

Саидова М. А., Андрианова А. М.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Минздрава России, Москва, Россия

ИШЕМИЧЕСКАЯ МИТРАЛЬНАЯ НЕДОСТАТОЧНОСТЬ: АЛГОРИТМ ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ, МЕСТО ТРЕХМЕРНОЙ ЧРЕСПИЩЕВОДНОЙ ЭХОКАРДИОГРАФИИ

<i>Цель исследования</i>	Определение диагностических маркеров тяжелых изменений митрального клапана (МК) у пациентов с ишемической митральной регургитацией (ИМР) и предложение модификации алгоритма эхокардиографического обследования.
<i>Материал и методы</i>	Обследованы 65 пациентов с легкой (n=22), умеренной (n=22) и тяжелой (n=21) ИМР методами двумерной (2D) трансоракальной эхокардиографии (ЭхоКГ) с доплерографией, чреспищеводной 2D- и 3D-ЭхоКГ (ЧП-ЭхоКГ).
<i>Результаты</i>	Параметры 3D-геометрии МК взаимосвязаны с показателями степени тяжести ИМР, глобального и регионарного ремоделирования левого желудочка (ЛЖ) и имеют различия при симметричном и асимметричном вариантах ИМР. При симметричном варианте перестройка МК коррелирует со степенью дилатации и снижения сократительной способности ЛЖ, при асимметричном варианте – с показателями регионарного ремоделирования. Тяжелая ИМР характеризуется снижением скорости смещения кольца ($27,0 \pm 6,6$ мм/с против $32,4 \pm 10,8$ мм/с при легкой ИМР; $p < 0,05$), уменьшением фракции объема тентинга ($32,5 \pm 14,8\%$ против $56,2 \pm 16,8\%$ при легкой ИМР; $p < 0,05$) и фракции площади кольца ($4,7 \pm 2,7\%$ против $6,6 \pm 4,5\%$ при легкой ИМР; $p < 0,05$) МК. Ширина струи регургитации (Vena contracta), радиус площади проксимальной изоскоростной поверхности (PISA), площадь эффективного регургитирующего отверстия (EROA), регургитирующий объем (Rvol), конечный систолический размер (КСР) ЛЖ, центральная струя регургитации $>50\%$ площади левого предсердия (ЛП) имеют прогностическую значимость в диагностике тяжелых изменений МК, при достижении пороговых значений могут служить показаниями к 3D-ЧП-ЭхоКГ.
<i>Выводы</i>	Трехмерная чреспищеводная эхокардиография позволяет детально оценить геометрические и функциональные показатели МК, которые имеют различия в зависимости от тяжести и варианта ИМР. Для решения вопроса о хирургической коррекции МК выполнение 3D-ЧП-ЭхоКГ рекомендуется при наличии следующих комбинаций показателей: 1) Vena contracta $\geq 0,7$ см; PISA $\geq 1,0$ см; центральная струя МР $\geq 50\%$ площади ЛП; КСР ЛЖ $\geq 4,0$ см; 2) Vena contracta $\geq 0,6$ см; PISA $0,6-0,99$ см; EROA $\geq 0,3$ см ² ; RVol ≥ 45 мл; эксцентричная струя ИМР + эллиптическое отверстие ИМР.
<i>Ключевые слова</i>	Ишемическая митральная регургитация; трехмерная чреспищеводная эхокардиография
<i>Для цитирования</i>	Saidova M. A., Andrianova A. M. Ischemic Mitral Regurgitation: Echocardiographic Algorithm, the Place of Three-Dimensional Transesophageal Echocardiography. <i>Kardiologiia</i> . 2020;60(2):54–60. [Russian: Саидова М. А., Андрианова А. М. Ишемическая митральная недостаточность: алгоритм эхокардиографического обследования, место трехмерной чреспищеводной эхокардиографии. <i>Кардиология</i> . 2020;60(2):54–60]
<i>Автор для переписки</i>	Андрианова Анна Михайловна. E-mail: andrianovanna@gmail.com

Ишемическая митральная недостаточность как следствие перенесенного инфаркта миокарда (ИМ) или хронической ишемии миокарда занимает одно из лидирующих мест среди клапанных поражений сердца [1, 2]. Распространенность ее существенно возросла за последние десятилетия, что обусловлено продолжающейся «эпидемией неинфекционных заболеваний» (ожирения, метаболического синдрома, сахарного диабета, артериальной гипертензии) – факторов риска развития сердечно-сосудистых осложнений, а также повышением качества медицинской помощи и увеличением продолжительности жизни больных, перенесших ИМ [3, 4].

Известно, что выраженная митральная регургитация приводит к развитию хронической сердечной недостаточности и ассоциируется с плохим прогнозом [5].

