, Москва

⁴ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» УД Президента РФ, Москва

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЭХОКАРДИОГРАФИИ В ОЦЕНКЕ ФУНКЦИИ ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА

Ключевые слова: правый желудочек, деформация миокарда правого желудочка, трехмерная эхокардиография, фракция выброса правого желудочка.

Ссылка для цитирования: Пичкуре Ж., Калинин А., Лейниекс А., Алехин М.Н. Современные методы эхокардиографии в оценке функции правого желудочка. Кардиология. 2017;57(9):54–64.

РЕЗЮМЕ

Обзор посвящен новым возможностям эхокардиографии в оценке функции правого желудочка (ПЖ), таким как метод двухмерного отслеживания пятен серой шкалы и метод определения объемов ПЖ по трехмерной модели. Субклинические изменения функции ПЖ имеют большое значение при диагностике и оценке прогноза множества сердечно-сосудистых и некардиальных патологий. Метод двухмерного отслеживания пятен серой шкалы позволяет определить показатели продольной деформации миокарда ПЖ, соответственно, и патологические изменения еще до их клинического проявления. Трехмерная эхокардиография, в свою очередь, дает возможность вычислить фракцию выброса ПЖ, что было невозможно, используя ультразвук, сделать ранее. На данный момент оба метода являются перспективными для комплексной оценки функции ПЖ.

Pickure Z.^{1,2}, Kalinin A.^{1,2}, Lejnieks A.², Alekhin M. N.^{3,4}

¹Riga East Clinical University Hospital, Clinical centre Gailezers, Riga, Latvia

²Riga Stradiņš University, Riga, Latvia

³Central Clinical Hospital with Polyclinic of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁴Central State Medical Academy, President Management Department RF, Moscow, Russia

CURRENT ECHOCARDIOGRAPHIC TECHNIQUES FOR EVALUATION OF THE RIGHT VENTRICLE

Keywords: right ventricle; myocardial deformation; three-dimensional echocardiography; right ventricular ejection fraction.

For citation: Pickure Z., Kalinin A., Lejnieks A., Alekhin M. N. Current Echocardiographic Techniques for Evaluation of the Right Ventricle. Kardiologija. 2017;57(9):54–64.

SUMMARY

The review is dedicated to the new echocardiographic techniques in the assessment of right ventricular (RV) function, such as two-dimensional speckle tracking and determining the RV volume by a three-dimensional model. Subclinical changes in RV function are of great importance for the diagnosis and assessment of prognosis of multiple cardiovascular as well as non-cardiac pathologies. Two-dimensional speckle tracking allows to assess longitudinal strain of the RV myocardium and to detect pathological changes before their clinical manifestations. Three-dimensional echocardiography enables calculation of the RV ejection fraction, what was not possible before with the use of ultrasound. Currently, both methods are promising for a comprehensive assessment of RV function.

Обычно правому желудочку (ПЖ) уделялось значительно меньше внимания, чем левым камерам сердца. Только в последнее десятилетие появилось множество научных исследований, в которых основное внимание уделено различиям по анатомическому строению, физиологии и реакции на патологические состояния между ПЖ и левым желудочком (ЛЖ), и изменения функции ПЖ оказались немаловажными при оценке прогноза для пациентов.

В норме ПЖ располагается спереди, за грудиной. Форма ПЖ значительно сложнее формы ЛЖ. Если ЛЖ образует конус, то ПЖ больше напоминает треугольник с вершиной, направленной вниз. В поперечном разрезе он имеет форму полумесяца и огибает ЛЖ [1]. В полости ПЖ выделяют несколько отделов – приносящий тракт, выносящий тракт, и апикальную трабекулированную часть [1, 2]. Саму полость ПЖ образуют межжелудочковая перегородка с медиальной стороны и свободная стен-

ка, которую, в свою очередь, можно разделить на 3 части – переднюю, боковую и нижнюю стенку. Каждая из них имеет 3 сегмента – базальный, средний и апикальный. Мышечный слой ПЖ значительно тоньше миокарда ЛЖ. В среднем толщина здорового миокарда составляет 3–5 мм, не включая толщину трабекул. А в зоне верхушки ПЖ зачастую толщина миокарда ненамного превышает 1 мм [2]. Морфологические особенности ПЖ и ЛЖ обусловлены различными условиями, в которых они функционируют. В связи с другим расположением миоцитов и сравнительно тонким миокардом, механика сокращения ПЖ не повторяет процесс сокращения ЛЖ. Основное сокращение ПЖ происходит в продольном направлении, начинаясь с приносящего тракта, верхушки ПЖ, и распространяется по направлению к выносящему тракту. Ротация и циркулярное сокращение в случае ПЖ имеют гораздо меньшую роль [3, 4]. Адекватный выброс ПЖ обеспечивают сразу несколько механизмов. Это и продольное сокращение, в ходе которого фиброзное кольцо трикуспидального клапана притягивается по направлению к верхушке, и движение свободной стенки ПЖ к центру, а также движение межжелудочковой перегородки [1]. При патологических состояниях перегрузку объемом ПЖ переносит хорошо, первоначально изменяя геометрию, но не функцию. Физиологическое повышение преднагрузки даже увеличивает выброс ПЖ. Однако, если перегрузка объемом длительная и патологическая, выброс ПЖ снижается. К изменениям посленагрузки ПЖ гораздо чувствительнее и реагирует быстрее. Возможностей адаптации к перегрузке давлением меньше, и это быстрее приводит к снижению минутного объема [1, 5]. Подобные топографические, анатомические, морфологические и функциональные отличия ПЖ значительно усложняют его неинвазивное исследование по сравнению с ЛЖ.

Зачастую специалисты в исследовании ПЖ ограничиваются лишь его визуальной оценкой, и в ряде случаев это может быть оправдано, значительно сокращая время исследования. Однако на деле и количественная оценка ПЖ также должна проводиться в рамках стандартного обследования. Среди стандартных способов оценки ПЖ – измерения его размеров, непрямая оценка функции ПЖ с помощью систолической экскурсии плоскости трикуспидального кольца, систолической скорости латеральной части трикуспидального кольца, с помощью тканевой доплерографии и индекса производительности миокарда.

Оценка деформации миокарда ПЖ

Традиционные методы эхокардиографического исследования ПЖ позволяют оценить размеры полости и глобальную функцию в случае нормы и патологии. Однако, учитывая сложную анатомическую форму ПЖ, ретро-

стернальное расположение, выраженную трабекуляцию и, соответственно, затруднительную визуализацию, большинство этих параметров дают не полное, а лишь ориентировочное представление об изменениях глобальной функции ПЖ. Сегментарная же функция оценивается визуально, а значит, субъективно. Помочь объективизировать данные о сегментарной механической функции ПЖ способен относительно новый не-доплеровский метод двухмерной (2D) серошкальной деформации. Более того, этот метод позволяет оценить механическую функцию миокарда в течение всего сердечного цикла и определить ее субклинические изменения, что невозможно с помощью стандартных методов исследования.

Систолическая деформация миокарда – это пропорциональное уменьшение длины в систолу по отношению к начальной длине, выраженное в процентах. При исследовании деформации укорочение принято считать негативным показателем, поэтому продольная систолическая деформация миокарда в норме – отрицательное число. Однако, чтобы избежать сложностей интерпретации результатов, в дальнейшем в статье будет использоваться модуль абсолютных значений систолической деформации (например, «20%» вместо «-20%»). Продольная систолическая деформация может быть рассчитана как для каждого сегмента в отдельности, так и для всей стенки ПЖ. Метод 2D-серошкальной деформации позволяет оценить деформацию миокарда и по многим другим показателям, один из которых – градиент скорости деформации. Несмотря на то что систолическая деформация и градиент скорости деформации миокарда могут быть использованы для оценки систолической функции, это не прямые показатели сократимости миокарда и они зависимы от нагрузки. Однако деформация и сократимость связаны между собой.

