

# Клиническая значимость оценки систолической функции правого желудочка при эхокардиографии

Э.Г. Акрамова, д.м.н., зав. отделением функциональной диагностики<sup>1</sup>, доцент кафедры ультразвуковой диагностики<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГАУЗ «Центральная городская клиническая больница № 18», г. Казань, Россия

<sup>2</sup>ГБОУ ДПО «Казанская государственная медицинская академия», г. Казань, Россия

## The clinical importance of assessment of systolic function of the right ventricle at an echocardiography

E.G. Akramova

Central City Clinical Hospital Eighteen, Kazan State Medical Academy; Kazan, Russia

### Резюме

**Цель исследования:** клиническая оценка различных режимов и отдельных показателей эхокардиографического исследования систолической функции правого желудочка. **Результаты:** в представленном обзоре рассматриваются достоинства и ограниченность отдельных эхокардиографических показателей в 1D, 2D и 3D режимах, их корреляционные зависимости с фракцией выброса по магнитно-резонансной томографии при определении систолической функции правого желудочка. **Заключение:** дополнение при оценке систолической функции правого желудочка традиционной эхокардиографии современными технологиями тканевого доплера, спекл-трекинга и 3D анализа расширяет спектр доказательной базы, повышает качество, объективность клинико-диагностического заключения и прогностическую ценность результатов ультразвукового исследования.

**Ключевые слова:** эхокардиография, правый желудочек, систолическая функция, тканевой доплер, спекл-трекинг, 3D-эхокардиография.

### Summary

**Objective:** Clinical evaluation of the various regimes and individual indicators echocardiography right ventricular systolic function. **Results:** This review discusses advantages and limitations of specific echocardiographic parameters in 1D, 2D and 3D modes, depending on their correlation with ejection fraction on MRI in determining systolic right ventricular function. **Conclusion:** The addition in the evaluation of right ventricular systolic function, conventional echocardiography modern technology tissue Doppler, speckle-tracking and 3D analysis extends the range of evidence, it improves the quality, objectivity, clinical and diagnostic conclusions and results of the predictive value of ultrasound.

**Key words:** echocardiography, right ventricle systolic function, tissue Doppler, speckle tracking, 3D-echocardiography.

Долгие годы усилия клиницистов и диагностов были сосредоточены на оценке состояния левых отделов сердца. В последнее время неуклонно возрастает интерес к правым отделам сердца, что в немалой степени обусловлено, с одной стороны, накоплением свидетельств о прогностической значимости его состояния не только для легочных, как до сих пор считали, но и кардиальных заболеваний, с другой, беспрецедентным повышением качества современных технологических возможностей диагностики. Верификацию патологии ПЖ рекомендуют проводить, применяя катетеризацию, компьютерную томографию, магнитно-резонансную томографию (МРТ) и эхокардиографию. Так, наиболее точным методом измерения сократимости ПЖ считают МРТ. Вместе с тем, из всех перечисленных методов наиболее доступным, неинвазивным, позволяющим вести

динамическое наблюдение является эхокардиография, которая к тому же обладает и низкой стоимостью.

**Цель данного обзора:** клиническая оценка различных режимов и отдельных показателей эхокардиографического исследования систолической функции правого желудочка.

На протяжении многих лет, как правило, проводили лишь качественную ультразвуковую оценку состояния ПЖ, не всегда отражая ее в протоколе исследования. Количественная характеристика преимущественно сводилась к установлению передне-заднего размера ПЖ в парастеральной позиции по длинной оси левого желудочка (ЛЖ) (рис. 1). На сегодняшний день данный показатель представляет скорее исторический интерес, так как доказано, что косые проекции ультразвукового сканирования могут ложно, как увеличивать, так и уменьшать полость ПЖ.



Рисунок 1. Парастеральная позиция, длинная ось левого желудочка. В-режим. Измерение передне-заднего размера правого желудочка. Норма <3,0см.

В настоящее время глобальную систолическую функцию ПЖ исследуют в четырехкамерной апикальной позиции, применяя традиционные М- и В-режимы, а также тканевой доплер и спекл-трекинг [1].