Ишемическая митральная регургитация (ИМР) развивается при исходно интактных створках митрального клапана (МК), но по мере прогрессирования может приводить к гемодинамически значимой структурно-функциональной перестройке клапанного аппарата, диктующей необходимость хирургического вмешательства [2, 6, 7]. Тактика хирургической коррекции недостаточности МК во многом зависит от предоперационной оценки степени тяжести и механизма регургитации,

анатомического и функционального состояния МК [8–10]. В связи с расширением возможностей хирургического лечения ИМР, в том числе неуклонным ростом малоинвазивных транскатетерных операций на МК, важным является определение четких показаний к направлению на оперативное лечение [6, 11].

Общепринятыми методами диагностики ИМР являются трансторакальная эхокардиография (ТТ-ЭхоКГ) с использованием доплерографии, а также чреспищеводная ЭхоКГ (ЧП-ЭхоКГ) [11, 12]. Чреспищеводный датчик ввиду близости к сердцу дает возможность лучше визуализировать аппарат МК. Новое поколение датчиков, позволяющих выполнять трехмерную (3D) реконструкцию МК, продвинуло диагностику ИМР на новый уровень [13]. Преимущество 3D-ЧП-ЭхоКГ заключается в возможности получить детальную информацию о строении МК и подклапанных структур, включая объемное изображение створок, хорд, комиссур и фиброзного кольца клапана по всему его периметру [14].

Прогресс в изучении ИМР нашел отражение в клинических рекомендациях, пересмотр которых произошел в 2017 г. практически во всех профессиональных сообществах по кардиологии, эхокардиографии и кардиоваскулярной томографии [2, 3, 11]. В новых рекомендациях по неинвазивной оценке клапанных регургитаций Американского общества по ЭхоКГ подчеркивается, что 3D-ЧП-ЭхоКГ следует применять в тех случаях, когда диагностика ИМР затруднительна с помощью традиционной двумерной ЭхоКГ (2D-ЧП-ЭхоКГ). Причем 3D-ЧП-ЭхоКГ является предпочтительной среди методов диагностики, поскольку обладает более высокой информативностью [11].

Вместе с тем не разработан алгоритм эхокардиографической диагностики ИМР с учетом показаний для 3D-ЧП-ЭхоКГ. В связи с этим нами было проведено комплексное обследование пациентов с различной степенью тяжести ИМР с использованием возможностей ТТ-ЭхоКГ и ЧП-ЭхоКГ, включая трехмерное моделирование МК.

Цель исследования: оценка 3D-параметров геометрии и функции МК, их сопоставление с 2D-показателями степени ИМР и ремоделирования левого желудочка (ЛЖ), с дальнейшим определением диагностических маркеров тяжести недостаточности МК и разработкой эхокардиографического алгоритма обследования пациентов с ИМР.

Материал и методы

Проведено комплексное обследование 65 пациентов (36 мужчин и 29 женщин) с верифицированным диагнозом ишемической болезни сердца, наличием регургитаций легкой ($n=22$), умеренной ($n=22$) и тяжелой ($n=21$) степени по данным ТТ-ЭхоКГ [3, 15] в отсутствие органического поражения МК. Исследование проводилось

в соответствии с положениями Хельсинкской декларации, одобрено комитетом по этике ФГБУ «НМИЦ кардиологии» МЗ РФ. Перед включением все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Три группы пациентов не различались по возрасту (средний возраст $65,4 \pm 8,9$ года) и наличию сопутствующей патологии, в том числе артериальной гипертензии (75%), стабильной стенокардии (80%), сахарного диабета (40%). По данным коронарографии (КГ), у 71% ($n=46$) больных имелись окклюзия одной или более коронарных артерий (и соответствующая локализация постинфарктного кардиосклероза – ПИКС); у 29% ($n=19$) пациентов – многососудистое поражение и хроническая ишемия миокарда без ПИКС. У 100% больных с тяжелой ИМР диагностирована сердечная недостаточность III функционального класса по NYHA. Адекватный контроль сердечно-сосудистой патологии на момент исследования был возможен за счет лекарственной терапии, которая была подобрана индивидуально каждому больному в соответствии с современными стандартами.

Пациентам на первом этапе проводили 2D-ТТ-ЭхоКГ, на втором – 3D-ЧП-ЭхоКГ. Исследование выполняли на ультразвуковом аппарате Vivid E-9 по стандартным методикам с использованием трансторакального (MSS) и чреспищеводного (6 VT-D) датчиков соответственно.

Протокол 2D-ТТ-ЭхоКГ включал оценку показателей глобального (конечный диастолический и конечный систолический объемы ЛЖ) и регионального (апикальное смещение заднемедиальной папиллярной мышцы и межпапиллярная дистанция) ремоделирования ЛЖ, расчет его фракции выброса (ФВ), индекса сферичности, определение локализации и протяженности нарушений региональной сократимости с подсчетом индекса асинергии. Для оценки степени тяжести ИМР использовали метод PISA (proximal isovelocity surface area, площадь проксимальной изоскоростной поверхности) с расчетом количественных показателей площади эффективного регургитирующего отверстия (EROA, effective regurgitant orifice area) и регургитирующего объема ($Rvol$, regurgitant volume) и полуколичественного показателя – ширины струи под регургитирующим отверстием (Vena Contracta).