Не доплеровская оценка деформации, или оценка по 2D-отслеживанию пятен серой шкалы ультразвукового изображения, основывается на анализе движения естественных маркеров миокарда. В течение сердечного цикла с помощью специального программного обеспечения покадрово отслеживается изображение этих маркеров – пятен серой шкалы. Смещение маркеров на изображении отражает локальное движение тканей. При известном количестве кадров в секунду по изменению позиции маркеров можно высчитать скорость движения, а затем и деформацию, градиент скорости деформации. Основное преимущество метода – независимость от угла сканирования. Он позволяет определить движение пятен серой шкалы в 2D-пространстве, а не только по направлению ультразвукового луча, как в случае тканевой доплерографии [6, 7]. Из недостатков метода нужно отметить неадекватное отслеживание пятен серой шкалы в случае недостаточно хорошей

видимости миокарда, когда выбранный маркер становится невозможно отследить в каждом кадре. Это приводит к неточной или ошибочной оценке показателей деформации. Более того, при применении метода важны пространственное разрешение и разрешение по времени. Конечный результат измерений подвержен влиянию реверберации и артефактов, которые могут напоминать используемые маркеры миокарда. Важна также оптимальная ориентация плоскости изображения по длинной или короткой оси. При оценке миокарда ПЖ дополнительные сложности в измерении деформации представляют тонкий слой миокарда и большая амплитуда движения свободной стенки, в особенности базальных частей, по сравнению с ЛЖ [6–9].

На данный момент среди исследователей нет согласованной терминологии, что именно называть глобальной продольной деформацией (ПД) ПЖ. В отличие от ЛЖ, измерения ПД ПЖ проводятся в основном в одной – четырехкамерной позиции. Более того, в разных исследованиях под глобальной ПД ПЖ подразумеваются показатели, полученные с применением разной методики измерения. Это могут быть измерения только деформации

свободной (латеральной) стенки ПЖ или же измерения, включающие как свободную стенку ПЖ, так и межжелудочковую перегородку (рис. 1). Так как систолическая деформация перегородки в норме меньше деформации свободной стенки ПЖ, данные исследований, полученные разными методами, невозможно сравнивать [10]. При сравнении данных исследований следует также учитывать и различные версии программного обеспечения, алгоритмы отслеживания которого постоянно совершенствуются, что может привести к различию полученных чисел деформации при одинаковых остальных условиях. В настоящее время только в некоторых исследованиях, помимо систолической ПД латеральной стенки ПЖ, включены и показатели нижней стенки ПЖ. Из этого можно сделать вывод, что термин «глобальная» деформация ПЖ зачастую используется неточно.

В соответствии с рекомендациями Американского общества эхокардиографии (ЭхоКГ) и Европейской ассоциации специалистов по методам визуализации сердечно-сосудистой системы (2015 г.) 2D-серошкальная ПД свободной стенки ПЖ в норме составляет $29 \pm 4,5\%$, а убедительно патологически сниженная деформация $< 20\%$ [8,

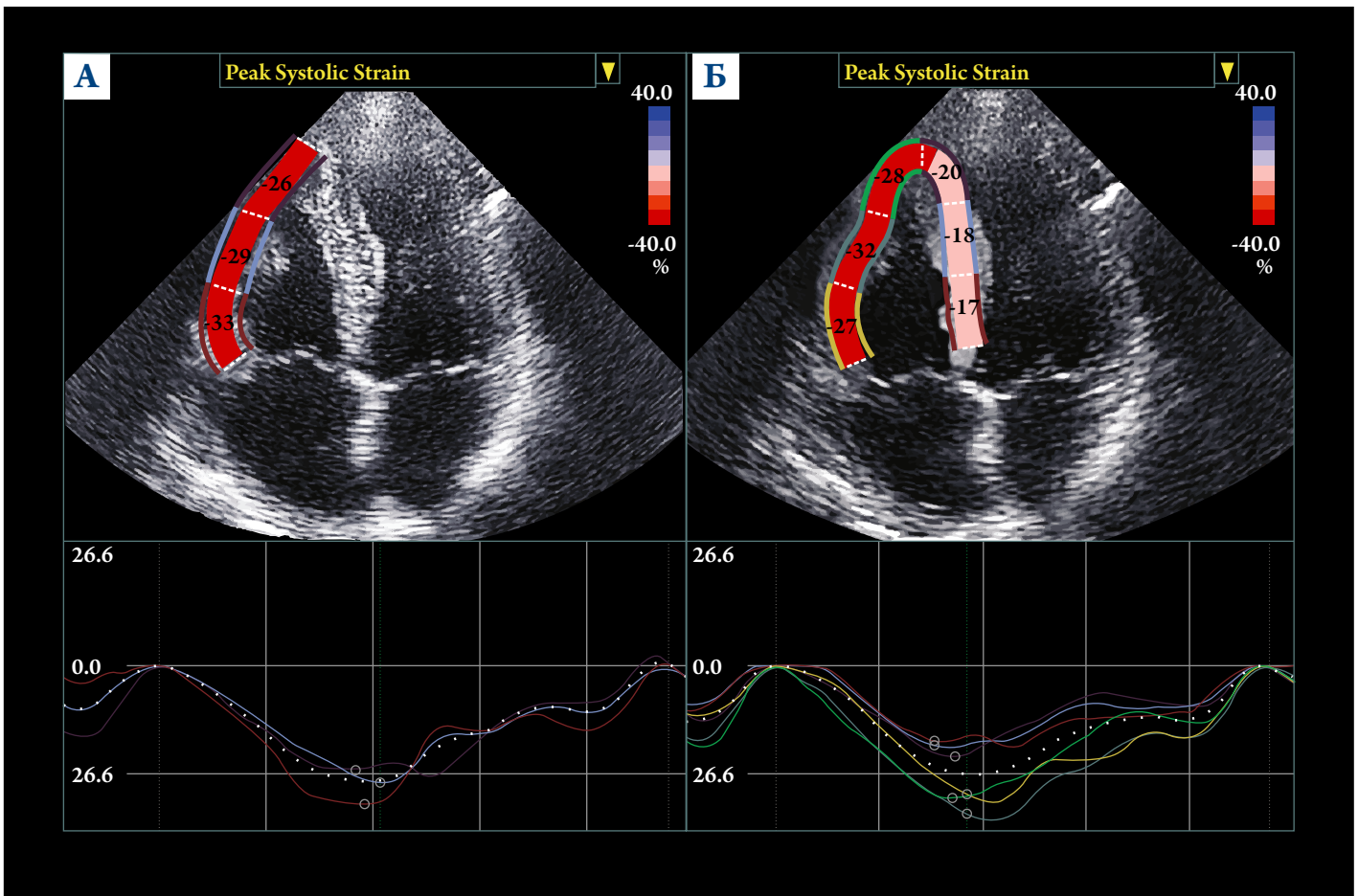


Рис. 1. Измерение ПД ПЖ.

А – измерение ПД только свободной стенки ПЖ, ПД 27%; Б – измерение ПД свободной стенки ПЖ и межжелудочковой перегородки, ПД 23,6%.

Здесь и на рис. 2, 3: ПД – продольная деформация; ПЖ – правый желудочек.

11]. Однако на указанный референтный интервал для этого показателя возможно влияние программного обеспечения одного производителя, так как большинство обработанных данных были собраны в одном центре. До сих пор для измерения систолической деформации ПЖ в абсолютном большинстве было использовано программное обеспечение, адаптированное для ПЖ, однако разработанное для исследования ЛЖ [8]. Недостает и проверенных норм отдельно для каждого сегмента стенок ПЖ. Изменение сегментарной деформации ПЖ при некоторых патологических состояниях является даже более существенным и ранним признаком, чем изменение среднего показателя деформации всех сегментов свободной стенки. Например, это справедливо в случае аритмогенной дисплазии ПЖ, при которой показатели продольной деформации начинают уменьшаться с субтрикуспидального региона [12, 13].

