

Сравнительная оценка симметричного и асимметричного вариантов ишемической митральной регургитации по данным трехмерной чреспищеводной и двумерной трансторакальной эхокардиографии

А. М. Андрианова, М. А. Саидова, М. Н. Болотова, С. В. Добровольская

ФГБУ «Российский кардиологический научно-производственный комплекс» МЗ РФ, г. Москва

Абстракт

Развитие и прогрессирование хронической ишемической митральной регургитации (ИМР) ассоциированы с фенотипом тетеринга створок митрального клапана (МК), который обусловлен топикой перенесенного инфаркта миокарда (ИМ).

Цель. *Оценить трехмерные (3D) параметры геометрии и функции МК при асимметричном и симметричном вариантах ИМР и проанализировать их взаимосвязь с показателями тяжести регургитации, глобального и регионарного ремоделирования левого желудочка (ЛЖ).*

Методы. *Обследовано 43 пациента с ИМР методами 3D чреспищеводной эхокардиографии (ЧПЭхоКГ) и двумерной (2D) трансторакальной эхокардиографии (ТТЕ). У всех больных по данным коронароангиографии ранее была диагностирована окклюзия одной или более коронарных артерий.*

Результаты. *Сравнительный анализ выявил существенные различия 3D параметров геометрии и функции МК при двух вариантах ИМР. При асимметричной ИМР (вследствие нижне-базального ИМ в сочетании или без бокового ИМ) площадь тендинга значимо расширяется; объем тендинга также увеличивается, но меньшей степени, чем при симметричном варианте. При асимметричной ИМР на характер 3D изменений геометрии МК основное влияние оказывает регионарное ремоделирование ЛЖ (апикальное смещение заднемедиальной папиллярной мышцы [АСЗМ ПМ]), за счет чего усиливается натяжение задней створки (ЗС) МК. Угол натяжения ЗС МК при асимметричном варианте напрямую связан с АСЗМ ПМ и показателями тяжести ИМР, что отражает, с одной стороны, преимущественную систолическую рестрикцию ЗС, а с другой, указывает на участие данного механизма дисфункции МК в прогрессировании ИМР. Объем тендинга имеет выраженные корреляции с этими показателями. При симметричном варианте ИМР изменения геометрии МК в большей степени, чем при асимметричном, зависят от дилатации и снижения сократительной способности ЛЖ.*

Выводы. *Показатели структурно-функциональной перестройки МК, глобального/регионарного ремоделирования ЛЖ и тяжести регургитации значимо различаются при симметричном и асимметричном вариантах ИМР. Характер изменений 3D параметров геометрии и функции МК ассоциирован с вариантом ИМР, который определяется топикой перенесенного ИМ.*

Ключевые слова: *ишемическая митральная регургитация, симметричный и асимметричный варианты, трехмерные показатели геометрии митрального клапана.*

Comparative evaluation of symmetric and asymmetric ischemic mitral regurgitation according to the three-dimensional transesophageal and two-dimensional transthoracic echocardiography

A. M. Andrianova, M. A. Saidova, M. N. Bolotova, S. V. Dobrovolskaya
Russian Cardiology Research Center, Moscow, Russia

Abstract

The development and progression of chronic ischemic mitral regurgitation (IMR) is associated with mitral tethering phenotype determined by localization of myocardial infarction (MI).

Purpose. *To evaluate three-dimensional (3D) mitral valve (MV) parameters in symmetric and asymmetric mitral regurgitation (MR) and analyze correlations with MR severity, left ventricle (LV) global and local remodeling.*

Methods. *43 patients with chronic IMR underwent 3D transesophageal and two-dimensional (2D) transthoracic echocardiography. Occlusion of one or more coronary arteries was diagnosed in 100% (n = 43) of patients.*

Results. *In asymmetric IMR, caused by inferoposterior MI tenting area significantly increases, tenting volume is also enlarged, but less in size than in symmetric type. In asymmetric MR 3D MV geometry changes are affected by local LV remodeling (i.e. apical displacement of posteromedial papillary muscles [ADPM PM]) that causes restriction of MV posterior leaflet. Posterolateral angle in asymmetric pattern is explicitly associated with ADPM PM and IMR severity. This fact reflects predominantly systolic restriction of posterior leaflet on one hand and on the other indicates involvement of MV dysfunction mechanism in MR progression. In symmetric IMR MV geometry changes in greater degree than in asymmetric one depend on LV dilatation and ejection fraction reduction. Comparative analysis shows significant differences of 3D MV parameters in two MR phenotypes.*

Conclusions. *3D MV geometric and functional alterations, global/local LV remodeling and regurgitation severity significantly differ in symmetric and asymmetric MR. 3D MV geometry and function changes are associated with MR phenotype determined by MI localisation.*

Keywords: *ischemic mitral regurgitation, three-dimensional mitral valve parameters, symmetric and asymmetric.*

Введение

В последние десятилетия в России, как и в большинстве стран Европы и Америки, существенно возросла выявляемость митральной недостаточности, или митральной регургитации (МР) ишемической этиологии [1–3]. Это связано, прежде всего, с продолжающейся «эпидемией» ожирения, сахарного диабета и метаболических расстройств – главных причин серьезных сердечно-сосудистых событий, в том числе, инфаркта миокарда (ИМ). Другой фактор, влияющий на увеличение распространенности ишемической МР (ИМР) – это улучшение качества медицинской помощи и увеличение выживаемости больных, перенесших ИМ [4, 5].

МР, развивающаяся через неделю и позже после перенесенного ИМ или на фоне хронической ишемии миокарда, при отсутствии исходной органической патологии митрального клапана (МК), определяют как хроническую ИМР [3, 6, 7]. До 20–25% больных, перенесших ИМ, в последующем имеют хроническую ИМР, причем частота зависит от топике поражения миокарда: ИМР возникает приблизительно у 15% пациентов с передним ИМ и у 40% – с нижним ИМ [3].

Несмотря на большое количество работ, посвященных проблеме ИМР, до сих пор не существует единого подхода к ее эхокардиографической оценке [8–10]. По данным Agricola E. et al. (2008) хроническая ИМР является в 95% случаев следствием

дисфункции IIb типа по классификации Карпантье [11] (систолическая рестрикция движения створок МК), в 5% случаев – следствием дисфункции I типа (расширение кольца МК) [12–14].