На основании данных 3D-ЧП-ЭхоКГ и последующего off-line моделирования МК с применением программного обеспечения TomTec были проанализированы следующие параметры геометрии МК:

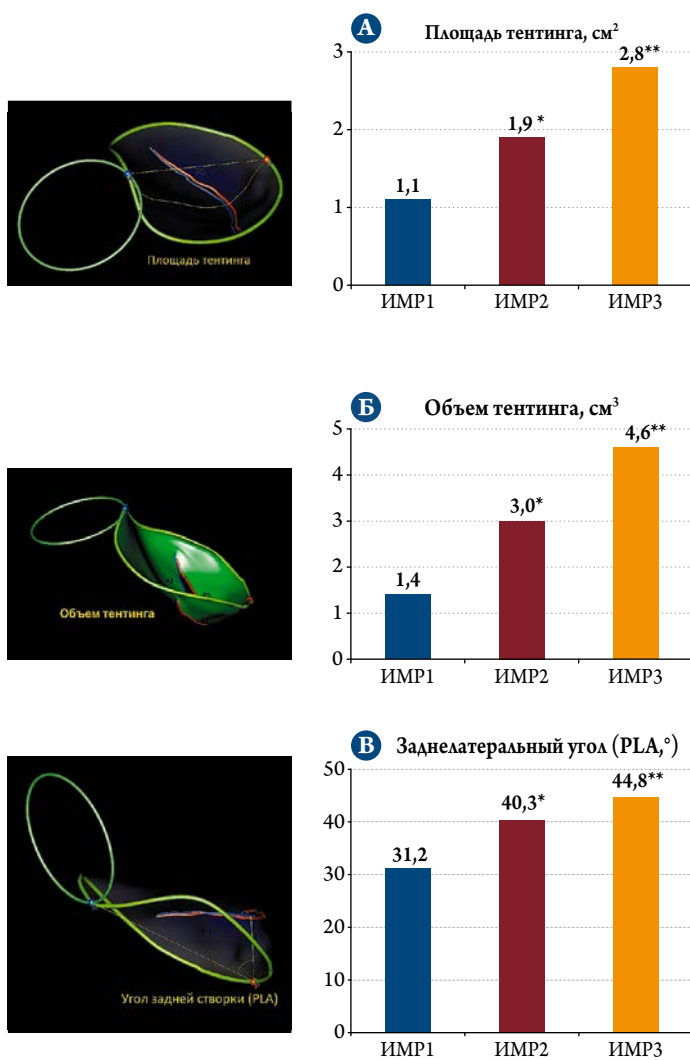
- 1) высота, площадь и диаметры кольца (переднезадний, переднелатерально-заднемедиальный, комиссуральный), индекс сферичности кольца (отношение переднезаднего диаметра к переднелатерально-заднемедиальному диаметру);

- 2) длина и площадь створок;
- 3) высота тентинга (расстояние между плоскостью кольца и точкой смыкания створок), площадь тентинга (площадь между плоскостью кольца и телами створок) и объем тентинга (объем между плоскостью кольца и телами створок);
- 4) заднелатеральный угол (PLA, Posterolateral Angle, или угол задней створки), непланарный угол и митрально-аортальный угол.

Анализ параметров в различные фазы сердечного цикла позволил оценить 3D-показатели функции МК:

- смещение и скорость смещения кольца;
- фракция площади кольца;
- фракция объема тентинга.

Рисунок 1. Параметры тентинга при различной тяжести ИМР по данным 3D-ЧП-ЭхоКГ



А – площадь; Б – объем; В – угол задней створки (заднелатеральный угол) митрального клапана. ИМР1, 2, 3 – ишемическая митральная регургитация I, II и III степени. Различия достоверно ($p < 0,05$) между * – ИМР1 и ИМР2; ** – ИМР2 и ИМР3. ИМР – ишемическая митральная регургитация; 3D-ЧП-ЭхоКГ – трехмерная чреспищеводная эхокардиография.

Для анализа полученных данных использовали статистический пакет SAS 9.4, применяли тесты Стьюдента, Краскела–Уоллеса, корреляционный анализ Пирсона, многофакторный регрессионный анализ, ROC-анализ. Результаты представлены в виде среднего значения и его стандартного отклонения ($M \pm SD$), объем тентинга – в виде медианы и межквартильного размаха [Q1; Q3].