Наиболее часто используемый на практике подход заключается в установлении линейных размеров

и фракции площади ПЖ в В-режиме, используя упрощенную ее геометрическую модель с исключением выносящего тракта. Однако такое измерение страдает плохой воспроизводимостью и слабо коррелирует с результатами трехмерной эхокардиографии ( $r=0,32$ ), а у половины пациентов невозможно из-за неудовлетворительного качества визуализации границ эндокарда ПЖ. Условно корректным его можно считать только при легочном сердце из-за особенностей ремоделирования ПЖ — установлена достаточной степени корреляция между фракцией площади ПЖ и фракцией выброса по МРТ на терминальных стадиях легочных заболеваний.

В связи с тем, что сокращение ПЖ происходит преимущественно вдоль продольной оси, предложен простой метод измерения экскурсии латерального конца фиброзного кольца трикуспидального клапана — ФКТК (TAPSE) в М-режиме по движению одной точки (рис. 2). Для измерения систолической скорости движения ( $S'$ ) ФКТК используют ту же точку, что и для TAPSE, но в импульсно-волновом режиме тканевого доплера (рис. 3).

Нормальной величиной TAPSE считают более 17мм,  $S'$  ФКТК — в on-line режиме более 9,5см/с, в off-line по архивированным записям — более 6,0см/с. Значения TAPSE и  $S'$  ФКТК коррелируют с фракцией выброса ПЖ по МРТ и 3D эхокардиографии ( $r=0,30\pm 0,52$ ) [2]. Чувствительность метода, при котором исходят из значения  $S'$  ФКТК < 11,5см/с относительно МРТ-фракции выброса ПЖ < 50 %, соответствует 90 %; специфичность — 85 %, что для клиники является достаточно высоким.

Значения экскурсии и скорости движения ФКТК не зависят от качества визуализации, но определяются возрастом больного, степенью трикуспидальной регургитации и/или стеноза, аннулопластикой трикуспидального клапана и изменением в сторону увеличения угла между направлением ультразвукового луча и движением исследуемой стенки более 20°.

Перед измерением экскурсии и  $S'$  ФКТК необходимо визуально убедиться в равномерности сокращения всех сегментов стенки ПЖ, так как

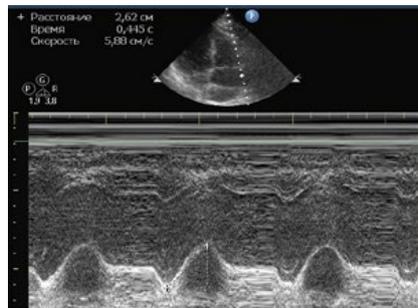


Рисунок 2. Четырехкамерная апикальная позиция. М-режим. Измерение TAPSE — систолической экскурсии кольца трикуспидального клапана. Норма >17мм.

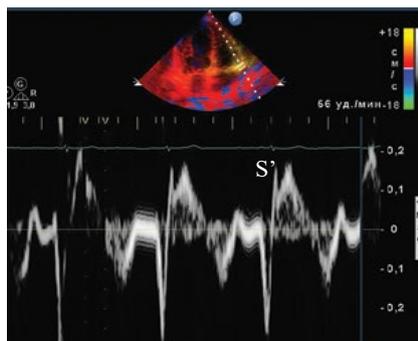


Рисунок 3. Четырехкамерная апикальная позиция. Импульсно-волновой режим тканевого доплера. Спектрограмма движения латерального конца фиброзного кольца трикуспидального клапана. Измерение  $S'$  ФКТК. Норма >9,5см/с.

исходят из того, что базальная сократимость ПЖ отражает и глобальную сократимость и возможна переоценка функции [3]. При инфаркте миокарда ПЖ и тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА) характерен тяжелый гипокинез средней части свободной стенки ПЖ при нормальном сокращении верхушки. У пациентов с аритмогенной дисплазией ПЖ в 72 % случаев находят и сегментарный гипокинез, преимущественно верхушки (72 %) и передней стенки (70 %).