Стандартные критерии тяжести ИМР, определяемые с помощью традиционной двумерной (2D) трансторакальной эхокардиографии с применением доплерографии (ТТЭхоКГ) [2, 15], на сегодняшний день не в полной мере удовлетворяют требованиям практической медицины. Сложности, которые существуют при определении степени тяжести ИМР и, соответственно, тактики ведения пациента, связаны с различиями в векторе сил, действующих на створки МК и оказывающих существенное влияние на патофизиологию МР и ее прогноз [1, 13, 16]. При ИМР возможны два фенотипа (варианта) тетеринга¹ створок – симметричный и асимметричный, – в зависимости от топике поражения миокарда. В исследованиях Agricola E. et al. (2004, 2008) показано, что рестриктивное движение преимущественно задней створки в систолу при асимметричном варианте является следствием перенесенного нижнего ИМ и зачастую имеет неблагоприятный прогноз, поскольку ассоциируется с относительно быстрым нарастанием тяжести ИМР и худшим послеоперационным исходом [13, 17].

В настоящее время существует мнение, что классификационные критерии ИМР необходимо дополнить трехмерными (3D) показателями геометрии МК [8, 19], оценка которых стала возможной

¹ Тетеринг – силы натяжения, действующие на створки митрального клапана вследствие ремоделирования левого желудочка и смещения папиллярных мышц.

Рис. 1. Симметричный вариант ИМП по данным 2D ТТЭхоКГ

Примечание: ИМП с рестрикцией обеих створок МК (стрелки), приводит к развитию симметричного варианта. Струя регургитации направлена центрально в полость ЛП. На всех рисунках представлены данные собственных наблюдений.

с внедрением в кардиологическую практику чреспищеводных датчиков нового поколения [19–21].

Учитывая актуальность 3D исследований МК с применением современных технологий, мы провели комплексное эхокардиографическое обследование пациентов с хронической ИМП: оценили параметры геометрии и функции МК методом 3D чреспищеводной эхокардиографии (ЧПЭхоКГ) при симметричном и асимметричном вариантах ИМП и сопоставили их с показателями глобального и регионального ремоделирования, функции левого желудочка (ЛЖ), степени тяжести ИМП, полученных с помощью традиционной 2D ТТЭхоКГ.

Материал и методы

Обследовано 43 пациента (26 мужчин и 17 женщин; средний возраст $64,6 \pm 8,9$ лет) с хронической ИМП. У всех больных ранее была диагностирована окклюзия одной или более коронарных артерий по данным коронароангиографии (КАГ). На первом этапе всем пациентам была проведена 2D ТТЭхоКГ, на втором – 3D ЧПЭхоКГ на ультразвуковом аппарате General Electrics Vivid E-9 по стандартным методикам с использованием трансторакального (M5S) и чреспищеводного (6 VT-D) датчиков соответственно.

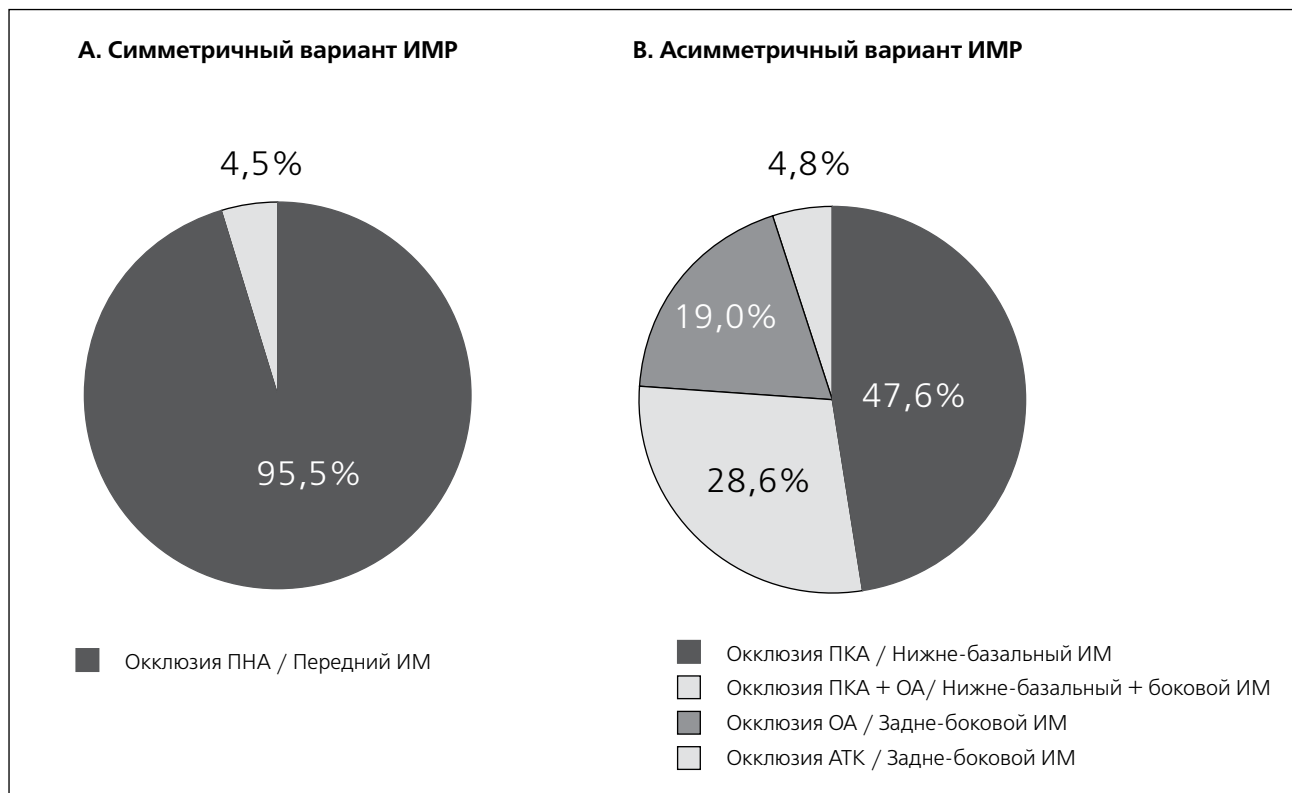
По результатам 2D ТТЭхоКГ оценивали конечно-диастолический (КДР ЛЖ) и конечно-систолический (КСР ЛЖ) размеры, конечно-диастолический (КДО ЛЖ) и конечно-систолический (КСО ЛЖ) объемы, фракцию выброса (ФВ ЛЖ) и индекс сферичности (ИС ЛЖ) ЛЖ, апикальное смещение заднемедиальной папиллярной мышцы (АСЗМ ПМ), локализацию и протяженность нарушенной

региональной сократимости левого желудочка (ЛЖ) с расчетом индекса асинергии (ИА). Степень тяжести ИМП определяли методом PISA (площадь проксимальной изоскоростной поверхности) [2, 22, 23] с расчетом площади эффективного регургитирующего отверстия (EROA) и регургитирующего объема (RVol).