Результаты и обсуждение

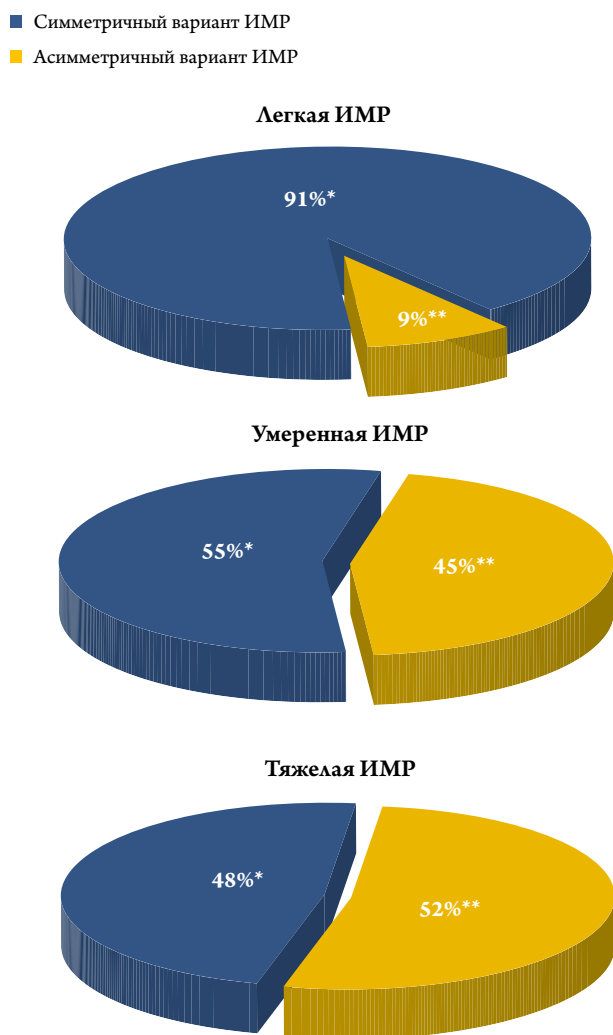
По данным 3D-ЧП-ЭхоКГ выявлено увеличение степени геометрической перестройки МК по мере прогрессирования ИМР, что проявлялось в изменениях кольца, створок и их тентинга [16]. Значительно увеличивались средние значения переднезаднего, латерально-медиального, комиссурального диаметров, окружности и площади кольца МК при умеренной и тяжелой ИМР по сравнению с показателями при легкой ИМР. Индекс сферичности кольца вследствие его растяжения приближался к 1,0 при тяжелой ИМР.

3D-реконструкция МК позволила оценить изменения створок МК во всех деталях. Долгое время считалось, что ИМР возникает при морфологически не измененных створках МК, однако методы 3D-визуализации позволили объективно доказать обратное. Выявлено значительное увеличение длины и площади обеих створок по мере увеличения тяжести ИМР, что согласовывалось с данными других исследований [8, 17].

Аномальная форма смыкания/натяжения створок клапана вследствие повышенной гемодинамической нагрузки и ремоделирования при тяжелой ИМР сопровождалась увеличением высоты ($1,07 \pm 0,34$ см) и площади ($2,76 \pm 0,98$ см²) тентинга примерно в 2 раза по сравнению с таковыми при легкой ИМР ($0,52 \pm 0,21$ и $1,10 \pm 0,43$ см² соответственно). Итогом увеличения площади створок являлся патологический объем тентинга: более 1,0 см³ при легкой ИМР ($1,35$ см³ [0,98; 2,21 см³]) и более 4,0 см³ при тяжелой ИМР ($4,61$ см³ [3,76; 6,48 см³]), что также согласуется с результатами ранее проведенных исследований [8, 17, 18]. Угол натяжения задней створки (PLA) увеличивался от $31,2 \pm 12,7^\circ$ при легкой ИМР до $44,8 \pm 12,9^\circ$ при тяжелой ИМР (рис. 1).

Выявлено статистически значимое снижение скорости смещения и фракции площади кольца при тяжелой ИМР ($27,0 \pm 6,6$ мм/с против $32,4 \pm 10,8$ мм/с при легкой ИМР и $4,7 \pm 2,7\%$ против $6,6 \pm 4,5\%$ соответственно; $p < 0,05$ для всех). Таким образом, вследствие расширения и уплощения кольцо МК при тяжелой ИМР становится «динамичным» и менее способным изменять форму в зависимости от фазы сердечного цикла. Снижение функциональных возможностей клапанного аппарата при тяжелой ИМР подтверждалось уменьшением

Рисунок 2. Частота выявления асимметричного и симметричного вариантов при различной тяжести ИМР



Различие частоты симметричных (*) и асимметричных (**) вариантов ИМР при легкой и умеренной/тяжелой ИМР достоверно ($p < 0,05$). ИМР – ишемическая митральная регургитация.