Сокращение ПЖ происходит не концентрическим образом, а как комплексная деформация во взаимодействии с ЛЖ, то есть форма, размер, эластичность и внутрижелудочковое давление одного желудочка влияют на соответствующие параметры другого. Следовательно, при интерпретации результатов по ПЖ следует учитывать локальную и глобальную сократимость ЛЖ. При инфаркте миокарда нижней стенки ЛЖ значения TAPSE уменьшаются до 16мм, а при осложнении инфарктом правого желудочка — до 13мм, тогда как  $S'$  ФКТК

может оставаться в пределах нормы (13,5÷14 и 11см/с соответственно). Другие исследователи, при распространении зоны инфаркта с нижней стенки ЛЖ на ПЖ отмечают снижение и скорости движения ФКТК с 13 до 9см/с [4].

При выраженной дилатации и снижении сократительной способности миокарда ПЖ при минимальном вовлечении ЛЖ, отсутствии клапанной патологии и врожденных пороков развития, существует вероятность наличия у больных (особенно, молодых мужчин) аритмогенной дисплазии ПЖ. К большим диагностическим критериям данного заболевания относят фибролипоматозное замещение миокарда, выявляемое эндокардиальной биопсией, расширение комплекса QRS в правых грудных отведениях электрокардиограммы и отягощенный семейный анамнез.

При остром снижении систолической функции ПЖ на фоне непораженного ЛЖ, подъеме кардиальных ферментов в крови и отсутствия ишемической болезни сердца, возникает подозрение изолированного миокардита ПЖ. Прогноз при данном диагнозе крайне неблагоприятный, так как может привести к внезапной сердечной смерти или дилатационной кардиомиопатии и его исключительно редко верифицируют при жизни. Для диагностики миокардита рекомендуют проводить МРТ с контрастированием и эндокардиальной биопсией, что сопровождается рядом сложностей и имеет ряд противопоказаний. При верификации миокардитов эхокардиографией перспективным считают использование технологий спекл-трекинг (по снижению деформации миокарда) и эхоконтрастных средств (визуализация очагов воспаления) [5].

При спекл-трекинг технологии рассчитывают продольную деформацию ПЖ, так из-за тонкости стенки ультразвуковой анализ радиальной деформации миокарда ПЖ, отражающей сокращение циркулярных волокон среднего слоя миокарда, представляется невозможным. Свободная стенка ПЖ содержит большую долю продольно расположенных волокон, чем перегородка и боковая стенка

ЛЖ, поэтому ПЖ сокращается преимущественно за счет продольного, а не радиального движения.

В отличие от экскурсии и скорости движения ФКТК в расчет деформации свободной стенки ПЖ включают не одну точку, а все латеральные сегменты, тем самым повышая объективность результата (рис. 4). Ранее деформацию миокарда рассчитывали по записям тканевой доплерографии, что определяло не только трудоемкость процесса, но и углозависимость результата обследования и вероятность ошибки. Технология спекл-трекинга, основанная на анализе стандартных записей в В-режиме с автоматическим отслеживанием деформации миокарда, существенно повышает ее воспроизводимость.

Величины глобальной продольной деформации ПЖ (с захватом перегородки) и деформации свободной стенки ПЖ статистически значимо взаимосвязаны с фракцией выброса ПЖ, измеренной МРТ:  $r = -0,71$  и  $-0,86$  соответственно. Согласно рекомендациям американского общества эхокардиографов нормой деформации свободной стенки ПЖ следует считать величину менее  $-20\%$  (более  $20\%$  с отрицательным значением) [6]. Ряд исследователей предлагают более широкий диапазон: от  $-17\%$  до  $-25\%$  [7]. Не исключено, что величина нормальных значений определяются конкретным прибором, так как показано, что нормальные величины деформации базальных сегментов ЛЖ отличаются между приборами GE и Philips.

Предполагают, что нормальные значения параметров деформации ПЖ у пациентов с легочной гипертензией свидетельствует о повышении сократимости ПЖ, а их снижение — сохранности или уменьшении сократимости ПЖ. У данного контингента больных выявлена зависимость деформации ПЖ от толщины миокарда. Наивысшие значения наблюдали при синдроме Эйзенменгера: деформация  $-20,6 \pm 3,5\%$  на фоне толщины стенки  $9,2 \pm 1,5$  мм, тогда как при идиопатической легочной артериальной гипертензии и хронической ТЭЛА были достоверно ниже:  $-16,3 \pm 7,5\%$  и  $7,2 \pm 1$  мм;  $-10,8 \pm 5\%$  и  $7,2 \pm 1,2$  мм соответственно [8].