3D ЧПЭхоКГ и последующее off-line моделирование МК с применением программного обеспечения TomTec (4D MV-Assessment; TOMTEC Imaging Systems GmbH, Germany) позволило детально оценить геометрию МК – параметры кольца, створок, тентинга², включая высоту (расстояние между плоскостью кольца и точкой смыкания створок), площадь (площадь между плоскостью кольца и телами створок), объем (объем между плоскостью кольца и телами створок) тентинга, а также задне-латеральный угол (PLA, или угол задней створки). Кроме того, анализ параметров в различные фазы сердечного цикла дал возможность проанализировать 3D показатели функции МК – фракцию площади кольца и фракцию объема тентинга.

Статистическую обработку данных проводили с использованием статистического пакета SAS 9.4. Для выявления достоверности различий между группами применяли критерии Стьюдента (при сравнении показателей, имевших нормальное распределение) и Краскела-Уоллеса (когда распределение исследуемых величин отличалось от нормального). Взаимосвязи между исследуемыми показателями изучали с помощью корреляционного анализа Пирсона.

Рис. 2. Данные коронароангиографии и локализация перенесенного инфаркта миокарда при симметричном (А) и асимметричном (В) вариантах ИМР



Примечание: ПНА – передняя нисходящая артерия; ПКА – правая коронарная артерия; ОА – огибающая артерия; АТК – артерия тупого края; ИМ – инфаркт миокарда.

Рис. 3. Асимметричный вариант ИМР по данным 2D ТТЭхоКГ



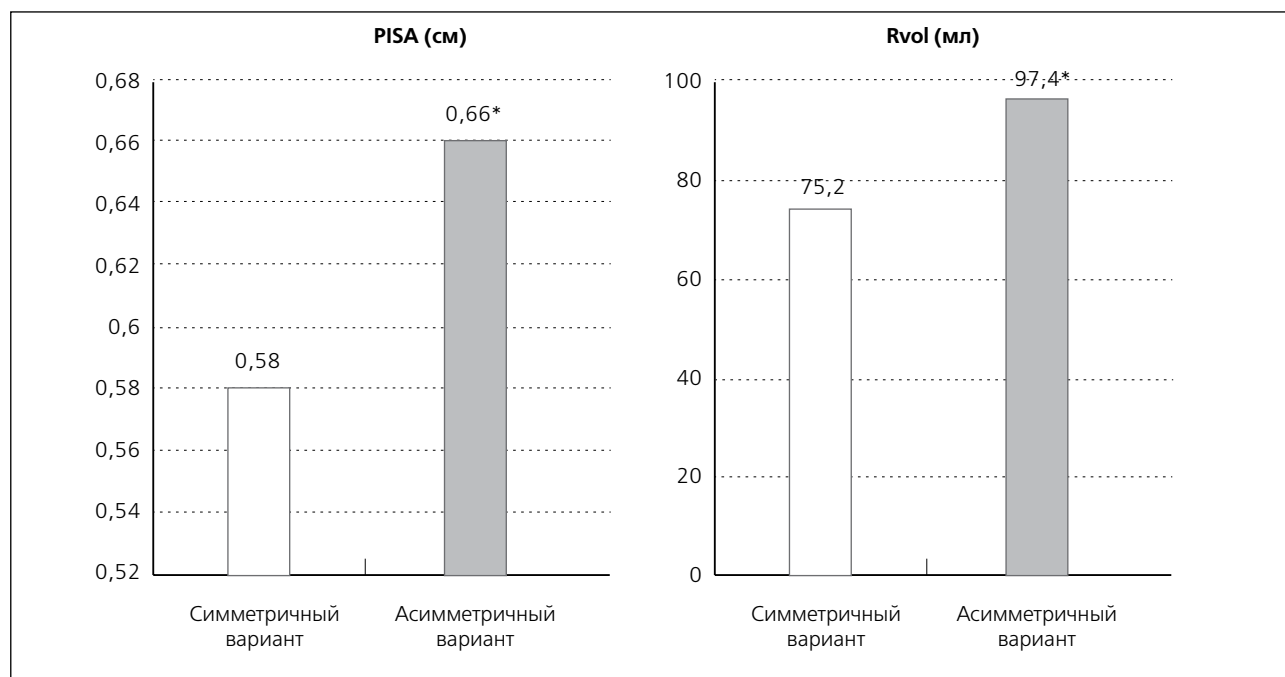
Примечание: ИМР с доминированием рестрикции задней створки МК (черная стрелка), приводит к развитию асимметричного варианта. Рестрикция передней створки МК вследствие чрезмерного натяжения хорды приводит к появлению типичного «знака чайки» (белая стрелка). Регургитирующая струя направлена латерально в сторону латеральной стенки ЛП.