фракции объема тентинга (до 32% против 56% при легкой ИМР; $p < 0,05$).

Корреляционный анализ показал значимую зависимость изменений геометрии и функции МК от выраженности глобального и регионарного ремоделирования ЛЖ и степени тяжести ИМР [19].

При анализе результатов отмечено, что показатели геометрии и функции МК внутри каждой группы отличаются гетерогенностью, что объясняется различиями в векторе сил, которые действуют на створки и приводят к развитию различных вариантов ИМР (симметричного и асимметричного) [1, 8, 18]. Асимметричный вариант ИМР выявлялся достоверно чаще при тяжелой ИМР (52%; $p < 0,05$) (рис. 2), а также у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ (53% против 20% при сохраненной ФВ ЛЖ; $p < 0,05$).

На основании сопоставления данных ЭхоКГ с показателями КГ и локализацией перенесенного ИМ показано, что симметричный вариант ИМР формируется в результате окклюзии передней нисходящей артерии (ПНА) или ПНА + артерии тупого края (АТК) с развитием переднего ИМ, а также у пациентов с хронической ишемией миокарда (при многососудистом поражении без ПИКС). Асимметричный вариант ИМР развивается при окклюзии правой коронарной артерии (ПКА), огибающей артерии (ОА) или ПКА+ОА/АТК с развитием нижнебазального и бокового или заднебокового ИМ и нарушением регионарной сократимости нижней и задней стенок ЛЖ (боковой стенки ЛЖ).

При тяжелой ИМР 3D-показатели геометрии МК имели статистически значимые различия в зависимости от варианта: при асимметричном варианте высота тентинга была меньше ($0,97 \pm 0,11$ см против $1,18 \pm 0,15$ см), а площадь тентинга, напротив, больше, чем при симметричном варианте ($3,1 \pm 0,7$ см² против $2,4 \pm 0,4$ см²; $p < 0,05$); объем тентинга был увеличен (по сравнению с таковым при легкой ИМР), но в меньшей степени, чем при симметричном варианте ($4,6 \pm 0,7$ см³ против $5,5 \pm 0,5$ см³; $p < 0,05$). Фракция площади кольца ($5,1 \pm 0,9\%$ против $8,2 \pm 1,2\%$; $p < 0,05$) и фракция объема тентинга ($36,8 \pm 4,7\%$ против $48,4 \pm 3,6\%$; $p < 0,05$) также различались при двух вариантах ИМР (рис. 3).

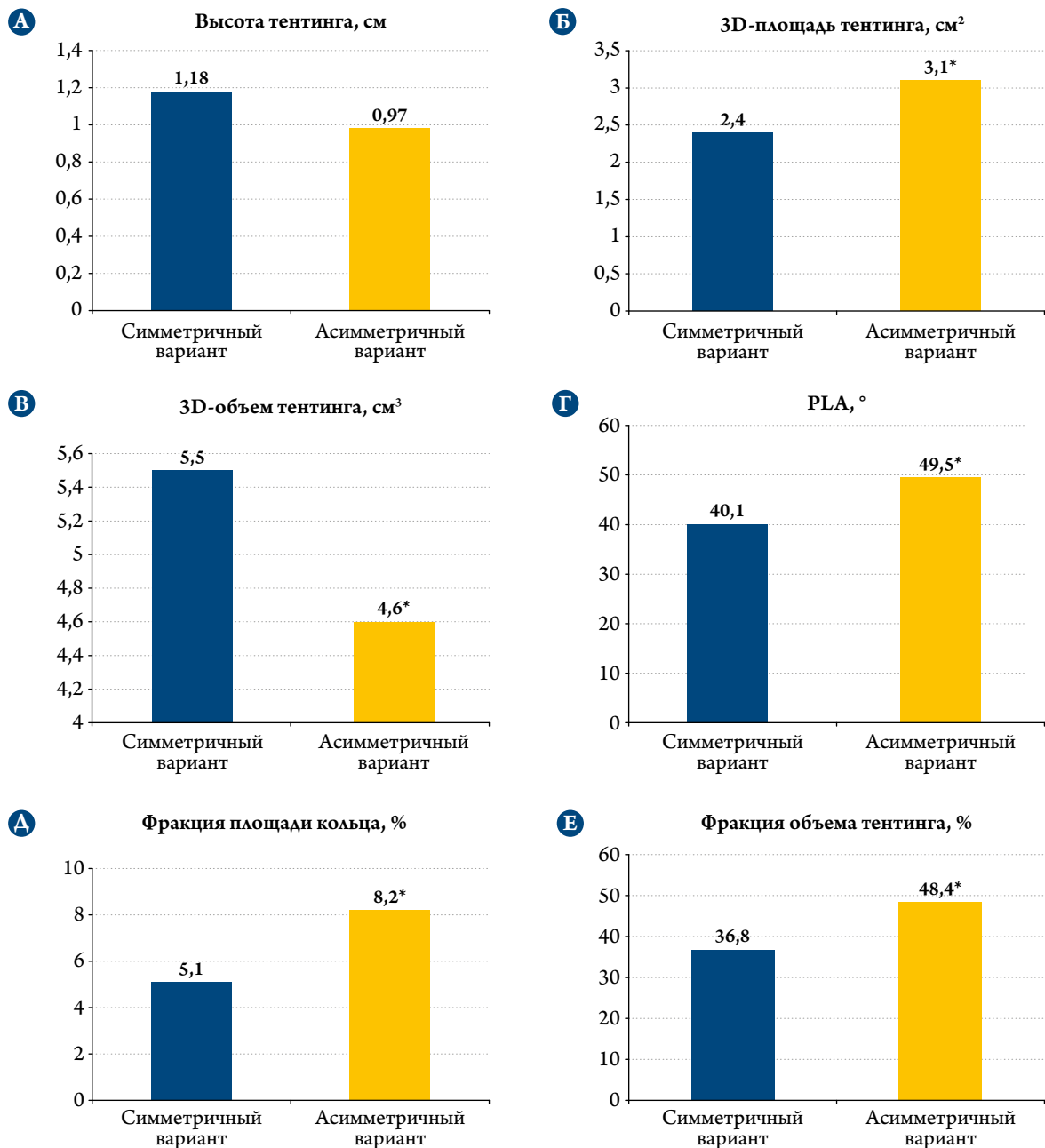
По данным корреляционного анализа изменения геометрии МК при симметричном варианте имеют достоверную зависимость от степени дилатации и снижения сократительной способности ЛЖ. На изменения геометрии МК при асимметричном варианте, главным образом, влияет выраженность регионарного ремоделирования ЛЖ (увеличение межпапиллярной дистанции и апикального смещения заднемедиальной папиллярной мышцы), что приводит к более значительному натяжению задней створки МК [19, 20].

