

Эхокардиография при инфаркте миокарда правого желудочка

Айрапетян Г. Г.¹, Адамян К. Г.²

¹Медицинский центр «Эребуни»; ²Институт Кардиологии, Ереван, Республика Армения

В настоящем обзоре представлены соответствующие проекции двухмерной эхокардиографии для исследования правого желудочка (ПЖ) и его структуры. Для количественной оценки глобальной функции ПЖ представлены следующие параметры: фракция укорочения выносящего тракта ПЖ, фракция изменения площади сечения ПЖ, систолическое смещение трикуспидального кольца, индекс Tei ПЖ. Также описаны методы определения этих параметров, их преимущества и ограничения.

Ключевые слова: правый желудочек, эхокардиография, инфаркт миокарда, глобальная функция.

Поступила 21/01–2013

Принята к публикации 23/05–2013

Кардиоваскулярная терапия и профилактика, 2013; 12 (3): 58–62

Echocardiography in right ventricular myocardial infarction

Hayrapetyan H. G.¹, Adamyan K. G.²

¹Erebuni Medical Centre; ²Cardiology Institute, Yerevan, Armenia

This paper presents the views on two-dimensional (2D) echocardiography (EchoCG) in the assessment of right ventricular (RV) structure and function. In order to quantitatively assess the RV global function, the following parameters can be used: RV outflow tract shortening fraction, RV fractional area change, tricuspid annular plane systolic excursion, and Tei index. For these parameters, their assessment methods, as well as their strengths and limitations, are discussed.

Key words: right ventricle, echocardiography, myocardial infarction, global function.

Cardiovascular Therapy and Prevention, 2013; 12 (3): 58–62

Правый желудочек (ПЖ) играет важную роль в клинике и прогнозе у больных с сердечно-легочной патологией. Однако, по различным причинам, не всегда возможна адекватная оценка функции ПЖ. В клинической практике нередко пропускается диагностика инфаркта миокарда (ИМ) ПЖ из-за недостаточного внимания к его исследованию.

ПЖ расположен прямо за грудиной, впереди от левого желудочка (ЛЖ). Масса миокарда (ММ) ПЖ составляет ~1/6 от ММ ЛЖ. При идентичном ударном объеме (УО) и частоте работы ПЖ составляет 25% от работы ЛЖ, что объясняется низкой резистентностью легочной сосудистой системы [1, 2]. Стенка ПЖ тоньше (3–5 мм) стенки ЛЖ. ПЖ имеет форму полумесяца. Анатомически, структурно и функционально он разделяется на две части — приносящий и выносящий тракты (ПТПЖ и ВТПЖ), которые разделены толстой внутриполостной мышечной полоской (crista supraventricularis). Второй внутрижелудочковый пучок (модераторный пучок) находится в ВТ ПЖ и соединяет межжелудочковую перегородку (МЖП) и переднюю стенку ПЖ. Верхушечная часть ПЖ трабекулирована и сравнительно малоподвижна. Функциональное состояние ПЖ находится также под прямым воздействием ЛЖ и обусловлено межжелудочковым взаимодействием. МЖП, перикард, общие мышечные волокна играют важную роль в передаче силы сократимости от ЛЖ к ПЖ во время сердечного цикла [3].

Около 1/3 давления, генерированного в ПЖ, обусловлено его сократимостью [4]. МЖП в норме функционирует как часть ЛЖ и “аркообразно” внедряется в ПЖ. При перегрузке ПЖ давлением или объемом движение МЖП реверсируется, и она функционирует как часть ПЖ.