Рисунок 4. Четырехкамерная апикальная позиция. Спекл-трекинг технология. Измерение глобальной систолической продольной деформации правого желудочка. Норма более  $20\%$  с отрицательным значением.

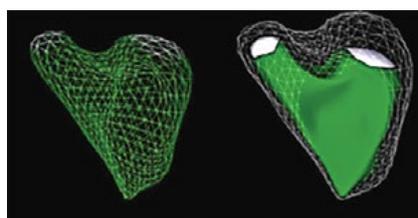


Рисунок 5. 3D Эхокардиография. Измерение фракции выброса правого желудочка. Норма  $>45\%$  [35].

Анализ времени достижения систолического пика деформации позволяет также оценить как внутри-, так и межжелудочковую синхронность сокращения. Диссинхрония ПЖ потенциально снижает ударный объем ПЖ и повышает давление наполнения. На фоне ресинхронизирующей терапии у пациентов с врожденными пороками сердца фракция выброса ПЖ улучшается.

Наиболее точно сократимость ПЖ отражает фракция выброса, определяемая в 3D (норма — более  $45\%$ ) (рис. 5). Предложены два метода полуавтоматического расчета трехмерной геометрической модели в программе EchoPAC: ПЖ — 4D-RV TomTec (отдельная опция при покупке прибора) и ЛЖ — 4D-LV (встроена в стандартную программу), которую иногда пытаются использовать и для ориентировочной оценки ПЖ, что весьма спорно.

Между значениями фракцией выброса и объема ПЖ по МРТ и 3D эхокардиографии ( $r = 0,71$  и  $0,97$  соответственно) определяются прямые сильные корреляции. Следует помнить, что величина объема ПЖ в 2D из-за отсутствия в расчетах параметров выносящего тракта ПЖ, составляющего до  $25-30\%$  от объема ПЖ,

будет существенно ниже. Измерения фракции выброса и объемов ПЖ в режиме 3D могут стать более точными по сравнению с МРТ ( $1,4 \pm 4,9\%$  и  $-15 \pm 24$  мл) при условии, что границы ПЖ, автоматически отслеживаемые программным обеспечением, постоянно корректируются врачом. При формальном автоматизированном анализе без соблюдения вышеуказанного условия фракция выброса ПЖ может недооцениваться на  $-17 \pm 10\%$ .

Сложности 3D реконструкции ПЖ, состоят, прежде всего, в визуализации передней стенки ПЖ и включения в упрощенную модель параметров выносящего тракта ПЖ. Различия объема ПЖ, полученного МРТ и 3D эхокардиографией, вероятнее всего, обусловлены различиями контрастного и пространственного разрешения. Определенный вклад, возможно, вносят способ расчета (ультразвуковой по длинной оси, а МРТ — по короткой оси сердца) и положение больного (при эхокардиографии больной лежит на левом боку, а при МРТ — на спине), влияя на размер ПЖ.

Ограничениями широкого использования трехмерной технологии являются дороговизна 3D датчика и программного обеспечения, длительность расчетов, получение качественных видео-петель (данные записываются на задержке дыхания) и наличие аритмий сердца. При выраженной дилатации ПЖ 3D анализ понижает значения его объема, а у пожилых пациентов повышает. У лиц старшего возраста объем ПЖ уменьшается по  $5$  мл в декаду жизни [9].

ПЖ представляет собой тонкостенную с низким внутрижелудочковым давлением камеру, поэтому его систолическая функция зависит от давления в легочной артерии, правом предсердии, перикарде и ЛЖ. Значимость перечисленных факторов для больного повышается при их сочетании: перикардиальный выпот и легочная гипертензия, например, при опухоли средостения, стенозирующего легочную артерию, высокая легочная гипертензия и значительный перикардиальный выпот обуславливают правожелудочковую недостаточность.