С развитием трехмерной ЭхоКГ (3D-ЭхоКГ) в реальном времени (РВ) была предложена и новая технология для оценки деформации миокарда – трехмерное (3D) отслеживание движения естественных акустических маркеров миокарда (англ. 3D wall motion tracking). Это дает возможность ввести в практику и новый параметр – деформация площади (англ. area strain). Отслеживая движение двух разных точек в 3D-пространстве, можно определить деформацию миокарда сразу по трем осям, которые соответствуют продольной, циркулярной и радиальной деформации. Комбинируя показатели продольной и циркулярной деформации определенного сегмента миокарда, получают показатель деформации субэндокардиальной площади – изменения площади, выраженные в процентах по отношению к исходному значению. Этот показатель обратно пропорционален деформации по третьей оси – в радиальном направлении [14]. Преимущество метода состоит в том, что это позволяет избежать неадекватного отслеживания акустических маркеров миокарда в случае, когда они выходят из определенной 2D-плоскости, делая измерения деформации более точными. Более того, 3D-ЭхоКГ-РВ дает одномоментную запись сразу всех необходимых позиций в рамках одного сердечного цикла. Недостатки метода 3D-оценки деформации те же, что и у 3D-ЭхоКГ в целом – низкая частота кадров в секунду и неправильное «склеивание» нескольких изображений в одно (stiching), что все еще приводит к неточным измерениям. В случае ПЖ 3D-деформация площади является более перспективной в сравнении с 2D-серошкальной деформацией из-за сложного анатомического строения ПЖ. В начале 2016 г. группа японских ученых опубликовала данные о применении новой системы 3D-отслеживания акустических маркеров, которая была разработана специально для оценки деформации ПЖ. Результаты были подтверждены с помощью сономикрометрии и признаны удовлетворительными

для определения как сегментарной, так и глобальной деформации ПЖ [15]. На протяжении нескольких лет до этого проводились исследования деформации ПЖ с применением программного обеспечения, разработанного для ЛЖ. В рекомендациях Американского общества ЭхоКГ и Европейской ассоциации специалистов по методам визуализации сердечно-сосудистой системы 2015 г. по количественным измерениям камер сердца нормы для 3D-деформации ПЖ или деформации площади не определены [8].

Клиническое и прогностическое значение определения деформации ПЖ

Значение изменения ПД ПЖ было исследовано при многих патологических состояниях. В случае аритмогенной дисплазии ПЖ было выяснено, что показатели деформации ПЖ значительно снижены не только у пациентов с убедительными изменениями при проведении ЭхоКГ, но и у пациентов с еще нормальными измерениями ПЖ, и поэтому могут служить ранним диагностическим критерием [10]. В исследовании К.Р. Prakasa и соавт., выполненном в 2007 г., была сопоставлена ПД ПЖ в группе 30 пациентов с аритмогенной дисплазией ПЖ и соответствующих показателей в контрольной группе. Было установлено, что при значениях ПД ЛЖ меньше 18% можно достаточно достоверно (чувствительность 73%, специфичность 87%) идентифицировать больных аритмогенной дисплазией ПЖ среди возможных больных [16]. Снижение деформации базальных сегментов ПЖ, выявляющее субклинические изменения, повышает чувствительность и специфичность диагностики аритмогенной дисплазии и у бессимптомных носителей мутации гена, что было продемонстрировано в более позднем исследовании учеными из Нидерландов под руководством А. J. Teske [12]. Пиковая систолическая деформация меньше 18% в исследовании 14 носителей патогенетической мутации плакофилина-2 была выявлена в 43% случаев, постсистолическая деформация – в 64% случаев. В целом у 71% носителей мутации были обнаружены функциональные изменения хотя бы по одному из параметров. Все эти изменения регистрировались в базальном отделе ПЖ. Следует добавить, что подобных изменений ни у одного участника контрольной группы выявлено не было [12].

Доказано, что у больных с верифицированной ишемической болезнью сердца на ПД ПЖ оказывают влияние нарушения локальной сократимости как задней, так и передней стенки ЛЖ [17]. При остром инфаркте миокарда разной локализации показатель ПД свободной стенки ПЖ является сильным дополнительным предиктором для оценки риска смерти (от всех причин) и повторных госпитализаций из-за сердечной недостаточности

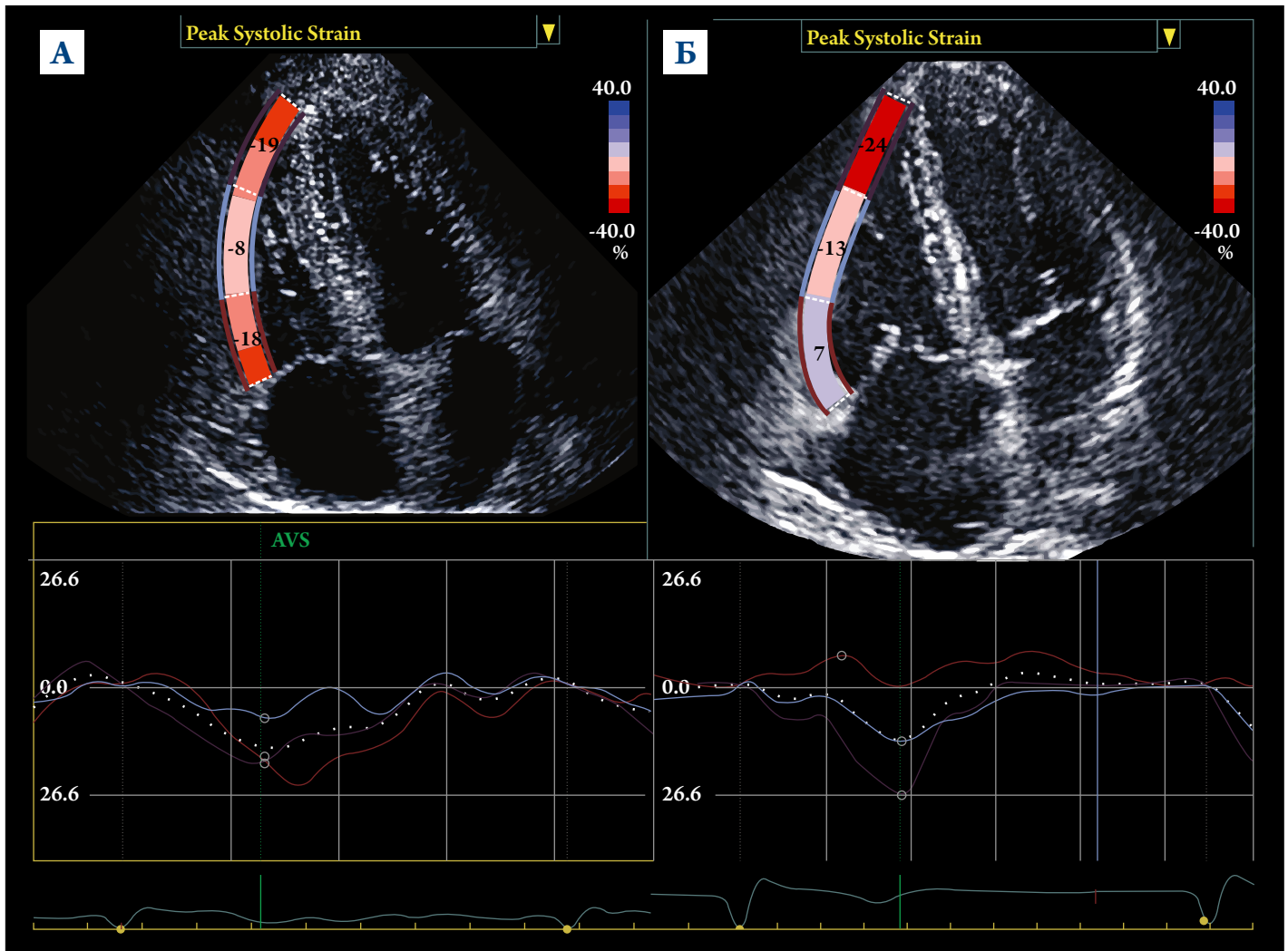


Рис. 2. ПД свободной стенки ЛЖ у больных острым инфарктом ЛЖ.