Общеизвестно, что ПЖ полностью кровоснабжается из системы правой коронарной артерии (ПКА). Передняя межжелудочковая или нисходящая КА дает маленькие проксимальные ветви к ВТ и верхушечной части ПЖ. У большинства людей (~60%) правый доминантный тип коронарного кровообращения. Это значит, что ПКА кровоснабжает также нижнюю часть МЖП и нижнезаднюю стенку ЛЖ через заднюю нисходящую КА и заднебоковые левожелудочковые ветви. В ~25% случаев эти участки кровоснабжаются огибающей КА (ОКА) (левый доминантный тип). В остальных 15% кровоснабжение вышеуказанных участков осуществляется кодоминантно ОКА и ПКА. Поэтому ИМ ПЖ вследствие окклюзии ПКА, как правило, сопровождается ИМ нижней стенки ЛЖ. Изолированная окклюзия недоминантной ПКА приводит к изолированному ИМ ПЖ. Вовлечение миокарда ПЖ (верхушка и/или ВТПЖ) может иметь место также при окклюзии передней межжелудочковой КА, но оно очень редко бывает клинически значимым. ИМ нижней стенки, обусловленный окклюзией ОКА, не поражает ПЖ.

Литературные данные по частоте ИМ ПЖ колеблются в широких пределах. По данным патологоанатомических исследований, вовлечение миокарда ПЖ имеет

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

Тел.: +37491505005, +37493555050

E-mail: cardioerebuni@yahoo.com

[Айрапетян Г. Г. — к. м. н., заведующий отделением неотложной кардиологии медицинского центра, Адамян К. Г. — академик НАН Республики Армения, научный руководитель отделения инфаркта миокарда].

место в 24–90% случаев ИМ нижней стенки [5, 6]. Клинические проявления ИМ ПЖ наблюдаются у 15–20%, выраженное поражение ПЖ — у 3–8% этих больных [7]. Эхокардиографические (ЭхоКГ) исследования показали, что в 40% случаев у больных ИМ нижней стенки вовлекается ПЖ [8]. Истинная частота изолированного ИМ ПЖ неизвестна. Принято считать, что при наличии гипертрофии миокард ПЖ более подвержен ишемизации.

Эхокардиографическая диагностика ИМ ПЖ

ЭхоКГ, как неинвазивный, доступный, относительно недорогой и без побочных эффектов (ПЭ) метод, является средством выбора при исследовании морфологии и функции ПЖ, хотя нередко ее проведение затруднено из-за сложной геометрии и трабекуляции ПЖ, его расположения в грудной клетке [9]. Практические протоколы ЭхоКГ часто включают ограниченное количество изображений ПЖ и редко — количественную оценку или региональный анализ функции ПЖ [10, 11]. Практическое руководство Американского общества эхокардиографии — American Society of Echocardiography (ASE) по ЭхоКГ оценке ПЖ у взрослых рекомендует исследовать ПЖ, используя множественные ЭхоКГ окна и сечения [12]. По этим рекомендациям ЭхоКГ заключение должно отражать оценку, основанную на качественных и количественных параметрах, включая размеры ПЖ, правого предсердия (ПП), хотя бы один из показателей систолической функции ПЖ, систолическое давление в легочной артерии (ЛА), давление в ПП. В определенных случаях бывает необходимо также определение дополнительных параметров, таких как диастолическое давление в ЛА, оценка диастолической функции ПЖ.

Специалисты по ЭхоКГ долгое время применяли качественный (визуальный) подход для начальной оценки глобальной и региональной функций ЛЖ. Несмотря на определенные ограничения, этот подход позволял диагностировать ИМ ЛЖ с высокой степенью достоверности. Более того, существует высокая корреляция между региональным нарушением сократимости стенки и локализацией коронарной окклюзии. Это основа 17-сегментной модели ЛЖ, адаптированной для ультразвукового исследования (УЗИ) сердца [13]. Качественная оценка ЛЖ подразумевает использование множественных ЭхоКГ окон, что позволяет визуализировать каждый сегмент больше, чем в одном сечении [14–16]. Регистрация нарушения региональной сократимости стенки больше чем в одной проекции

увеличивает достоверность диагностики региональной дисфункции.