Продемонстрировано, что  $20-40\%$  систолического давления и выброса ПЖ обусловлены работой ЛЖ. При

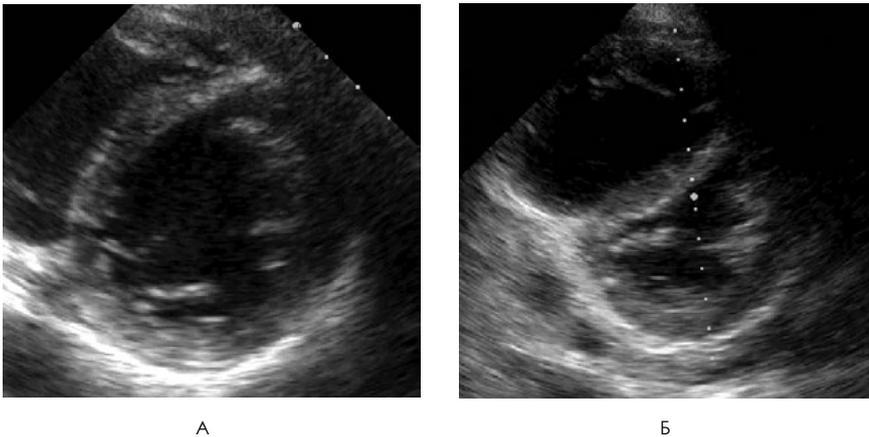


Рисунок 6. Парастеральная позиция, короткая ось левого желудочка. А — индекс эксцентричности левого желудочка =1; норма. Б — индекс эксцентричности левого желудочка >1; выраженная дилатация правого желудочка.



Рисунок 7. Субкостальная четырехкамерная позиция. В-режим. Измерение толщины нижней стенки правого желудочка. Использован zoom. Норма <5мм.

нормальных размерах ПЖ перегородка в состоянии поддерживать гемодинамику даже при наличии рубца ПЖ. Перегрузка ЛЖ объемом или давлением обуславливает перераспределение наполнения ПЖ в позднюю диастолу. В то же время значительная дилатация ПЖ ослабляет эластичность и глобальную функцию ЛЖ.

Наибольшие сложности при оценке взаимовлияния желудочков возникают при дифференцировке констриктивного перикардита и рестриктивной кардиомиопатии. Для констриктивных нарушений характерны респираторная зависимость скоростей наполнения желудочков и движения перегородки,

уменьшение деформации свободных стенок желудочков и скоростей движения латеральных концов фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов с одновременным сохранением их значений для межжелудочковой перегородки, выявляемых соответственно в режиме спекл-трекинга и тканевого доплера.

К признакам, позволяющим предположить легочную эмболию, относят острую значительную дилатацию ПЖ (соотношение конечно-диастолических площадей ПЖ/ЛЖ в четырехкамерной апикальной позиции более 0,6), правого предсердия и легочной артерии, гипокинез ПЖ, систолическое выравнивание межжелудочковой перегородки

(рис. 6), трикуспидальную регургитацию, уменьшение инспираторного коллапса нижней полой вены и наличие источника эмболии. Данное осложнение возникает в 22% случаев при остром респираторном дистресс-синдроме и 25–29% обострении хронической обструктивной болезни легких.

Достоверное увеличение ЛЖ при сохранении пропорции желудочков расценивают как дилатацию ПЖ. Иллюзию увеличенных размеров нормального ПЖ у пациентов с деформацией грудной клетки может создать отклонение плоскости сканирования.

«Золотым стандартом» неинвазивного измерения массы ПЖ считают МРТ. Усредненная разница общей массы сердца, массы ЛЖ и ПЖ по МРТ и аутопсийными значениями составила 3 г, 16 г и 19 г соответственно. У взрослого человека масса ПЖ по МРТ меньше ЛЖ в 2–6 раз, а по результатам патологоанатомических исследований в 1,9–4,1 раза. При оценке локальной сократимости ПЖ выделяют переднюю, латеральную, нижнюю стенки и в каждом из них апикальные, медиальные и базальные сегменты.

При хроническом повышении постнагрузки сохранению выброса ПЖ способствует гипертрофия миокарда ПЖ. При адекватном кровоснабжении гипертрофированный ПЖ способен преодолеть систолическое давление в легочной артерии выше 80–100 мм рт.ст. В условиях ишемии миокарда ПЖ, либо одновременном поражении обоих желудочков сердца, правожелудочковая недостаточность может развиваться при более низкой степени легочной гипертензии.