А – ПД ЛЖ – 13,2%; Б – ПД ЛЖ – 10,3%.

(рис. 2). В рамках одного из проспективных исследований с участием 621 пациента ПД ЛЖ оказалась показателем, обладающим независимой предсказательной ценностью при оценке риска смерти и госпитализации, после коррекции по всем другим известным факторам риска после острого инфаркта миокарда (относительный риск – ОР 1,08 при 95% доверительном интервале – ДИ от 1,03 до 1,13). Однако при этом ПД ЛЖ не привнесла прогностической пользы в случае нефатального повторного инфаркта. Граница (cut-off) ПД ЛЖ 22,1% ассоциировалась с уточненными показателями ОР 2,18 [18]. Более того, ПД ЛЖ обладает высокой диагностической ценностью в выявлении дисфункции ЛЖ после инфаркта (AU-ROC 0,724 при 95% ДИ от 0,590 до 0,857), лучше традиционно используемых эхокардиографических параметров, коррелируя с фракцией выброса (ФВ) ЛЖ, уточненной с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ) сердца ($r = -0,459$; $p < 0,0001$) [19].

При легочной гипертензии оценка деформации ЛЖ признана эффективным способом для определения реги-

ональной и глобальной дисфункции, мониторингования эффективности терапии, прогноза сердечно-сосудистых осложнений и риска смерти. Отчасти это обусловлено тем, что показатель ПД ЛЖ коррелирует со средним давлением в легочной артерии и индексом легочного сосудистого сопротивления [20–24]. При легочной гипертензии показатели ПД ЛЖ и скорости деформации достоверно более явно снижены в апикальной части ЛЖ, чем в базальных сегментах ($p < 0,0001$ и $p < 0,002$ соответственно). Снижение апикальной деформации зависело от выраженности посленагрузки ЛЖ. Кроме того, показатели апикальной ПД ЛЖ коррелируют с инвазивно определенным средним давлением легочных артерий ($R = 0,82$; $p < 0,001$), легочным сосудистым сопротивлением ($R = 0,73$; $p < 0,001$) и эхокардиографически определенными гемодинамическими параметрами, размерами ЛЖ, глобальной функцией и толерантностью пациента к физическим нагрузкам [20]. Такие же выводы сделаны и в отношении деформации свободной стенки ЛЖ по всем сегментам [21]. Для прогнозирования сердечно-сосудистых осложнений у больных

ПОСТОЯННЫЙ КОНТРОЛЬ ДАВЛЕНИЯ¹ –



СТАБИЛЬНОСТЬ² ЖИЗНИ ПАЦИЕНТА!³⁻⁵

- Контролирует АД в течение 24 часов¹
Снижает АД в ранние утренние часы и ночью⁶
- Снижает частоту
сердечно-сосудистых осложнений^{3-5, 7}
Уменьшает сердечно-сосудистую смертность,
риск инфарктов и инсультов^{3-5, 7}



Краткая инструкция по медицинскому применению лекарственного препарата Телзап®

Регистрационный номер: ЛП-003545, дата последнего изменения инструкции – 5.10.2016. **Международное непатентованное название:** телмисартан. **Лекарственная форма:** таблетки. **Фармакотерапевтическая группа:** ангиотензина II рецепторов антагонист. **Код АТХ:** С09СА07. **Показания к применению:** эссенциальная гипертензия; снижение смертности и частоты сердечно-сосудистых заболеваний у взрослых пациентов: с сердечно-сосудистыми заболеваниями атеротромботического генеза (ишемическая болезнь сердца, инсульт или поражение периферических артерий в анамнезе), с сахарным диабетом 2 типа с поражением органов-мишеней. **Противопоказания:** повышенная чувствительность к активному веществу или любым вспомогательным веществам препарата; беременность и период грудного вскармливания; obstructивные заболевания желчевыводящих путей; тяжелые нарушения функции печени (класс С по классификации Чайлд-Пью); совместное применение с алискиреном у пациентов с сахарным диабетом или тяжелым нарушением функции почек (СКФ менее 60 мл/мин/1,73 м² площади поверхности тела); наследственная непереносимость фруктозы; одновременное применение с ингибиторами АПФ у пациентов с диабетической нефропатией; возраст до 18 лет. **С осторожностью:** двусторонний стеноз почечных артерий или стеноз артерии единственной функционирующей почки; нарушение функции почек; легкие и умеренные нарушения функции печени; снижение ОЦК на фоне предшествующего приема диуретиков, ограничения потребления поваренной соли, диареи или рвоты, гипонатриемия; гиперкалиемия; состояние после трансплантации почки; тяжелая хроническая сердечная недостаточность; стеноз аортального и митрального клапана; гипертрофическая obstructивная кардиомиопатия; первичный гиперальдостеронизм; применение у пациентов негроидной расы. **Способ применения и дозь:** внутрь, один раз в сутки, запивая жидкостью, вне зависимости от приема пищи. Артериальная гипертензия: начальная доза препарата составляет 40 мг один раз в сутки. В случаях, когда терапевтический эффект не достигается, доза препарата может быть увеличена до максимальной – 80 мг один раз в сутки. Снижение смертности и частоты сердечно-сосудистых заболеваний: рекомендованная доза – 80 мг 1 раз в сутки. В начальный период лечения рекомендуется наблюдение за уровнем АД, может потребоваться коррекция гипотензивной терапии. У пациентов с тяжелой почечной недостаточностью или находящихся на гемодиализе рекомендована более низкая начальная доза – 20 мг в сутки. У пациентов с легкой и умеренной степенью печеночной недостаточности препарат назначается с осторожностью, доза не должна превышать 40 мг один раз в сутки. **Побочное действие** (см. полную инструкцию по применению, приведены частые, очень частые и способные причинить серьезный ущерб здоровью побочные эффекты): выраженное снижение АД, ортостатическая гипотензия, спонгиоз, анемия, тромбоцитопения, ангионевротический отек, нарушение функции почек, включая острую почечную недостаточность. Для ознакомления с побочными эффектами, возникающими нечасто, редко и очень редко, ознакомьтесь с официальной инструкцией по медицинскому применению лекарственного препарата. **Формы выпуска:** таблетки 40 и 80 мг. **Срок годности:** 2 года. Не использовать по истечении срока годности, указанного на упаковке. **Условия отпуска из аптек:** по рецепту.

1. Nalbantgil I. et al. The efficacy of telmisartan compared with perindopril in patients with mild-to-moderate hypertension. Int J Clin Pract, 2004 Dec; 58 (Suppl.145): 50-54. 2. Под стабильностью жизни подразумевается снижение смертности и частоты сердечно-сосудистых заболеваний у взрослых пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями атеротромботического генеза (ишемическая болезнь сердца, инсульт или поражение периферических артерий в анамнезе) и сахарным диабетом II типа с поражением органов-мишеней. 3. Инструкция по применению лекарственного препарата для медицинского применения Телзап®, ЛП-003545, 05.10.2016. 4. ONTARGET Investigators. N. Engl. J. Med. 2008; 358: 1547–1549. 5. TRANSCEND Investigators. Lancet. 2008; 372 (9644): 1174–1183. 6. Williams B. et al. J. Hum. Hypertens. 2009; 23 (9): 610–619. 7. У взрослых пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями атеротромботического генеза (ишемическая болезнь сердца, инсульт или поражение периферических артерий в анамнезе) и сахарным диабетом II типа с поражением органов-мишеней.