Такой же подход может быть применен и к ПЖ. Во многих ЭхоКГ исследованиях оценка ПЖ ограничивается четырехкамерной верхушечной проекцией. Однако по рекомендациям ASE рутинное двухмерное ЭхоКГ исследование ПЖ должно включать указанные в таблице 1 и рисунке 1 проекции:

Сегментарный подход к ПЖ важен особенно, когда наряду с нарушением глобальной сократимости имеет место также нарушение региональной сократимости, что характерно, например, для ИМ ПЖ и аритмогенной дисплазии ПЖ (АДПЖ). При этом определены четыре сегмента ПЖ: ВТПЖ (в типичных случаях кровоснабжается ветвями левой передней нисходящей артерии) и передняя, боковая и нижняя (диафрагмальная) свободные стенки (все кровоснабжаются из системы ПКА: передняя и боковая стенки — по ветви острого края, нижняя стенка — по задней нисходящей КА). Однако нет стандартизированной дифференциации сегментов на апикальные и базальные.

Парастеральное сечение ПТПЖ демонстрирует переднюю и нижнюю стенки ПЖ и переднюю и заднюю створки трикуспидального клапана (ТК). Существует множество вариаций этого сечения, при которых МЖП визуализируется лучше нижней стенки ПЖ. Парастеральное сечение по длинной оси показывает ВТПЖ, тогда как парастеральное и субкостальное сечения по короткой оси — переднюю, боковую и нижнюю стенки ПЖ. Апикальное четырехкамерное сечение демонстрирует боковую стенку, а субкостальное четырехкамерное сечение — нижнюю стенку ПЖ.

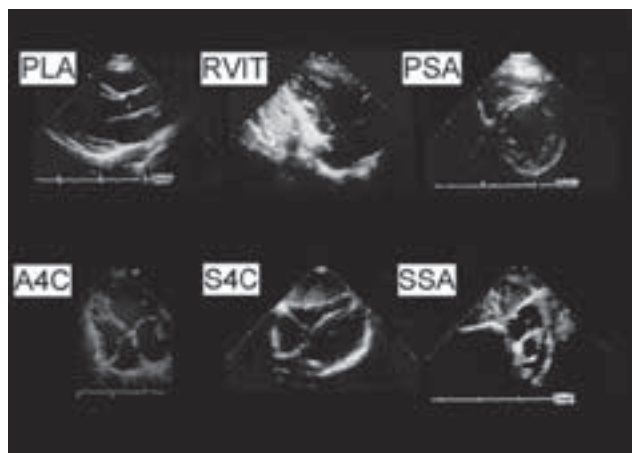
Таким образом, субкостальное четырехкамерное сечение не идентично апикальному четырехкамерному. Сегментарный подход к ПЖ важен также потому, что объем пораженного миокарда при ИМ ПЖ зависит от уровня окклюзии ПКА. Выраженная дисфункция ПЖ (с нарушением сократимости переднего, нижнего и бокового сегментов) в подавляющем большинстве случаев обусловлена окклюзией проксимальнее от первой ветви острого края [17]. При дисфункции с вовлечением переднего и нижнего сегментов окклюзия обычно располагается проксимальнее от второй маргинальной ветви, тогда как при вовлечении только нижнего сегмента — проксимальнее или дистальнее третьей маргинальной ветви. При отсутствии дисфункции ПЖ обструкция обычно дистальнее третьей маргинальной ветви. Не описана изолированная дисфункция ВТПЖ, передней или боковой стенок. Таким образом, нижняя стенка ПЖ

Таблица 1

Рекомендуемые ЭхоКГ сечения для оценки ПЖ

ЭхоКГ сечение	Рекомендуемые измерения
Парастеральное сечение по длинной оси	КДД ВТПЖ
Парастеральное сечение приносящего тракта ПЖ (модифицированная длинная ось)	Анатомия и функция ТК (задняя и передняя створки)
Проекция выносящего тракта ПЖ	Клапан ЛА
Парастеральное сечение по короткой оси на различных уровнях	КДД и КСД ВТПЖ, фракция укорочения ВТПЖ, индекс эксцентricности ЛЖ
Апикальное четырехкамерное сечение	Диаметры ПЖ по короткой и длинной оси, ССТК, ФИПС, ТК (передняя и септальная створки)
Субкостальные сечения (четырёхкамерное и по короткой оси)	Толщина свободной стенки ПЖ

Примечание: КДД — конечно-диастолический диаметр, КСД — конечно-систолический диаметр, ФИПС — фракция изменения площади сечения.