На основании результатов анализа были рассчитаны разделяющие (или пороговые) значения параметров 2D-ТТ-ЭхоКГ, которые могут служить предикторами выраженных изменений 3D-геометрии и функции МК и, таким образом, – показаниями к последующему обследованию пациентов с ИМР.

Высокую диагностическую (информативную) значимость имеют следующие показатели тяжести ИМР: Vena Contracta, радиус PISA, EROA, Rvol; КСР ЛЖ и наличие центральной струи регургитации $> 50\%$ ЛП также высоко информативны. Разделяющие значения показателей определяются вариантом ИМР.

В результате анализа данных предложена модификация алгоритма обследования при ИМР с учетом показаний для 3D-ЧП-ЭхоКГ (рис. 4).

Рисунок 3. 3D-параметры тентинга (А–Г) и показатели функции МК (Д, Е) при симметричном и асимметричном вариантах тяжелой ИМР по данным 3D-ЧП-ЭхоКГ



А – высота; Б – площадь; В – объем; Г – угол задней створки (PLA); Д – фракция площади кольца; Е – фракция объема тентинга. * – различия показателей в подгруппах пациентов с симметричным и асимметричным вариантами ИМР достоверны ($p < 0,05$). МК – митральный клапан; ИМР – ишемическая митральная регургитация; 3D-ЧП-ЭхоКГ – трехмерная чреспищеводная эхокардиография.