Информация предназначена для специалистов здравоохранения. Ознакомьтесь с полной инструкцией по применению препарата

Представительство АО «Санofi-авентис груп» (Франция)
125009, Москва, ул. Тверская, 22. Тел.: (495) 721-14-00, факс: (495) 721-14-11. www.sanofi.ru
SARU.GTELMIZ.17.08.1187

легочной гипертензией как наиболее точный был отмечен рубеж ПД свободной стенки ПЖ 19,4% с чувствительностью 90% и специфичностью 69% (AUC 0,819; $p=0,0001$) [22]. Результаты другого исследования с применением 2D- и 3D-ЭхоКГ подтверждают, что у больных и с прекапиллярной ($p<0,0001$) и с посткапиллярной ($p<0,01$) легочной гипертензией значения 2D/3D-продольной деформации и 3D ФВ ПЖ достоверно снижены по сравнению с контрольной группой здоровых лиц. 3D ПД свободной стенки ПЖ (ОР 4,6 при 95% ДИ от 2,79 до 8,38; $p=0,0004$) и 3D ФВ ПЖ (ОР 5,3 при 95% ДИ от 2,85 до 9,89; $p=0,002$) оказались независимыми предикторами смерти. Границы для упомянутых параметров, предлагающих адекватный компромисс между чувствительностью и специфичностью для определения гемодинамических признаков недостаточности ПЖ (сердечный индекс <2 л/мин/м² и давление в правом предсердии >15 мм рт. ст.): 39% для 3D ФВ (AUC 0,89), 17% для 3D ПД свободной стенки ПЖ (AUC 0,88), 18% для 2D ПД свободной стенки ПЖ (AUC 0,88), 16% для 2D-деформации апикального сегмента свободной стенки ПЖ (AUC 0,85) [23].

Помимо упомянутых патологических состояний имеются пока единичные сообщения и об использовании показателей ПД ПЖ в динамике для оценки эффективности тромболитической терапии у пациентов с тромбоэмболией легочной артерии [25]. У больных хронической обструктивной болезнью легких Б.Я. Барт и соавт. доказали, что начальные изменения продольной сократимости ПЖ предшествуют снижению ФВ ПЖ. Эти изменения являются ранним критерием скрытой систолической дисфункции. Измерения продольной деформации могут служить количественным показателем при отслеживании прогрессирования болезни [26].

ПД свободной стенки ПЖ представляет собой важный независимый прогностический показатель при хронической сердечной недостаточности (ХСН). У больных с ХСН значение ПД ПЖ менее 21% оказалось мощным независимым предиктором тяжелых сердечно-сосудистых осложнений, к которым авторы относили смерть, неотложную трансплантацию сердца, срочную имплантацию вспомогательных устройств и случаи острой сердечной недостаточности [27]. ПД ПЖ хорошо коррелирует с инвазивно определенным рабочим ударным индексом ПЖ, позволяя неинвазивно оценивать систолическую работу ПЖ у пациентов с тяжелой сердечной недостаточностью перед трансплантацией сердца более точно и объективно. Деформация меньше 11,8% с достаточной диагностической точностью (AUC 0,90) помогает определить сниженный рабочий ударный индекс ПЖ с чувствительностью 92% и специфичностью 86% [28].

У пациентов с имплантированным вспомогательным устройством для ЛЖ изменения деформации ПЖ позво-

ляли прогнозировать развитие послеоперационной недостаточности ПЖ [29].

Имеются сообщения, что у пациентов после трансплантации сердца комбинированная оценка ПД ПЖ и ЛЖ потенциально дает возможность неинвазивно исключить острое клеточное отторжение после операции [30, 31]. В исследовании V. Moñivas Palomego и соавт. [30] представлены результаты двухлетних наблюдений за пациентами после трансплантации сердца. Несмотря на сохраненную ФВ, исследователи наблюдали снижение ПД ЛЖ ($17,7\pm 3\%$) и ПЖ ($17,4\pm 3,5\%$ в четырехкамерной позиции) некоторое время после трансплантации с последующим улучшением и нормализацией через 2 года для ЛЖ ($20\pm 3,7\%$) и через 1 год для ПЖ ($22,6\pm 3,3\%$). ПД ПЖ может быть полезной для выявления больных с реакцией острого клеточного отторжения, требующей специфического лечения. Значение ПД свободной стенки ПЖ $<17\%$ указывало на реакцию острого клеточного отторжения, требующего специфического лечения, с чувствительностью 85,7%, специфичностью 91,1%, прогностической ценностью отрицательного результата 98,8% и прогностической ценностью положительного результата 42,9%. В комбинации с показателями деформации ЛЖ, которые также снижены при острой клеточной реакции отторжения, ПД ПЖ позволяет выявлять пациентов с наименьшей вероятностью реакции отторжения, снижая необходимость эндомикардиальной биопсии [31].

Оценка ПД ПЖ может быть важна после коррекции врожденных пороков, например, у пациентов с тетрадой Фалло [32]. Наибольшее снижение ПД происходило в апикальном сегменте ПЖ, что приводило к снижению скручивания ЛЖ. Однако снижение ПД ПЖ не отражалось на толерантности к физической нагрузке и на увеличении концентрации мозгового натрийуретического пептида.

Субклиническое повреждение ПЖ возможно при целом ряде некардиальных заболеваний и патологических состояний, что потенциально может повлиять на прогноз. Среди них карциноид кишечника, независимо от вовлечения трикуспидального клапана [33], системный склероз без доказанной легочной гипертензии [34], амилоидоз [35, 36], саркоидоз [37], сахарный диабет и предиабет [38], субклинический гипертиреозидизм [39], хроническое употребление алкоголя [40] и анаболических андрогенных стероидов [41].

Важно отметить влияние кардиотоксичных агентов на функцию ПЖ у пациентов, проходящих химиотерапию. В частности, в группе больных раком молочной железы, у которых после лечения трастузумабом отдельно или в комбинации с антрациклинами было идентифицировано кардиотоксичное влияние на ЛЖ, показатели продольной деформации ПЖ оказались снижены в 40%

случаев, что свидетельствует о дисфункции ПЖ наряду с ЛЖ. Исследование показало, что у таких пациентов прослеживается тенденция к персистирующей дисфункции ЛЖ в динамике после окончания терапии, однако данные нуждаются в подтверждении у большего числа участников [42]. Более того, сообщается и об очень редких случаях изолированной дисфункции ПЖ вследствие кардиотоксичности [43], в которых определение ПД ПЖ может иметь существенное значение.

Возможности 3D-ЭхоКГ в оценке фракции выброса ПЖ

ФВ – важный показатель прогноза при многих приобретенных и врожденных заболеваниях, так как напрямую свидетельствует о систолической функции ПЖ [44–46], но из-за сложного анатомического строения до недавнего времени прямое вычисление ФВ по разнице систолического и диастолического объемов было невозможно при ЭхоКГ. «Золотым стандартом» оценки объемов и ФВ ПЖ была и является до сих пор магнитно-резонансная томография (МРТ) сердца. Однако этот метод имеет хорошо известные ограничения – высокую стоимость, ограниченную доступность, длительность процедуры и обработки результатов, противопоказания у ряда пациентов, к примеру, металлосодержащие имплантаты, стационарность и др. 2D-ЭхоКГ не предоставляет возможности, равноценные МРТ сердца. 3D-ЭхоКГ потенциально позволяет оценивать объемы ПЖ и его ФВ. 3D-ЭхоКГ многократно сравнивалась с 2D-ЭхоКГ и МРТ. При этом данные разных исследований нередко оказывались противоречивыми. Результаты исследования J. Kjaergaard и соавт. показывали лишь умеренную корреляцию с данными МРТ с тенденцией преуменьшать ФВ ПЖ и переоценивать объемы, а преимущество оценки ФВ и самая значимая корреляция оказались у 2D-параметра TAPSE [47]. В опубликованном всего годом позже исследовании сообщалось, что 3D-ЭхоКГ, наоборот, недооценивает объемы ПЖ, однако ее результаты достоверно коррелируют с данными МРТ [48]. Отчасти такие расхождения могли быть объяснены трудностями при визуализации передней стенки ПЖ из-за ее ретростернального расположения. Различия в измерениях зависели и от используемого способа обведения контура ПЖ (вручную или с использованием автоматических алгоритмов). Безусловно, влиял и опыт врача, проводящего эхокардиографические измерения. Однако в большей степени расхождение данных объясняется уровнем развития технологии, что подтверждают и исследования последних лет. При развитии технического и программного обеспечения измерения 3D объемов и ФВ ПЖ существенно приблизились к соответствующим значени-

ям при МРТ. В сообщении Н. В. van der Zwaan и соавт. [49] корреляция 3D-объемов и ФВ ПЖ с данными МРТ варьировала от 0,71 до 0,97 и была достовернее любого параметра 2D-ЭхоКГ, в том числе TAPSE.