Примечание: PLA — парастеральное сечение по длинной оси, RVIT — ПТПЖ, PSA — парастеральное сечение по короткой оси, A4C — апикальное четырехкамерное сечение, S4C — субкостальное четырехкамерное сечение, SSA — субкостальное сечение по короткой оси.

Рис. 1 Стандартные сечения для двухмерной ЭхоКГ оценки ПЖ.

кровооснабжается от дистальной части системы ПКА и поражается как при проксимальной, так и дистальной окклюзии, тогда как передняя стенка — только при проксимальной окклюзии ПКА. Этот факт имеет важное значение для ЭхоКГ диагностики ИМ ПЖ. Например, при ограничении ЭхоКГ исследования апикальным четырехкамерным сечением лоцируется только боковая стенка ПЖ, и можно не обнаружить ИМ ПЖ, когда инфаркт-зависимая окклюзия располагается дистально и нарушение сократимости ограничивается нижней стенкой. Поскольку трудно лоцировать нижнюю стенку в сечениях по короткой оси, субкостальное четырехкамерное и сечение ПТПЖ обязательны для его исследования.

Количественная оценка глобальной функции ПЖ

Предложено несколько методов для количественной оценки глобальной функции ПЖ, однако ни один из них не используется широко в клинических условиях. В настоящее время применяются следующие методы двухмерной ЭхоКГ для оценки функции ПЖ:

Фракция укорочения ВТПЖ (ФУВТ) (Outflow tract shortening fraction): определяется в парастеральном сечении по короткой оси на уровне основания сердца. ФУВТ просчитывается по формуле:

$$\text{ФУВТ (\%)} = (\text{КДДВТ} - \text{КСДВТ}) / \text{КДДВТ}$$

КДДВТ — конечно-диастолический диаметр ВТПЖ

КСДВТ — конечно-систолический диаметр ВТПЖ

ФУВТ хорошо коррелирует с продольной функцией, градиентом легочного давления и градиентом давления ПЖ/ПП [18]. Однако требуется большая аккуратность при измерении, от чего зависит достоверность результата.

Фракция изменения площади сечения ПЖ (ФИПС) (Fractional area change): этот показатель легко определяется в апикальном четырехкамерном сечении. В конце систолы и диастолы в плоскости трикуспидального кольца проводится прямая линия, от которой очерчивается граница эндокарда. ФИПС просчитывается по формуле:

$$\text{ФИПС (\%)} = (\text{КДП} - \text{КСП}) / \text{КДП}$$

КДП — конечно-диастолическая площадь, КСП — конечно-систолическая площадь.

По рекомендациям ASE ФИПС <30% указывает на систолическую дисфункцию ПЖ [12]. ФИПС имеет хорошую корреляцию с ФВ ПЖ, определенной магнитно-резонансной томографией (МРТ) и имеет прогностическое значение для больных ИМ и легочной гипертензией (ЛГ) [19–21]. Основное ограничение связано с необходимостью иметь хорошее очертание границ эндокарда, что может быть затруднено при трабекуляции ПЖ.

Систолическое смещение трикуспидального кольца (ССТК) (Tricuspid annular plane systolic excursion — TAPSE): показано, что это хороший показатель для оценки продольной функции ПЖ и отражает степень систолического движения латеральной части трехстворчатого кольца к верхушке [2]. По данным литературы ССТК имеет хорошую корреляцию с ФВ ПЖ, определенной при скинтиграфии [22]. Его можно легко оценить при апикальном четырехкамерном сечении, используя двухмерный или М-режимы. При М-режиме курсор направляется от верхушки к латеральной части трикуспидального кольца. В норме его смещение в сторону верхушки >2 см [23]. По рекомендациям ASE ССТК <16 мм ассоциируется с систолической дисфункцией ПЖ [12]. При остром ИМ ПЖ оно снижается и может служить маркером плохого прогноза [24, 25]. По данным ССТК ≤14 мм при остром ИМ ЛЖ нижней локализации ассоциируется с увеличением госпитальной смертности [26]. ССТК — простой при применении метод, но он имеет свои ограничения: оценка ограничена продольной функцией свободной стенки ПЖ, не учитывая вклад МЖП и ВТПЖ [27]. Осторожность должна быть проявлена при интерпретации этого показателя у больных, перенесших операцию на сердце [28]. Тем не менее, ASE рекомендует применять ССТК рутинно как простой метод оценки функции ПЖ.