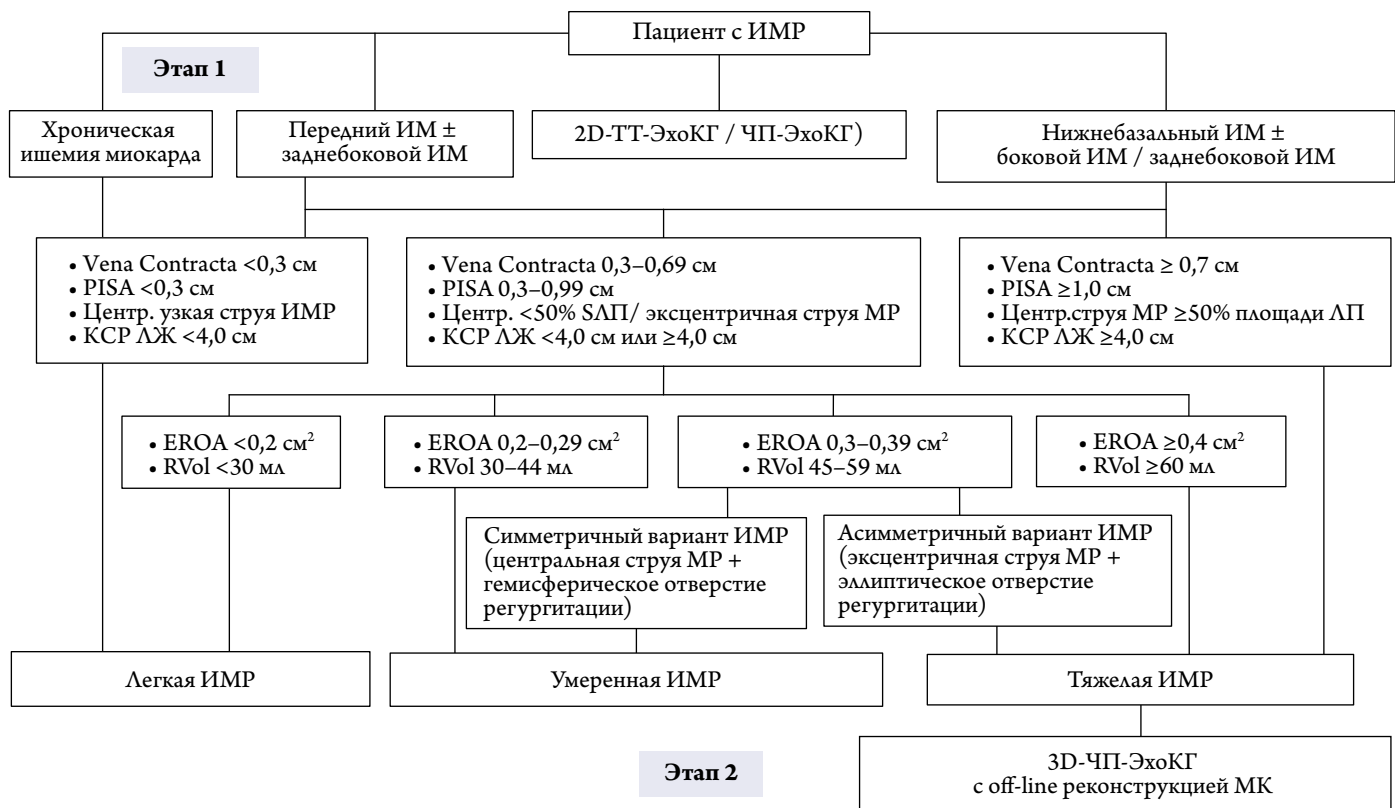
На первом этапе выполняется 2D-ТТ-ЭхоКГ (или 2D-ЧП-ЭхоКГ при наличии сложностей в измерениях) в соответствии со стандартом обследования. Отмечают рестрикцию обеих створок МК или преимущественно задней створки с соответствующим положением струи регургитации (центральной или эксцентричной). Если выявляется большой размер струи, то в парастернальной позиции по длинной оси (или апикальной четырехкамерной позиции) оценивают ширину Vena Contracta. Визуа-

лизируют PISA (в апикальной четырехкамерной позиции), в середине систолы измеряют радиус PISA.

Второй этап (ЧП-ЭхоКГ с 3D-реконструкцией МК) рекомендуется проводить в случае, если на первом этапе получены следующие показатели:

- 1) ширина Vena contracta $\geq 0,7$ см;
- 2) радиус PISA $\geq 1,0$ см;
- 3) центральная струя ИМР $\geq 50\%$ площади ЛП;
- 4) КСР ЛЖ $\geq 4,0$ см.

Рисунок 4. Алгоритм эхокардиографического обследования пациента с ИМР



ИМР – ишемическая митральная регургитация; ИМ – инфаркт миокарда; КСР ЛЖ – конечный систолический размер левого желудочка; ЛП – левое предсердие; МК – митральный клапан; МР – митральная регургитация; Vena Contracta – ширина струи регургитации; PISA – Proximal Isovelocity Surface Area (радиус площади проксимальной изоскоростной поверхности); EROA – Effective Regurgitant Orifice Area (площадь эффективного регургитирующего отверстия), Rvol – Regurgitant Volume (регургитирующий объем), S – площадь.

В других случаях (см. алгоритм на рис.4) показания к проведению 3D-ЧП-ЭхоКГ определяются вариантом ИМР (симметричный/асимметричный), значениями Vena Contracta, PISA, EROA, Rvol, наличием/отсутствием расширения ЛЖ. ЧП-ЭхоКГ и последующая 3D-реконструкция МК могут быть рекомендованы в случае, если указанные показатели превышают разделяющие значения для конкретного варианта ИМР.

Заключение

Трехмерная чреспищеводная эхокардиография позволяет оценить в деталях геометрические, включая объемные, а также функциональные показатели митрального клапана, которые имеют существенные различия, зависящие не только от тяжести ишемической митральной регургитации, но и ее варианта. Предложенный алгоритм на основании стандартных параметров двумерной транс-

торакальной эхокардиографии с доплерографией позволяет решить вопрос о показаниях для второго этапа обследования пациента с ишемической митральной регургитацией. Необходимость трехмерной визуализации клапана определяется степенью тяжести ишемической митральной регургитации, вариантом ишемической митральной регургитации (симметричный/асимметричный), состоянием левого желудочка. Анализ анатомии митрального клапана – это обязательная составляющая при оценке ишемической митральной регургитации на этапе предоперационной подготовки, которая помогает определить тактику хирургического лечения пациента с тяжелой ишемической митральной регургитацией.