По некоторым данным, для постпроцессинговой обработки 3D-изображений для реконструкции ПЖ и получения объемов и ФВ требуется много времени. Это может являться недостатком при обследовании, к примеру, пациентов с острой декомпенсированной сердечной недостаточностью в условиях отделения неотложной кардиологии. Однако и в этом случае стоит учитывать развитие технического и программного обеспечения, последние версии которого позволяют получить 3D-реконструкцию ПЖ полуавтоматически, значительно быстрее и при минимальном участии врача [50].

Несмотря на статистически значимую корреляцию измерений объемов и ФВ ПЖ при 3D-ЭхоКГ и МРТ, они не идентичны и их нельзя приравнивать друг к другу. Соответственно существующие нормы для ПЖ по МРТ нельзя использовать при оценке данных, полученных с помощью 3D-ЭхоКГ. 3D-ЭхоКГ-РВ – относительно новый метод, поэтому нормы для ПЖ были предложены недавно [51]. Как и левые отделы сердца, нормы параметров ПЖ имеют различия по полу, а также возрасту и зависят от площади поверхности тела, поэтому должны быть индексированы по отношению к ней [51, 52].

С течением времени для 3D-реконструкции ПЖ были разработаны и испытаны многие методы. Среди новейших и используемых на данный момент – основанная на нормальной и патологической форме ПЖ 3D-реконструкция на основе 3D-ЭхоКГ-РВ.

Основанную на знании нормальной и патологической формы ПЖ 3D-реконструкцию получают, используя стандартные 2D-изображения транссторакальной ЭхоКГ. Из этих 2D-сечений получают 3D-координаты. Именно по таким координатам из библиотеки реконструкций ПЖ по МРТ, специализированной по определенным болезням, подбирается форма ПЖ. Этот метод с хорошими результатами верифицирован с помощью МРТ, например, в группе пациентов с легочной гипертензией [53] или врожденными пороками сердца [54]. В 3D-реконструкции ПЖ, основанной на знании нормальной и патологической формы ПЖ, могут быть использованы не только 2D-изображения, но и изображения ПЖ, полученные с помощью 3D-ЭхоКГ-РВ [55], отчасти преодолевая ее недостатки.

Принцип работы 3D-ЭхоКГ-РВ другой. Благодаря развитию технологии, в частности появлению новых ультразвуковых датчиков с большим количеством элементов, появилась возможность в реальном времени создавать и записывать изображение хорошего качества и с высокой разрешающей способностью, а также со множеством

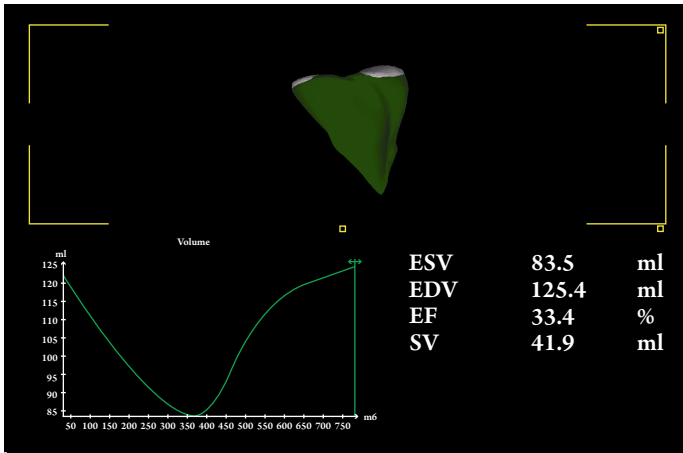


Рис. 3. 3D-реконструкция ПЖ с вычислением объемов и ФВ ПЖ (пациент с инфарктом ПЖ, ФВ 33,4%).

ФВ – фракция выброса.

дополнительных опций. Такая запись данных в последующей обработке позволяет визуализировать попавшие в объем изображения структуры сердца в любом разрезе. Для реконструкции ПЖ 3D-ЭхоКГ-РВ, в свою очередь, тоже предлагает несколько методов обработки данных. Это методы суммации дисков и отслеживания эндокарда ПЖ. Метод суммации дисков считают промежуточным, так как с его помощью невозможно создать полностью анатомически точную модель. Новейшее программное обеспечение при получении 3D-изображения позволяет отследить границу эндокарда в течение всего сердечного цикла. В конце систолы и диастолы полуавтоматически отмечается эндокард с применением алгоритма поиска контура. В этом случае учитываются и приносящий, и выносящий тракты ПЖ с возможностью мануальной коррекции контуров. На основании определенных по границе эндокарда контуров выстраивается 3D-модель ПЖ.

Сведения об авторах:

Пичкуре Ж. – врач-кардиолог отделения диагностической кардиологии стационара «Рижской восточной клинической университетской больницы», клиника Гайлезерс, Рига, Латвия; преподаватель кафедры внутренних болезней «Рижского университета им. П. Страдыня», Рига, Латвия.

Калинин А. – д.м.н., врач-кардиолог, зав. отделением диагностической кардиологии стационара Рижской восточной клинической университетской больницы, клиника Гайлезерс, Рига, Латвия; доцент кафедры внутренних болезней «Рижского университета им. П. Страдыня», Рига, Латвия.

Лейниекс А. – д.м.н., проф., зав. кафедрой внутренних болезней «Рижского университета им. П. Страдыня», Рига, Латвия.

Алехин М. Н. – д.м.н., зав. отделением функциональной диагностики ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» УД Президента РФ, Москва; проф. кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» УД Президента РФ, Москва.

E-mail: zanna.pickure@gmail.com

Information about the author:

Riga East Clinical University Hospital, Clinical centre Gailezers, Riga, Latvia

Zanna Pickure – cardiologist.

E-mail: zanna.pickure@gmail.com

По этой модели автоматически вычисляются конечный систолический и конечный диастолический объемы, ФВ, а также отображаются кривые изменения относительно времени [56–58] (рис. 3).

В соответствии с рекомендациями Американского общества ЭхоКГ и Европейской ассоциации специалистов по методам визуализации сердечно-сосудистой системы (2015 г.) норма для 3D-изображения ФВ ПЖ равна $58 \pm 6,5\%$. Патологически сниженной ФВ ПЖ считается, начиная от 45% и ниже. Индексированный конечный диастолический объем ПЖ для мужчин в норме составляет в среднем 61 ± 13 мл/м² (35–87 мл/м²), для женщин – $53 \pm 10,5$ мл/м² (32–74 мл/м²). Индексированный конечный систолический объем ПЖ для мужчин в среднем составляет $27 \pm 8,5$ мл/м² (10–44 мл/м²), для женщин – 22 ± 7 мл/м² (8–36 мл/м²) [8]. Однако стоит учитывать, что нормы 3D-ЭхоКГ для ПЖ могут корректироваться в связи с появлением большего количества исследований и улучшением программного обеспечения.