Гипертрофию ПЖ диагностируют при толщине нижней стенки более 5 мм в субкостальной четырехкамерной позиции (рис. 7). В редких ситуациях утолщение свободной стенки ПЖ визуализируют в других позициях на ограниченном участке. Описаны случаи апикальной гипертрофии ПЖ при кардиальном саркоидозе, утолщения передней стенки — при липоматозной гипертрофии ПЖ. Чаще наблюдают комбинированную гипертрофию обоих желудочков. При хронической обструктивной болезни легких утолщается не только свободная стенка ПЖ, но и межжелудочковая перегородка [10].

На стадии декомпенсации хронического легочного сердца патологоанатомы наблюдают «истончение» стенок ПЖ. Однако ультразвуковые критерии истончения ПЖ, которые важны и при аритмогенной дисплазии ПЖ, на сегодняшний день отсутствуют.

Улучшить визуализацию эндокардиальных границ ПЖ помогает применение контрастных веществ, использование которых помогает уточнить не только толщину стенок и объем ПЖ, но и обнаружить дефекты, внутрисполостные образования и апикальные аневризмы небольших размеров.

На практике часто осмотр правых камер сердца ограничивается верификацией легочной гипертензии. Описывая клинические случаи, авторы приводят симптомы тяжелой правожелудочковой недостаточности и в то же время, по результатам эхокардиографии, констатируют сохранения систолической функции ПЖ, несмотря на визуализацию косвенных ультразвуковых признаков. Замечено, что значительная легочная гипертензия, выявляющаяся в <5% случаев хронической обструктивной болезни легких, является характерной для пациентов с систолической дисфункцией ПЖ. Наиболее частой причиной смерти больных легочной гипертензией является правожелудочковая недостаточность.

Размеры правого предсердия (>27см<sup>2</sup>), наличие выпота в перикард, расчет индекса эксцентричности и величина TAPSE позволяют прогнозировать течение и исход ряда нозологий [11]. Перечисленные показатели определяют выживаемость при легочной гипертензии, сердечной недостаточности. При значениях TAPSE менее 18мм двухлетняя выживаемость при легочной гипертензии снижается с 88 до 50%. При TAPSE менее 17мм повышается внутригоспитальная летальность от хронической обструктивной болезни легких. При величине ниже 16мм 30-дневная смертность при ТЭЛА повышается с 3,6 до 8,2%. Если коэффициент ПЖ/ЛЖ становится более 0,9, то вероятность неблагоприятного исхода при ТЭЛА возрастает в 2,4 раза для долгосрочной и в 4,4 раза — внутригоспитальной летальности; смертность при остром респираторном дистресс-синдроме увеличивается с 42 до 57% [12].

При идиопатической легочной артериальной гипертензии увеличение диаметра ПЖ ухудшает прогноз, в то время как гипертрофия ПЖ снижает относительный риск (ОР) смерти ассоциированного с дилатацией ПЖ. У больных гипертрофической кардиомиопатией (ОР=5,42) и сердечной недостаточностью утолщение ПЖ признают независимым предиктором неблагоприятных сердечно-сосудистых событий.

В настоящее время идет накопление данных по оценке прогностической ценности уменьшения деформации ПЖ. Значение стрейна свободной стенки ПЖ предлагают в качестве предиктора качества жизни и функциональных возможностей при артериальной гипертензии и прооперированной тетрады Фалло, смерти — при легочной гипертензии и сердечной недостаточности. С другой стороны, установлено отсутствие прогностической значимости значений стрейна свободной стенки ПЖ при ТЭЛА.

Прогностическая информативность величины объема ПЖ в большей мере исследована для МРТ, чем для 3D-эхокардиографии: пациенты с заболеваниями соединительной ткани с конечно-диастолическим объемом ПЖ по МРТ менее 135мл имели лучший прогноз, чем при большем объеме — однолетняя выживаемость повышалась с 66% до 95%.