Индекс производительности миокарда (ИПМ) (the myocardial performance index) или индекс Tei первоначально описанный для ЛЖ может быть адаптирован также для ПЖ. Этот показатель отличается от предыдущих тем, что характеризует больше физиологические, чем структурные особенности и является параметром оценки глобальной функции, отражающий как систолу, так и диастолу. Индекс просчитывается при импульсно-волновой доплер-ЭхоКГ по следующей формуле:

$$\text{Индекс Tei} = (\text{ВИС} + \text{ВИР}) / \text{ВВ}, \text{ где}$$

ВИС — время изоволюметрического сокращения, ВИР — время изоволюметрического расслабления, ВВ — время выброса.

В отличие от левых отделов сердца, где эти временные интервалы можно определять в течение одного сердечного цикла из-за возможности лоцировать митральный и аортальный клапаны в одной и той же проекции, для определения индекса Tei ПЖ необходимы два разных сердечных цикла. Так как обычно, ввиду диспозиции ТК и клапана ЛА трудно одновременно записывать трикуспидальный приток и легочный отток, практикуется последовательная запись кровотоков на обоих клапанах. ВВ можно определять в парастеральном сечении по короткой оси на уровне клапана ЛА, а ВИС и ВИР — на основании кровотока на ТК. Для взрослых значение индекса Tei ≤0,3 считается нормой, а увеличивается при патологиях, приводящих к дисфункции ПЖ [29]. По рекомендациям ASE ИПМ ПЖ >0,4 при импульсно-волновой доплер-ЭхоКГ и >0,55 при тканевой доплерографии свидетельствует о снижении глобальной функции ПЖ [12]. При ИМ ПЖ ИПМ повышается до ≥0,5

[30–32]. Высокое значение ИПМ ПЖ при остром ИМ ЛЖ нижней локализации ассоциируется с достоверным увеличением госпитальной смертности [33]. По данным литературы ИПМ хорошо коррелирует с легочными давлениями [34]. Его можно использовать для идентификации ранней дисфункции ПЖ при ИБС и других патологиях [35, 36]. Применение этого параметра ограничено при псевдонормализации ИПМ при повышении давления в ПП [12, 29]. Повышенное давление в ПП приводит к укорочению ВИР, что в свою очередь — к снижению индекса Tei.

Заключение

Только в последние два десятилетия, после признания ключевой роли ПЖ в развитии различных патологий, стали уделять должное внимание исследованию ПЖ [37–41]. ПЖ имеет большое влияние на прогноз у больных ЛГ, ИМ с вовлечением ПЖ, дисфункцией ЛЖ [41,

42]. ИМ ПЖ, как правило, ассоциируется с ИМ ЛЖ нижней локализации. Изолированный ИМ ПЖ встречается редко. В клинической практике зачастую пропускается диагностика ИМ ПЖ из-за его недостаточного исследования. ЭхоКГ является неинвазивным методом выбора для исследования ПЖ при остром ИМ, но практические протоколы ЭхоКГ часто включают ограниченное количество изображений ПЖ и редко — количественную оценку. Функцию ПЖ можно оценивать только после его исследования в множественных проекциях. Предложен ряд параметров М- и двухмерной ЭхоКГ для количественной оценки глобальной функции миокарда ПЖ. В клинической практике применяется комбинация этих параметров, поскольку каждый из них дает частичную информацию о состоянии ПЖ. Новейшие, в т.ч. 3D ЭхоКГ показатели могут улучшить исследование ПЖ и увеличить информацию о его структурно-функциональном состоянии.