Результаты

Симметричный вариант ИМР с систолической рестрикцией обеих створок МК, центральной стру-

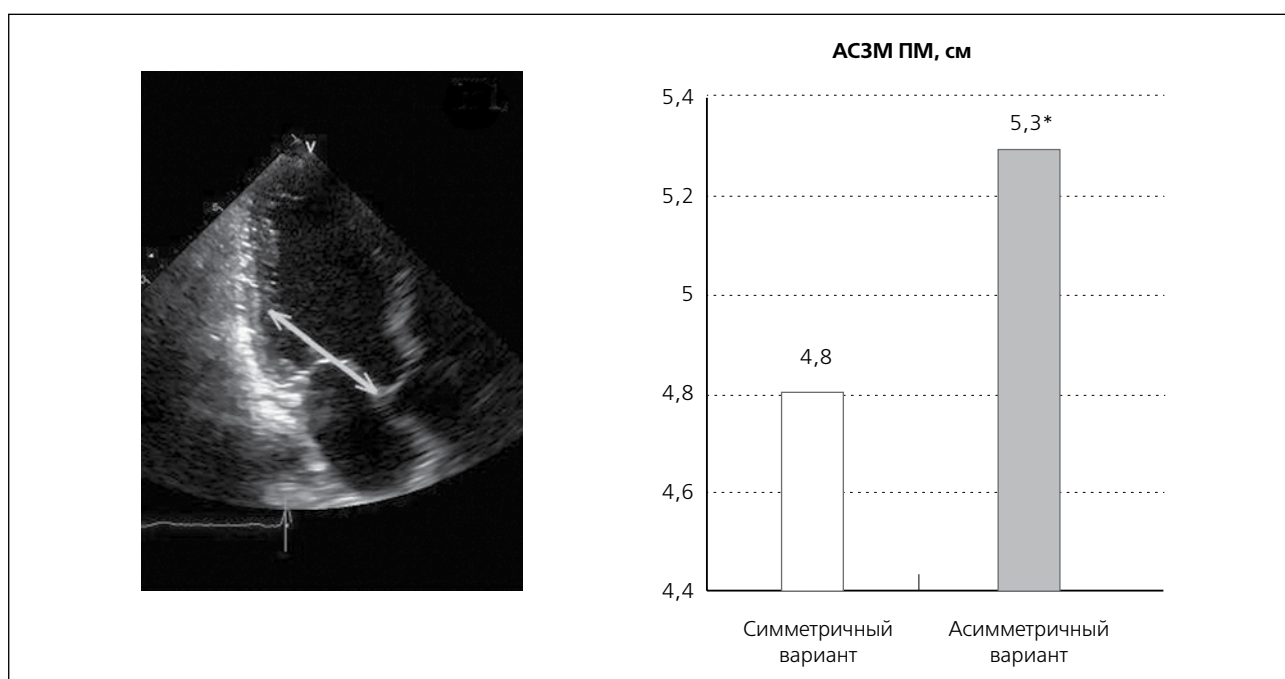
ей регургитации (рис. 1) и наличием зон нарушенной сократимости по передней стенке миокарда ЛЖ был определен у 22 пациентов. По данным КАГ (рис. 2) у 21 (95,5%) пациента определялась

Рис. 4. Количественные показатели степени тяжести ИМП при симметричном и асимметричном вариантах по данным 2D ТТЭхоКГ



Примечание: (здесь и на рис. 5, 6). * достоверные различия показателей в подгруппах пациентов с симметричным и асимметричным вариантами ИМП ($p < 0,05$).

Рис. 5. АСЗМ ПМ при симметричном и асимметричном вариантах ИМП по данным 2D ТТЭхоКГ



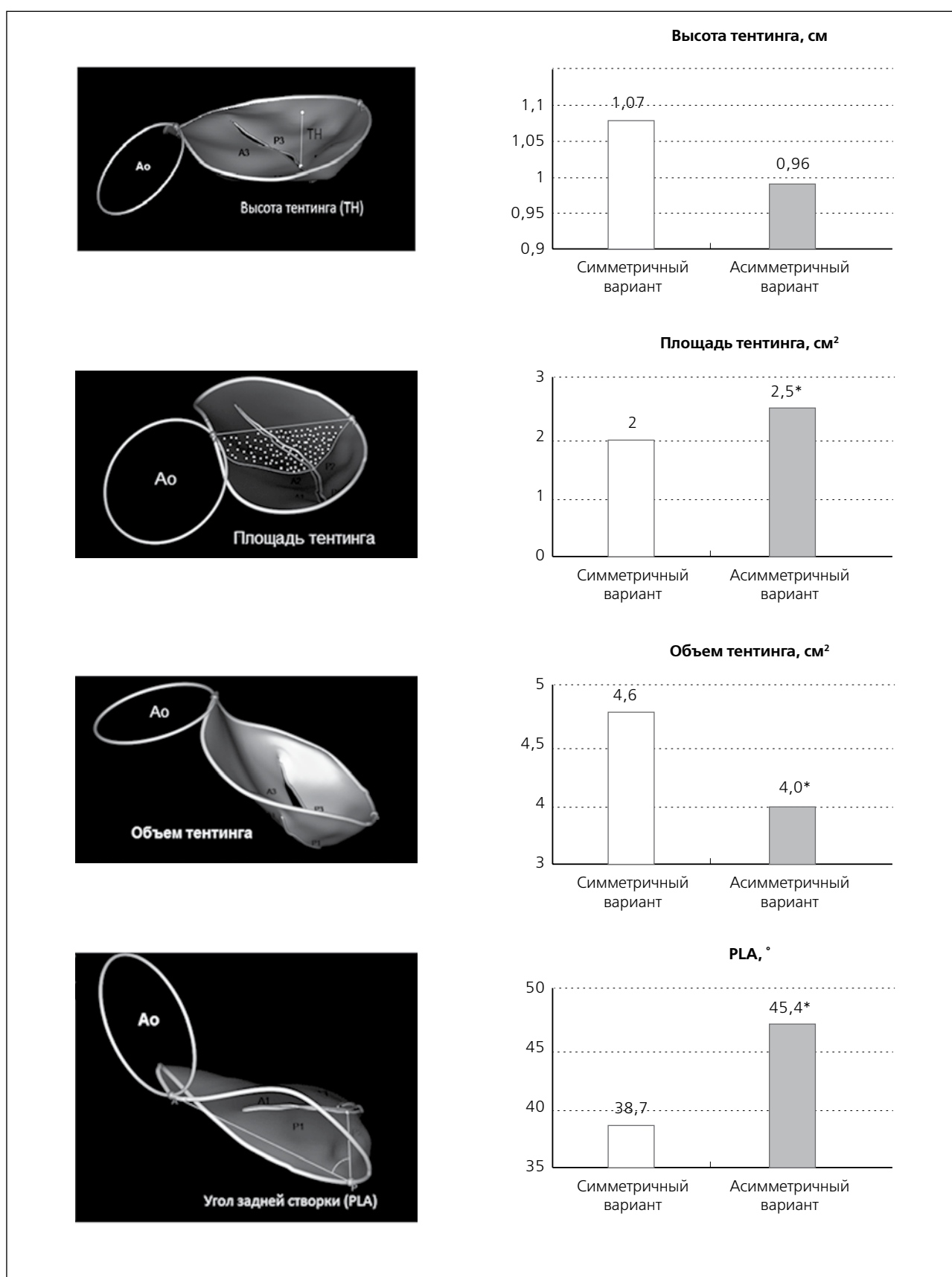
Примечание: АСЗМ ПМ на рисунке слева указано стрелкой.