Заключение

Таким образом, обзор литературы последних лет позволяет предположить, что измерения продольной деформации и фракции выброса правого желудочка являются важными и весьма многообещающими показателями в комплексной оценке функции правого желудочка. Очевидна необходимость реализации целого ряда условий для широкого применения этих показателей в клинической практике. К таким условиям следует отнести стандартизацию программного обеспечения и пользовательских подходов при регистрации и при анализе данных, разработку нормативных значений. Необходимы дальнейшие исследования клинического и прогностического значения этих показателей.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Haddad F., Hunt S.A., Rosenthal D.N., Murphy D.J. Right ventricular function in cardiovascular disease, part I: anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. *Circulation* 2008;117:1436–1448. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.653576.
- Ho S.Y., Nihoyannopoulos P. Anatomy, echocardiography, and normal right ventricular dimensions. *Heart* 2006;92 Suppl 1:i2–13. DOI: 10.1136/hrt.2005.077875.
- Kukulski T., Hubbert L., Arnold M. et al. Normal regional right ventricular function and its change with age: a Doppler myocardial imaging study. *J Am Soc Echocardiogr* 2000;13:194–204. DOI: dx.doi.org/10.1067/mje.2000.103106.
- Leather H.A., Ama' R., Missant C. et al. Longitudinal but not circumferential deformation reflects global contractile function in the right ventricle with open pericardium. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2006;290:H2369–H2375. DOI: 10.1152/ajp-heart.01211.2004.
- Jurcut R., Giusca S., La Gerche A. et al. The echocardiographic assessment of the right ventricle: what to do in 2010? *Eur J Echocardiogr* 2010;11:81–96. DOI: 10.1093/ejehocardiography/jep234.
- Dandel M., Lehmkühl H., Knosalla C. et al. Strain and strain rate imaging by echocardiography – basic concepts and clinical applicability. *Current Cardiol Rev* 2009;5(2):133–148. DOI: 10.2174/157340309788166642.
- Otto C.M. The practice of clinical echocardiography. 4th ed. Philadelphia: Saunders 2012;177–196.
- 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. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:1–39. DOI: 10.1093/ehjci/jev014.
- Rudski L.G., Lai W.W., Afilalo J. et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:685–713. DOI: 10.1016/j.echo.2010.05.010.
- Bockeria O.L., Averina I.I. New opportunities for evaluation of right ventricle and atriums functions. The Bulletin of A. N. Bakoulev SCCS of RAMS 2014;5(15). Russian (Бокерия О.А., Аверина И.И. Новые возможности в оценке функции правого желудочка и предсердий. Бюллетень НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН 2014;5(15)).
- Lu K.J., Chen J.X., Profitis K. et al. Right ventricular global longitudinal strain is an independent predictor of right ventricular function: a multimodality study of cardiac magnetic resonance imaging, real time three-dimensional echocardiography and speckle tracking echocardiography. *Echocardiography* 2015;32(6):966–974. DOI: 10.1111/echo.12783.
- Teske A.J., Cox M.G., Te Riele A.S. et al. Early detection of regional functional abnormalities in asymptomatic ARVD/C gene carriers. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25(9):997–1006. DOI: 10.1016/j.echo.2012.05.008.
- Vigneault D.M., te Riele A.S., James C.A. et al. Right ventricular strain by MR quantitatively identifies regional dysfunction in patients with arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy. *J Magn Reson Imagin* 2016;43(5):1132–1139. DOI: 10.1002/jmri.25068.
- Pérez de Isla L., Millán M., Lennie V. et al. Area strain: normal values for a new parameter in healthy people. *Rev Esp Cardiol* 2011;64(12):1194–1197. DOI: 10.1016/j.recesp.2011.03.021.
- Atsumi A., Seo Y., Ishizu T., Nakamura A. Right ventricular deformation analysis using a three-dimensional speckle-tracking echocardiographic system specialized for the right ventricle. *J Am Soc Echocardiogr* 2016;29(5):402–411.e2. DOI: 10.1016/j.echo.2015.12.014.
- Prakasa K.R., Wang J., Tandri H. et al. Utility of tissue Doppler and strain echocardiography in arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2007;100(3):507–512. DOI: 10.1016/j.amjcard.2007.03.053.
- Shvets D.A., Povetkin S.V. Right ventricle functional state in patients with coronary artery disease. *Ultrasound and Functional Diagnostics* 2016;3:62–71. Russian (Швец Д.А., Поветкин С.В. Функциональное состояние правого желудочка у больных ишемической болезнью сердца. Ультразвуковая и функциональная диагностика 2016;3:62–71).
- Antoni M.L., Scherptong R.W., Atary J.Z. et al. Prognostic value of right ventricular function in patients after acute myocardial infarction treated with primary percutaneous coronary intervention. *Circ Cardiovasc Imaging* 2010;3:264–271. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.109.914366.
- Lemarié J., Huttin O., Girerd N. et al. Usefulness of speckle-tracking imaging for right ventricular assessment after acute myocardial infarction: a magnetic resonance imaging/echocardiographic comparison within the relation between aldosterone and cardiac remodeling after myocardial infarction study. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28(7):818–827.e4. DOI: 10.1016/j.echo.2015.02.019.
- Dambrauskaitė V., Delcroix M., Claus P. et al. Regional right ventricular dysfunction in chronic pulmonary hypertension. *J Am Soc Echocardiogr* 2007 Oct;20(10):1172–1180. DOI: 10.1016/j.echo.2007.02.005.
- Fukuda Y., Tanaka H., Sugiyama D. et al. Utility of right ventricular free wall speckle-tracking strain for evaluation of right ventricular performance in patients with pulmonary hypertension. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24(10):1101–1108. DOI: 10.1016/j.echo.2011.06.005.
- Motoji Y., Tanaka H., Fukuda Y. et al. Efficacy of right ventricular free-wall longitudinal speckle-tracking strain for predicting long-term outcome in patients with pulmonary hypertension. *Circ J* 2013;77(3):756–763. DOI: 10.1253/circj.CJ-12-1083.
- Vitarelli A., Mangieri E., Terzano C. et al. Three-dimensional echocardiography and 2D–3D speckle-tracking imaging in chronic pulmonary hypertension: diagnostic accuracy in detecting hemodynamic signs of right ventricular failure. *J Am Heart Assoc* 2015;4(3):e001584. DOI: 10.1161/JAHA.114.001584.
- Hardegreve E.L., Sachdev A., Villarraga H.R. et al. Role of serial quantitative assessment of right ventricular function by strain in pulmonary arterial hypertension. *Am J Cardiol* 2013;111:143–148. DOI: 10.1016/j.amjcard.2012.08.061.
- Platz E., Hassanein A.H., Shah A. et al. Regional right ventricular strain pattern in patients with acute pulmonary embolism. *Echocardiography* 2012;29(4):464–470. DOI: 10.1111/j.1540-8175.2011.01617.x.
- Bart B. Ya., Dergunova E. N., Vartanyan E. A., Kulbachinskaya O. M. Early echocardiographic markers of structural and functional right ventricular remodeling in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Russ J Cardiol* 2012;3(95):33–37. Russian (Барт Б. Я., Дергунова Е. Н., Вартанян Е. А., Кульбачинская О. М. Ранние эхокардиографические признаки структурно-функционального ремоделирования правого желудочка у больных хронической обструктивной болезнью легких. Российский кардиологический журнал 2012;3(95):33–37).
- Guendouz S., Rappeneau S., Nahum J. et al. Prognostic significance and normal values of 2D strain to assess right ventricular systolic function in chronic heart failure. *Circ J* 2012;76:127–136. DOI: 10.1253/circj.CJ-11-0778.
- Cameli M., Lisi M., Righini F.M. et al. Right ventricular longitudinal strain correlates well with right ventricular stroke work index in patients with advanced heart failure referred for heart transplantation. *J Card Fail* 2012;18(3):208–215. DOI: 10.1016/j.cardfail.2011.12.002.
- Grant A.D., Smedira N.G., Starling R.C., Marwick T.H. Independent and incremental role of quantitative right ventricular evaluation for the prediction of right ventricular failure after left ventricular assist device implantation. *J Am Coll Cardiol* 2012;60:521–528. DOI: 10.1016/j.jacc.2012.02.073.
- Moñivas Palomero V., Mingo Santos S., Goirigolzarri Artaza J. et al. Two-dimensional speckle tracking echocardiography in heart