Литература

- Voelkel NF, Leinwand LA, Barst RJ, et al. Right Ventricular Function and Failure: Report of a National Heart, Lung, and Blood Institute Working Group on Cellular and Molecular Mechanisms of Right Heart Failure, in Circulation 2006; 1883–91.
- Jurcut R, La Gerche A, Vassile S, et al. The echocardiographic assessment of the right ventricle: what to do in 2010? Eur J Echocardiogr 2010; 11: 81–96.
- Santamore WP, Dell'Italia LJ. Ventricular interdependence: significant left ventricular contributions to right ventricular systolic function. Prog Cardiovasc Dis 1998; 40: 289–308.
- Yamaguchi S, Li KS, Zhu D, S et al. Comparative significance in systolic ventricular interaction. Cardiovasc Res 1991; 25: 774–83.
- Anderson HR, Nielsen D. Right ventricular infarction: frequency, size, and topography in coronary heart disease: a prospective study comprising 107 consecutive autopsies from a coronary care unit. JACC 1987; 10 (6): 1223–32.
- Isner JM. Right ventricular infarction complicating left ventricular infarction secondary to coronary artery disease. Frequency, location, associated findings and significance from analysis of 236 necropsy patients with acute or healed myocardial infarction. Am J Cardiol 1978; 42 (6): 885–94.
- Kinch JW. Right ventricular infarction. N Engl J Med 1994; 330 (17): 1211–7.
- D'Arcy B. Twodimensional echocardiographic features of right ventricular infarction. Circulation 1982; 65: 167–73.
- Greil GF, Razavi R, Miller O. Imaging the right ventricle: non-invasive imaging. Heart 2008; 94: 803–8.
- Herzog E. Echocardiography in acute coronary syndrome: diagnosis treatment and prevention. 2009.
- Lindqvist P, Henein M. Echocardiography in the assessment of right heart function. Eur J Echocardiogr 2008; 9 (2): 225–34.
- Rudski LG, Afila J, Hua L, et al. 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. J Am Soc Echocardiogr 2010; 23 (7): 685–713; quiz 786–8.
- Cerqueira MD, Weissman N, Dilsizian V, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: a statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. Circulation 2002; 105 (4): 539–42.
- Foale R, McKenna W, Kleinbennet A, et al. Echocardiographic measurement of the normal adult right ventricle. Br Heart J 1986; 56: 33–44.
- Ho SY. Anatomy, echocardiography, and normal right ventricular dimensions. Heart 2006; 92: i2–13.
- Lang RM, Devereux RB, Flachskampf FA, et al. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. Eur J Echocardiogr 2006; 7: 79–108.
- Gemayel CY, Fowler LA, Kiernan FJ, et al. In vivo correlation of the site of right coronary artery occlusion and echocardiographically defined right ventricular infarction. Circulation 2000; 102: II-542.
- Lindqvist P, Henein M, Kazzam E. Right ventricular outflow-tract fractional shortening: an applicable measure of right ventricular systolic function. Eur J Echocardiogr 2003; 4: 29–35.
- Anavekar NS, Skali H, Khong RY, et al. Two dimensional assessment of right ventricular function: an echocardiographic-MRI correlative study. Echocardiography 2007; 24: 452–6.
- Anavekar NS, Bourgoun M, Ghali JK, et al. Usefulness of right ventricular fractional area change to predict death, heart failure, and stroke following myocardial infarction (from the VALIANT ECHO study). Am J Cardiol 2008; 101: 607–12.
- Zornoff LAM, Pfeffer MA, John Sutton M, et al. Right ventricular dysfunction and risk of heart failure and mortality after myocardial infarction. JACC 2002; 39: 1450–5.
- Kaul S, Hopkins JM, Shah PM. Assessment of right ventricular function using two-dimensional echocardiography. Am Heart J 1984; 107: 526–31.
- Ryding A. Essential echocardiography. 2010: Elsevier Health Sciences.
- Alam M, Andersson E, Samad BA, Nordlander R. Right ventricular function inpatients with first inferior myocardial infarction: assessment by tricuspid annular motion and tricuspid annular velocity. Am Heart J 2000; 139: 710–5.
- Samad BA, Alam M, Jensen-Urstad K. Prognostic impact of right ventricular involvement as assessed by tricuspid annular motion in patients with acute myocardial infarction. Am J Cardiol 2002; 90 (7): 778–81.
- Hayrapetyan H, Adamyan K. Tricuspid annular plane systolic excursion in acute left ventricular inferior myocardial infarction with ST segment elevation: prognostic importance and influence on ergometric parameters. Medical Science of Armenia 2011; 1: 80–7. Russian (Айрапетян ГГ, Адамьян К. Систолическое смещение трикуспидального кольца при остром нижнем инфаркте миокарда левого желудочка с элевацией сегмента ST: прогностическое значение и влияние на эргометрические параметры. Медицинская Наука Армении 2011; 1: 80–7).
- Coghlan JG. How should we assess right ventricular function in 2008? Eur Heart J Suppl 2007; 9: H22–8.