окклюзия передней нисходящей артерии (ПНА), все они перенесли передний ИМ; у 1 (4,5%) больного была выявлена окклюзия двух коронарных артерий – ПНА и артерии тупого края (АТК), он перенес передний+задне-боковой ИМ.

Асимметричный вариант ИМП с систолической рестрикцией движения преимущественно задней

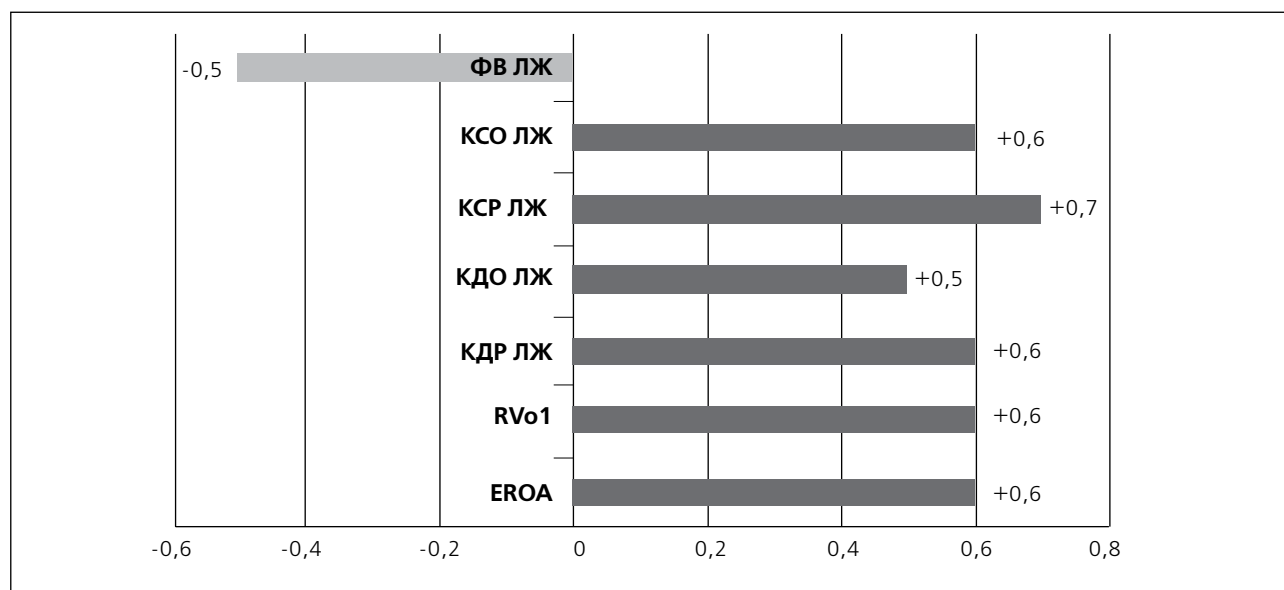
створки МК, эксцентричной регургитирующей струей (рис. 3), нарушенной локальной сократимостью в базальных сегментах нижней и задней стенок ЛЖ (в том числе, в сочетании с нарушениями в боковой стенке) выявлен у 21 пациента. По данным КАГ (рис. 2) у 10 (47,6%) из них определялась окклюзия правой коронарной артерии (ПКА), все

Рис. 6. 3D параметры тентинга (высота, площадь, объем и угол задней створки) при симметричном и асимметричном вариантах ИМП по данным 3D ЧПЭхоКГ



Примечание: Ao – кольцо аорты (программа дает взаимное расположение МК и АО).

Рис. 7. Корреляционные взаимосвязи 3D объема тентинга с показателями 2D ТТЭхоКГ при симметричном варианте ИМР



10 пациентов перенесли ниже-базальный ИМ, у 4 (19%) – окклюзия огибающей артерии (ОА) и задне-боковой ИМ, у 6 (28,6%) – окклюзия ПКА+ОА и ниже-базальный+боковой ИМ, у 1 (4,8%) – окклюзия АТК и задне-боковой ИМ.

При асимметричном варианте определялись значимо большие, чем при симметричном, радиус PISA ($0,66 \pm 0,15$ см против $0,58 \pm 0,11$ см; $p < 0,05$) и объем регургитации RVol ($97,37 \pm 62,26$ мл против $75,24 \pm 27,01$; $p < 0,05$), отражавшие более тяжелую степень ИМР (рис. 4).

АСЗМ ПМ при асимметричной ИМР было значимо больше, чем при симметричной ($5,27 \pm 0,72$ см против $5,00 \pm 0,81$ см; $p < 0,05$), что являлось следствием регионарного ремоделирования при данном варианте (рис. 5).

Средние значения размеров и объемов ЛЖ, а также ФВ ЛЖ, не имели достоверных различий в сравниваемых группах. В то же время, индекс сферичности ЛЖ при симметричном варианте ИМР был значимо больше ($0,74 \pm 0,05$ у.е.), что свидетельствовало о равномерном расширении полости ЛЖ, которая была более «шаровидной», чем при асимметричном варианте ($0,57 \pm 0,08$ у.е.; $p < 0,05$).

Результаты анализа показателей 3D ЧПЭхоКГ в зависимости от варианта ИМР даны на рисунке 6.