Таким образом, анализ доступной информации позволяет констатировать принципиальную значимость при оценке систолической функции ПЖ использования всего спектра доступных на сегодняшний день технологий, методов, режимов и показателей эхокардиографического исследования. Технологии тканевого доплера, спекл-трекинга, 3D анализа существенно повышают объективность и информативность традиционной эхокардиографии.

#### Список литературы

1. Rudski L.G., Lai W.W., Afilalo J., Hua L., Handschumacher M.D., Chandrasekaran K., Solomon S.D., Louie E.K., Schiller N.B. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of

Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography* 2010; 23(7): 685–713. <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2010.05.010>.

2. Focardi M., Cameli M., Carbone S.F., Massoni A., De Vito R., Lisi M., Mondillo S. Traditional and innovative echocardiographic parameters for the analysis of right ventricular performance in comparison with cardiac magnetic resonance. *European Heart Journal — Cardiovascular Imaging* 2015; 16(1): 47–52. <http://dx.doi.org/10.1093/ehjci/jeu156>.
3. Alsoos F., Khaddam A. Echocardiographic evaluation methods for right ventricular function. *Journal of Echocardiography* 2015; 13(2): 43–51. <http://dx.doi.org/10.1007/s12574-015-0243-7>.
4. Kidawa M., Chizyński K., Zielińska M., Kasprzak J.D., Krzeminska-Pakula M. Real-time 3D echocardiography and tissue Doppler echocardiography in the assessment of right ventricle systolic function in patients with right ventricular myocardial infarction. *The European heart journal — cardiovascular imaging* 2013; 14(10): 1002–1009. <http://dx.doi.org/10.1093/ehjci/jes321>.
5. Hsiao J.F., Koshino Y., Bonnicksen C.R., Yu Y., Miller F.A. Jr., Pellikka P.A., Cooper L.T. Jr., Villaraga H.R. Speckle tracking echocardiography in acute myocarditis. *The International Journal of Cardiovascular Imaging* 2013; 29(2): 275–284. <http://dx.doi.org/10.1007/s10554-012-0085-6>.
6. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afilalo J., Armstrong A., Ernande L., Flachskampf F.A., Foster E., Goldstein S.A., Kuznetsov T., Lancellotti P., Muraru D., Picard M.H., Rietzschel E.R., Rudski L., Spencer K.T., Tsang W., Voigt J.U. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography* 2015; 28(1): 1–39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>.
7. Fine N.M., Chen L., Bastiansen P.M., Frantz R.P., Pellikka P.A., Oh J.K., Kane G.C. Reference values for right ventricular strain in patients without cardiopulmonary disease: a prospective evaluation and meta-analysis. *Echocardiography* 2015; 32(5): 787–796. <http://dx.doi.org/10.1111/echo.12806>.
8. Giusca S., Papa E., Amzulescu M.S., Ghiorghiu I., Coman I.M., Popescu B.A., Delcroix M., Voigt J.U., Ghingina C., Jurcut R. Is Right Ventricular Remodeling in Pulmonary Hypertension Dependent on Etiology? An Echocardiographic Study. *Echocardiography* 2016; 33(4): 546–554. <http://dx.doi.org/10.1111/echo.13112>.
9. Maffessanti F., Muraru D., Esposito R., Gripari P., Ermacora D., Santoro C., Tamborini G., Galderisi M., Pepi M., Badano L.P. 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. *Circulation: Cardiovascular Imaging* 2013; 6(5): 700–710. <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.113.000706>.
10. Акрамова Э.Г. Комплексное ультразвуковое и функциональное исследование сердечно-сосудистой системы при хронической обструктивной болезни легких: Автореф. дис. ... докт. мед. наук. Москва; 2014.
11. Grünig E., Peacock A.J. Imaging the heart in pulmonary hypertension: an update. *European Respiratory Review* 2015; 24(138): 653–664. <http://dx.doi.org/10.1183/16000617.0058-2015>.
12. Khemasuwan D., Yingchancharoen T., Tun-supon P., Kusunose K., Moghekar A., Klein A., Tonelli A.R. Right ventricular echocardiographic parameters are associated with mortality after acute pulmonary embolism. *Journal of the American Society of Echocardiography* 2015; 28(3): 355–362. <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2014.11.012>.