28. Giusca S, Scheurwegs C, D'hooge J, et al. Deformation imaging describes RV function better than longitudinal displacement of the tricuspid ring (TAPSE). *Heart* 2010.
29. Tei C, Hodge DO, Bailey KR, et al. Doppler echocardiographic index for assessment of global right ventricular function. *J Am Soc Echocardiogr* 1996; 9: 838–47.
30. Chockalingam A, Alagesan R, Subramanian T. Myocardial performance index in evaluation of acute right ventricular myocardial infarction. *Echocardiography* 2004; 21: 487–94.
31. Miller J, Poulsen SH, Appleton CP, et al. Serial Doppler echocardiographic assessment of left and right ventricular performance after a first myocardial infarction. *J Am Soc Echocardiogr* 2001; 14 (4): 249–55.
32. Yoshifuku S, Takasaki K, Yuge K, et al. Pseudonormalized Doppler total ejection isovolume (Tei) index in patients with right ventricular acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 2003; 91: 527–31.
33. Hayrapetyan H. Combined Tei index of both ventricles as a prognostic marker in acute left ventricular inferior ST segment elevated infarction. *Medical Science of Armenia* 2011; 2: 91–100. Russian (Айрапетян ГГ, Суммарный индекс Tei обоих желудочков как маркер прогноза при остром инфаркте миокарда левого желудочка нижней локализации с элевацией сегмента ST. *Медицинская Наука Армении*, 2011; 2: 91–100.
34. Vonk MC, Sander MH, van den Hoogen FH, et al. Right ventricle Tei-index: A tool to increase the accuracy of non-invasive detection of pulmonary arterial hypertension in connective tissue diseases. *Eur J Echocardiogr* 2007; 8 (5): 317–21. Epub 2006 Jul 17.
35. Eidem BW, Tei C, Seward JB. Usefulness of the myocardial performance index for assessing right ventricular function in congenital heart disease. *Am J Cardiol* 2000; 86: 654–8.
36. Eidem BW, Tei C., O'Leary PW, et al. Nongeometric quantitative assessment of right and left ventricular function: myocardial performance index in normal children and patients with Ebstein anomaly. *J Am Soc Echocardiogr* 1998; 11: 849–56.
37. La Gerche A, Mooney DJ, MacIsaac AI, et al. Biochemical and functional abnormalities of left and right ventricular function after ultra-endurance exercise. *Heart* 2008; 94: 860–6.
38. Davlouros PA, Webb G, Gatzoulis MA. The right ventricle in congenital heart disease. *Heart* 2006; 92: i27–38.
39. Voelkel NF, Leinwand LA, Barst RJ, et al. Right ventricular function and failure: Report of a National Heart, Lung, and Blood Institute Working Group on Cellular and Molecular Mechanisms of Right Heart Failure. *Circulation* 2006; 114: 1883–91.
40. D'Alonzo GE, Ayres SM, Bergofsky EH, et al. Survival in patients with primary pulmonary hypertension: results from a national prospective registry. *Ann Intern Med* 1991; 115: 343–9.
41. Juilliere Y, Feldmann L, Grentzinger A, et al. Additional predictive value of both left and right ventricular ejection fractions on long-term survival in idiopathic dilated cardiomyopathy. *Eur Heart J Suppl* 1997; 18: 276–80.
42. Chin KM, Rubin LJ. The right ventricle in pulmonary hypertension. *Coron Artery Dis* 2005; 16: 13–8.