Обращают на себя внимание большие размеры площади тентинга ($2,5 \pm 1,1$ см³) при асимметричной ИМР, по сравнению с симметричной ($2,0 \pm 0,4$ см³; $p < 0,05$), и, напротив, более низкие значения высоты ($0,96 \pm 0,29$ см против $1,07 \pm 0,36$ см) и объема ($4,0 \pm 1,5$ см³ против $4,5 \pm 1,4$ см³; $p < 0,05$) тентинга у пациентов с асимметричным вариантом ИМР. Таким образом, трехмерное моделирование морфологической структуры МК выявило «разнонаправленное» (или

обратное) соотношение между высотой/объемом и площадью тентинга при двух вариантах ИМР.

Задне-латеральный угол (PLA, или угол натяжения задней створки) при асимметричном варианте ИМР был достоверно больше ($45,4 \pm 11,60$ против $38,7 \pm 11,20$; $p < 0,05$).

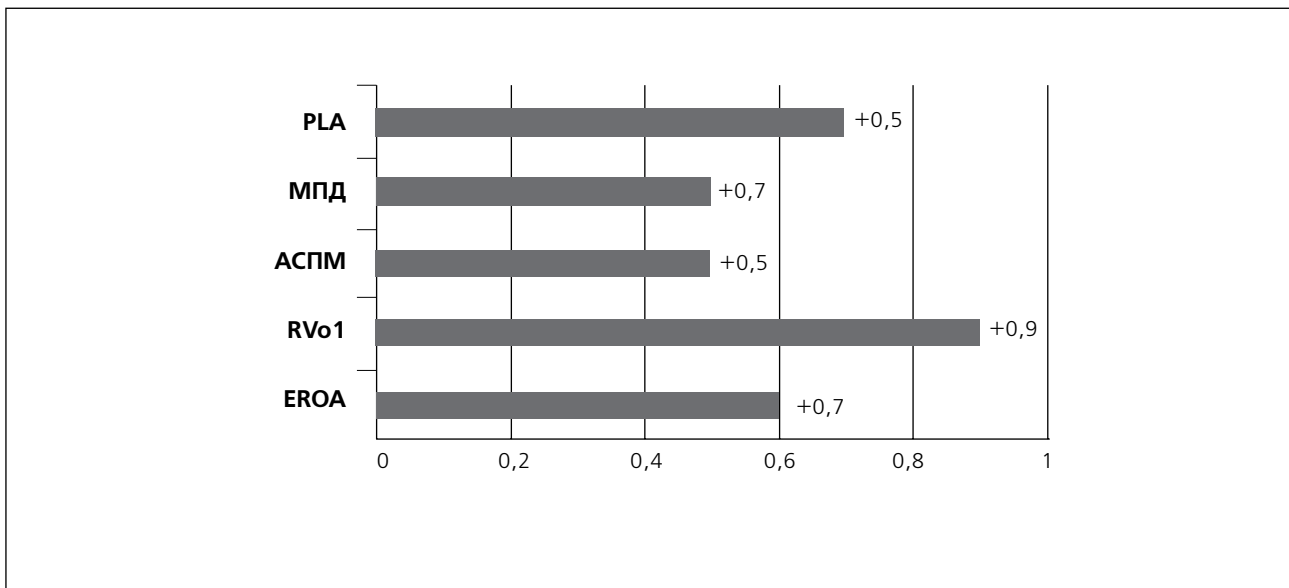
Показатели функции МК при двух вариантах ИМР также имели значимые различия: при асимметричном варианте фракция площади кольца была больше ($7,85 \pm 1,66$ % против $5,26 \pm 1,14$ %; $p < 0,05$), а фракция объема тентинга, наоборот, ниже ($38,67 \pm 7,65$ % против $45,26 \pm 5,71$ %; $p < 0,05$).

Для того, чтобы выяснить, каким образом перестройка МК «взаимодействует» с изменениями геометрии и функции ЛЖ, показателями степени тяжести ИМР при двух вариантах, мы провели корреляционный анализ, изучив взаимосвязи между 3D параметрами геометрии МК и основными показателями 2D ТТЭхоКГ.

Наличие и выраженность корреляционных взаимосвязей различались в зависимости от варианта ИМР. При симметричном варианте ИМР объем, площадь и высота тентинга имели положительные корреляции с размерами, объемами ЛЖ, количественными показателями степени тяжести ИМР (EROA, RVol, PISA) и отрицательные – с показателем сократительной способности ЛЖ. Наибольшее число корреляционных взаимосвязей было отмечено для объема тентинга (рис. 7). Параметры тентинга слабо взаимодействовали с показателем регионарного ремоделирования (АСЗМ ПМ), а угол задней створки (PLA) не имел взаимосвязей с показателями тентинга и количественными показателями степени тяжести ИМР.

При асимметричном варианте ИМР число взаимосвязей между показателями 3D и 2D ЭхоКГ было

Рис. 8. Корреляционные взаимосвязи 3D объема тентинга с показателями 2D ТТЭхоКГ при асимметричном варианте ИМР



меньше, чем при симметричном. Максимальное количество корреляций отмечено между объемом тентинга и показателями степени тяжести ИМР, объем тентинга был сопряжен с регионарным ремоделированием (выраженностью АСЗМ ПМ) (рис. 8). Однако, в отличие от симметричного варианта ИМР, при асимметричном варианте угол натяжения задней створки (PLA) имел выраженные положительные корреляции и с объемом тентинга, и с количественными показателями степени тяжести ИМР (EROA: $r=0,6$; $p=0,004$; RVol: $r=0,5$; $p=0,02$), а также выраженностью локального ремоделирования (АСЗМ ПМ: $r=0,6$; $p=0,01$).

Обсуждение результатов и выводы

Формирование симметричного варианта ИМР являлось следствием нарушения коронарного кровоснабжения (окклюзии) в бассейне ПНА или ПНА +АТК, что привело к развитию переднего ИМ (в 100% случаев, в том числе в 4,5% – в сочетании с задне-боковым ИМ).

Асимметричный вариант ИМР был результатом нарушения коронарного кровотока в бассейне ПКА (47,6%), ОА (19%), ПКА+ОА (28,6%) или АТК (4,8%) с развитием ниже-базального, задне-бокового или ниже-базального+бокового ИМ с последующим нарушением регионарной сократимости в нижней и задней стенках ЛЖ (или в сочетании с нарушениями в боковой стенке).