- transplant patients: two-year follow-up of right and left ventricular function. *Echocardiography* 2016;33(5):703–713. DOI: 10.1111/echo.13169.
31. Mingo-Santos S, Moñivas-Palomero V, Garcia-Lunar I. et al. Usefulness of two-dimensional strain parameters to diagnose acute rejection after heart transplantation. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28(10):1149–1156. DOI: 10.1016/j.echo.2015.06.005.
 32. Menting M.E., van den Bosch A.E., McGhie J.S. et al. Assessment of ventricular function in adults with repaired tetralogy of Fallot using myocardial deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imagin*. 2015;16(12):1347–1357. DOI: 10.1093/ehjci/jev090.
 33. Haugaa K.H., Bergestuen D.S., Sahakyan L.G. et al. Evaluation of right ventricular dysfunction by myocardial strain echocardiography in patients with intestinal carcinoid disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24(6):644–650. DOI: 10.1016/j.echo.2011.02.009.
 34. Moaref A., Abtahi F., Aghasadeghi K., Shekarforoush S. Right ventricular strain and strain rate in patients with systemic sclerosis without pulmonary hypertension. *Arch Cardiovasc Imaging* 2014;2(3):e20735. DOI: 10.5812/acvi.20735.
 35. Cappelli F., Porciani M.C., Bergesio F. et al. Right ventricular function in AL amyloidosis: characteristics and prognostic implication. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2012;13:416–422. DOI: 10.1093/ejchocard/jer289.
 36. Urbano-Moral J.A., Gangadharamurthy D., Comenzo R.L. et al. Three-dimensional speckle tracking echocardiography in light chain cardiac amyloidosis: examination of left and right ventricular myocardial mechanics parameters. *Rev Esp Cardiol* 2015;68(8):657–664. DOI: 10.1016/j.rec.2015.01.009.
 37. Patel M.B., Mor-Avi V., Murtagh G. et al. Right heart involvement in patients with sarcoidosis. *Echocardiography* 2016;33(5):734–741. DOI: 10.1111/echo.13163.
 38. Tadic M., Celic V., Cuspidi C. et al. Right heart mechanics in untreated normotensive patients with prediabetes and type 2 diabetes mellitus: a two- and three-dimensional echocardiographic study. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28(3):317–327. DOI: 10.1016/j.echo.2014.11.017.
 39. Tadic M., Celic V., Cuspidi C. et al. How does subclinical hyperthyroidism affect right heart function and mechanics? *J Ultrasound Med* 2016;35(2):287–295. DOI: 10.7863/ultra.15.03054.
 40. Meng S., Guo L., Li G. Early changes in right ventricular longitudinal function in chronic asymptomatic alcoholics revealed by two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Cardiovasc Ultrasound* 2016;14:16. DOI: 10.1186/s12947-016-0058-3.
 41. Alizade E., Avci A., Tabakci M.M. et al. Comparison of right ventricle systolic function between long-term anabolic-androgenic steroid user and nonuser bodybuilder athletes: a study of two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Echocardiography* 2016;33(8):1178–1185. DOI: 10.1111/echo.13243.
 42. Calleja A., Poulin F., Khorolsky C. et al. Right ventricular dysfunction in patients experiencing cardiotoxicity during breast cancer therapy. *J Oncol*. 2015;2015:609194. DOI: 10.1155/2015/609194.
 43. Bayar N., Küçükseymen S., Gökteş S., Arslan Ş. Right ventricle failure associated with trastuzumab. *Ther Adv Drug Saf* 2015;6(3):98–102. DOI: 10.1177/2042098615582162.
 44. Haddad F., Doyle R., Murphy D.J., Hunt S.A. Right ventricular function in cardiovascular disease, part II: pathophysiology, clinical importance, and management of right ventricular failure. *Circulation* 2008;117:1717–1731. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.653584.
 45. Meyer P., Filippatos G.S., Ahmed M.I. et al. Effects of right ventricular ejection fraction on outcomes in chronic systolic heart failure. *Circulation* 2010;121:252–258. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.887570.
 46. Knauth A.L., Gauvreau K., Powell A.J. et al. Ventricular size and function assessed by cardiac MRI predict major adverse clinical outcomes late after tetralogy of Fallot repair. *Heart* 2008;94:211–216. DOI: 10.1136/hrt.2006.104745.
 47. Kjaergaard J., Petersen C.L., Kjaer A. et al. Evaluation of right ventricular volume and function by 2D and 3D echocardiography compared to MRI. *Eur J Echocardiogr* 2006;7:430–438; DOI: 10.1016/j.euje.2005.10.009.
 48. Jenkins C., Chan J., Bricknell K. et al. Reproducibility of right ventricular volumes and ejection fraction using real-time three-dimensional echocardiography: comparison with cardiac MRI. *Chest* 2007;131(6):1844–1851. DOI: 10.1378/chest.06-2143.
 49. van der Zwaan H.B., Geleijnse M.L., McGhie J.S. et al. Right ventricular quantification in clinical practice: two-dimensional vs. three-dimensional echocardiography compared with cardiac magnetic resonance imaging. *Eur J Echocardiogr* 2011;12(9):656–664. DOI: 10.1093/ejchocard/jer107.
 50. Skidan V.I., Borowski A., Park M.M. et al. Assessment of right ventricular function from realtime three-dimensional echocardiography in patients with acute heart failure. *Far East Med J* 2011;3:6–10. Russian (Скидан В.И., Боровски А., Парк М.М. и др. Применение трехмерной эхокардиографии в режиме реального времени в оценке сократительной способности правого желудочка у больных с острой декомпенсированной сердечной недостаточностью. Дальневосточный медицинский журнал 2011;3:6–10).
 51. Maffessanti F., Muraru D., Esposito R. et al. Age-, body size-, and sex-specific reference values for right ventricular volumes and ejection fraction by three-dimensional echocardiography: a multicenter echocardiographic study in 507 healthy volunteers. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6(5):700–710. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.113.000706.
 52. D'Oronzio U., Senn O., Biaggi P. et al. Right heart assessment by echocardiography: gender and body size matters. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25(12):1251–1258. DOI: 10.1016/j.echo.2012.08.013.
 53. Knight D.S., Schwaiger J.P., Krupickova S. et al. Accuracy and test-retest reproducibility of two-dimensional knowledge-based volumetric reconstruction of the right ventricle in pulmonary hypertension. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28(8):989–998. DOI: 10.1016/j.echo.2015.02.020.
 54. Trzebiatowska-Krzynska A., Driessen M., Sieswerda G.T. et al. Knowledge-based 3D reconstruction of the right ventricle: comparison with cardiac magnetic resonance in adults with congenital heart disease. *Echo Res Pract* 2015;2(4):109–116. DOI: 10.1530/ERP-15-0029.
 55. Laser K.T., Horst J.P., Barth P. et al. Knowledge-based reconstruction of right ventricular volumes using real-time three-dimensional echocardiographic as well as cardiac magnetic resonance images: comparison with a cardiac magnetic resonance standard. *J Am Soc Echocardiogr* 2014;27(10):1087–1097. DOI: 10.1016/j.echo.2014.05.008.
 56. Hung J., Lang R., Flachskampf F. et al. 3D echocardiography: a review of the current status and future directions. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;20(3):213–233. DOI: 10.1016/j.echo.2007.01.010.
 57. Lang R.M., Badano L.P., Tsang W. et al. EAE/ASE recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2012 Jan;25(1):3–46. DOI: 10.1016/j.echo.2011.11.010.
 58. Buck T., Franke A., Monaghan M.J. Three-dimensional echocardiography. 2nd ed. Berlin Heidelberg: Springer 2014;107–114.

Поступила 25.11.16 (Received 25.11.16)