3D ЧПЭхоКГ давала детальную информацию об изменениях геометрии и функции МК и их отличиях в зависимости от варианта ИМР. «Разнонаправленные» при двух вариантах ИМР соотношения между высотой/объемом и площадью тентинга сочетались с изменениями показателей функции МК, также зависимыми от варианта ИМР.

Отличия в 3D геометрии тентинга МК объясняются различной морфологической перестройкой клапана, которая зависит от типа дисфункции створок и «фенотипа» тетеринга, то есть сил натяжения, действующих на створки. При симметричном варианте, когда имеет место систолическая рестрикция обеих створок в сочетании с дилатацией кольца МК и полости ЛЖ, высота и объем тентинга больше, а площадь тентинга – меньше. При асимметричном варианте ИМР (вследствие ниже-базального инфаркта в сочетании или без бокового ИМ, с вовлечением задне-медиальной папиллярной мышцы, ее смещением к верхушке и увеличением сил натяжения задней створки), когда имеется систолическая рестрикция преимущественно задней створки, клапан «уплощается», высота тентинга становится меньше, а площадь натяжения створок (тентинга) расширяется; объем тентинга также увеличивается, хотя и в меньшей степени, чем при симметричном варианте.

Таким образом, 3D моделирование геометрической структуры МК позволяет очень точно определить его перестройку в зависимости от патофизиологии ИМР. Считается, что при асимметричном фенотипе тетеринга точное измерение показателей геометрии МК является лучшим предиктором тяжести [18, 24–26].

При симметричном варианте ИМР изменения геометрии МК в большей степени, чем при асимметричном, зависели от дилатации и снижения сократительной способности ЛЖ; в меньшей степени изменения геометрии МК зависели от регионарного ремоделирования ЛЖ. При асимметричном варианте ИМР на характер изменений геометрии МК основное влияние оказывало регионарное ремоделирование ЛЖ – смещение к верхушке задне-медиальной папиллярной мышцы (АСЗМ ПМ),

за счет чего усиливалось натяжение задней створки МК. Объем тентинга имел выраженные корреляции с этими показателями. Заднелатеральный угол (PLA) при асимметричном варианте напрямую был связан с АСЗМ ПМ и тяжестью ИМР, что отражало, с одной стороны, преимущественную систолическую рестрикцию задней створки МК, а с другой, указывало на участие данного патофизиологического механизма дисфункции МК в прогрессировании ИМР. Объем тентинга был ассоциирован со степенью тяжести ИМР при обоих вариантах, однако выраженность взаимосвязей при асимметричном варианте была большей.

Заключение

Сравнительный анализ результатов комплексного эхокардиографического обследования, включающего 3D ЧПЭхоКГ и 2D ТТЭхоКГ, выявил существенные различия структурно-функциональной перестройки МК, показателей глобального/регионарного ремоделирования ЛЖ и тяжести регургитации при симметричном и асимметричном вариантах ИМР. Показано, что характер изменений 3D параметров геометрии и функции МК ассоциирован с вариантом ИМР, который определяется топикой перенесенного ИМ.

При асимметричной ИМР 3D площадь тентинга значимо расширяется; 3D объем тентинга также увеличивается, но меньшей степени, чем при симметричном варианте. Смещение к верхушке

заднемедиальной папиллярной мышцы (в результате ниже-базального ИМ в сочетании или без бокового ИМ) и усиление натяжения задней створки МК являются следствием регионарного ремоделирования ЛЖ при асимметричной ИМР. При симметричном варианте ИМР изменения геометрии МК связаны преимущественно с глобальным ремоделированием ЛЖ, проявляющемся в увеличении индекса сферичности и снижении сократительной способности ЛЖ.

Мы полагаем, что показатели геометрии и функции МК, полученные при 3D ЧПЭхоКГ, следует учитывать при планировании тактики ведения пациентов с ИМР, в том числе, хирургической коррекции клапана.

Конфликт интересов

Авторы не имеют конфликта интересов. В статье представлены результаты исследования, выполненного в соответствии с планом научно-исследовательской работы отдела новых методов диагностики Института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ РКНПК МЗ РФ. Все авторы являются сотрудниками данного учреждения.

Список литературы

1. Lancellotti P, Moonen M, Zacharakis D, Pierard L. Ischemic mitral regurgitation. *Arch Mal Coeur Vaiss.* 2007;100(12):1056–62. [Article in French] Doi: AMCV-12-2007-100-12-0003-9683-101019-200705540
2. Lancellotti P, Moura L, Pierard LA, Agricola E, Popescu BA, Tribolillo C, Hagendorff A, Monin J-L, Badano L, Zamorano L. on behalf of the European Association of Echocardiography. European Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 2: mitral and tricuspid regurgitation (native valve disease). *Eur J Echocardiogr.* 2010(11):307–32. Doi: 10.1093/ejechocard/jeq031
3. Secondary Mitral Valve Regurgitation. Editors: K. Fattouch, P. Lancellotti, Angelini G.D. Springer-Verlag. 2015. Available from: <http://www.springer.com/us/book/9781447164876>
4. Salukhe TV, Henein MY, Sutton R. Ischemic mitral regurgitation and its related risk after myocardial infarction *Circulation.* 2005 Jan 25; 111(3):254–6.
5. Trichon BH, Felker GM, Shaw LK, Cabell CH, O'Connor CM. Relation of frequency and severity of mitral regurgitation to survival among patients with left ventricular systolic dysfunction and heart failure. *Am. J. Cardiol.* 2003 Mar 1; 91(5):538–43.
6. Borger MA, Alam A, Murphy PM, Doenst T, David TE. Chronic ischemic mitral regurgitation: repair, replace or rethink? *Ann. Thorac. Surg.* 2006 Mar 81(3):1153–61.
7. Hubulava GG, Volkov AV, Ivanov GM, Splender EI, Yatsenko IA. Surgical treatment of patients with moderate ischemic mitral insufficiency. *Medical Academic Journal.* 2013;13(1):30–8. Russian (Хубулава ГГ, Волков АВ, Иванов ГМ, Спландер ЕИ, Яценко ИА. Хирургическое лечение пациентов с умеренной ишемической митральной недостаточностью. *Медицинский академический журнал.* 2013;13(1):30–8).



8. Dudzinski DM, Hung J. Echocardiographic assessment of ischemic mitral regurgitation. *Cardiovascular Ultrasound*. 2014; 12:46 DOI: 10.1186/1476-7120-12-46 Available from: <http://www.cardiovascularultrasound.com/content/12/1/46>
9. Magne J, Sünüchal M, Dumesnil JG, Pibarot P. Ischemic mitral regurgitation: a complex multifaceted disease. *Cardiology*. 2009; 112(4):244-59.
10. Marwick TH, Lancellotti P, Pierar L. Ischaemic mitral regurgitation: mechanisms and diagnosis. *Heart*. 2009; 95:1711-18. doi: 10.1136/birt.2007.135335
11. Carpentier A. Cardiac valve surgery - the «French correction». *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1983;86:323-37.
12. Agricola E, Oppizzi M, Maisano F, De Bonis M, Schinkel A FL, Torracca L, Margonato A, Melisurgo G, Alfieri O. Echocardiographic classification of chronic ischemic mitral regurgitation caused by restricted motion according to tethering pattern. *Eur J Echocardiogr*. 2004;5(5):326-34. doi.org/10.1016/j.euje.2004.03.001
13. Agricola E, Oppizzi V, Pisani V, Meris A, Maisano F, Margonato A. Ischemic mitral regurgitation: mechanisms and echocardiographic classification. *Eur J Echocardiogr*. 2008 Mar;9(2):207-21.
14. Lancellotti P, Tribouilloy C, Hagendorff A, Popescu BA, Edvardsen T, Pierard LA, Badano L, Zamorano JL; Scientific Document Committee of the European Association of Cardiovascular Imaging. Recommendations for the echocardiographic assessment of native valvular regurgitation: An executive summary from the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2013 Jul; 14(7):611-44. doi: 10.1093/ehjci/jet105
15. Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, Carabello BA, Erwin JP III, Guyton RA, O'Gara PT, Ruiz CE, Skubas NJ, Sorajja P, Sundt TM III, Thomas JD; A CC/AHA Task Force Members. AHA/ACC Guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on practice guidelines. *Circulation*. 2014 Jun 10;129(23):2440-92. doi: 10.1161/CIR.0000000000000029.
16. Zeng X, Nunes MCP, Dent J, Gillam L, Mathew JP, Gammie JS, Ascheim DD, Moquete E, Hung J. Asymmetric versus symmetric tethering patterns in ischemic mitral regurgitation: geometric differences from three-dimensional transesophageal echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2014 Apr;27(4):367-75. doi: 10.1016/j.jecho.2014.01.006.
17. Agricola E, Galderisi M, Oppizzi M, Schinkel AFL, Maisano F, De Bonis M, Margonato A, Maseri A, Alfieri O. Pulsed tissue Doppler imaging detects early myocardial dysfunction in asymptomatic patients with severe mitral regurgitation. *Heart*. 2004. Apr; 90(4): 406-10. doi: 10.1136/birt.2002.009621
18. Zeng X, Tan TC, Dudzinski DM, Hung J. Echocardiography of the mitral valve. *J. Prog Cardiovasc Dis*. 2014 Jul-Aug;57(1):55-73. doi: 10.1016/j.jpcad.2014.05.010.
19. Vegas A, Meineri M. Three-dimensional transesophageal echocardiography is a major advance for intraoperative clinical management of patients undergoing cardiac surgery: a core review. *Anesth Analg*. 2010 Jun 1;110(6):1548-73. doi: 10.1213/ANE.0b013e3181d41be7.
20. Habn RT, Abraham T, Adams MS, Bruce CJ, Glas KE, Lang RM, Reeves ST, Shanewise JS, Siu SC, Stewart W, Picard MH; American Society of Echocardiography; Society of Cardiovascular Anesthesiologists. Guidelines for Performing a Comprehensive Transesophageal Echocardiographic Examination: Recommendations from the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *Anesth Analg*. 2014 Jan;118(1):21-68. doi: 10.1213/ANE.0000000000000016.
21. Atkov OJ. Ultrasound examination of the heart and vascular / Under. Ed. OJ Atkov. 2 nd ed., Ext. and expanded. Moscow: Eksmo, 2015: 456 p. Russian (Атьков О.Ю. Ультразвуковое исследование сердца и сосудов / Под. ред. О.Ю. Атькова. 2-е изд., доп. и расшир. Москва: Эксмо, 2015. 456 с).
22. Enriquez-Sarano M, Miller FA Jr, Hayes SN, Bailey KR, Tajik AJ, Seward JB. Effective mitral regurgitant orifice area: clinical use and pitfalls of the proximal isovelocity surface area method. *J Am Coll Cardiol*. 1995. Mar 1;25(3):703-9.
23. Iwakura K, Ito H, Kawano S, Okamura A, Kurotobi T, Date M, Inoue K, Fujii K. Comparison of orifice area by transthoracic three-dimensional Doppler echocardiography versus proximal isovelocity surface area (PISA) method for assessment of mitral regurgitation. *Am J Cardiol*. 2006 Jun 1;97(11):1630-7.
24. Chinitz JS, Chen D, Goyal P, Wilson S, Islam F, Nguyen T, Wang Y, Hurtado-Rua S, Simprini L, Cham M, Levine RA, Devereux RB, Weinsaft JW. Mitral apparatus assessment by delayed enhancement CMR: Relative impact of infarct distribution on mitral regurgitation. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013 Feb;6(2):220-34. doi: 10.1016/j.jcmg.2012.08.016.
25. Daimon M, Saracino G, Gillinov AM, Koyama Y, Fukuda S, Kwan J, Song JM, Kongsarepong V, Agler DA, Thomas JD, Sbiota T. Local dysfunction and asymmetrical deformation of mitral annular geometry in ischemic mitral regurgitation: a novel computerized 3D echocardiographic analysis. *Echocardiography*. 2008 Apr;25(4):414-23. doi: 10.1111/j.1540-8175.2007.00600.x.
26. Mor-Avi V, Sugeng L, Lang RM. Real-Time 3-Dimensional Echocardiography An Integral Component of the Routine Echocardiographic Examination in Adult Patients? *Circulation*. 2009 Jan 20;119(2):314-29. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.751354.