Конфликт интересов авторами не заявляется.

Статья поступила 12.09.19

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Agricola E, Oppizzi M, Pisani M, Meris A, Maisano F, Margonato A. Ischemic mitral regurgitation: Mechanisms and echocardiographic classification. *European Journal of Echocardiography*. 2007;9(2):207–21. DOI: 10.1016/j.euje.2007.03.034
2. Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, Carabello BA, Erwin JP, Fleisher LA et al. 2017 AHA/ACC Focused Update of the 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart

- Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2017;135(25):e1159–95. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000503
3. Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, De Bonis M, Hamm C, Holm PJ et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *European Heart Journal*. 2017;38(36):2739–91. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx391
 4. Kuznetsov V.A., Yaroslavskaya E.I., Krinochkin D.V., Pushkarev G.S., Maryinskikh L.V. Factors Associated With Mitral Regurgitation in Men With Ischemic Heart Disease Without Myocardial Infarction. *Kardiologiia*. 2013;53(11):4–8. [Russian: Кузнецов В.А., Ярославская Е.И., Криночкин Д.В., Пушкарев Г.С., Марьянских Л.В. Факторы, ассоциированные с митральной регургитацией, у мужчин с ишемической болезнью сердца без инфаркта миокарда. *Кардиология*. 2013;53(11):4–8]
 5. Goliash G, Bartko PE, Pavo N, Neuhold S, Wurm R, Mascherbauer J et al. Refining the prognostic impact of functional mitral regurgitation in chronic heart failure. *European Heart Journal*. 2018;39(1):39–46. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx402
 6. Bokeria L.A., Bokeria O.L., Fatulayev Z.F., Shengelia L.D. Mitral Regurgitation: Etiopathogenic Mechanisms and Review of Diagnostic Methods. *Kardiologiia*. 2017;57(3):75–80. [Russian: Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Фатулаев З.Ф., Шенгелия Л.Д. Митральная регургитация: этиопатогенетические механизмы и обзор диагностических методов. *Кардиология*. 2017;57(3):75–80]
 7. Borger MA, Alam A, Murphy PM, Doenst T, David TE. Chronic Ischemic Mitral Regurgitation: Repair, Replace or Rethink? *The Annals of Thoracic Surgery*. 2006;81(3):1153–61. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2005.08.080
 8. Dudzinski DM, Hung J. Echocardiographic assessment of ischemic mitral regurgitation. *Cardiovascular Ultrasound*. 2014;12(1):46. DOI: 10.1186/1476-7120-12-46
 9. Acker MA, Parides MK, Perrault LP, Moskowitz AJ, Gelijns AC, Voisine P et al. Mitral-Valve Repair versus Replacement for Severe Ischemic Mitral Regurgitation. *New England Journal of Medicine*. 2014;370(1):23–32. DOI: 10.1056/NEJMoa1312808
 10. Zeng X, Tan TC, Dudzinski DM, Hung J. Echocardiography of the Mitral Valve. *Progress in Cardiovascular Diseases*. 2014;57(1):55–73. DOI: 10.1016/j.pcad.2014.05.010
 11. Zoghbi WA, Adams D, Bonow RO, Enriquez-Sarano M, Foster E, Grayburn PA et al. Recommendations for Noninvasive Evaluation of Native Valvular Regurgitation. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2017;30(4):303–71. DOI: 10.1016/j.echo.2017.01.007
 12. Hahn RT, Abraham T, Adams MS, Bruce CJ, Glas KE, Lang RM et al. Guidelines for Performing a Comprehensive Transesophageal Echocardiographic Examination: Recommendations from the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2013;26(9):921–64. DOI: 10.1016/j.echo.2013.07.009
 13. 3D echocardiography. Shiota T, editor -Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press;2014. - 234 p. ISBN 978-1-84184-993-5
 14. Noack T, Kiefer P, Ionasec R, Voigt I, Mansi T, Vollroth M et al. New concepts for mitral valve imaging. *Annals of Cardiothoracic Surgery*. 2013;2(6):787–95. DOI: 10.3978/j.issn.2225-319X.2013.11.01
 15. Lancellotti P, Tribouilloy C, Hagendorff A, Popescu BA, Edvardsen T, Pierard LA et al. Recommendations for the echocardiographic assessment of native valvular regurgitation: an executive summary from the European Association of Cardiovascular Imaging. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 2013;14(7):611–44. DOI: 10.1093/ehjci/jet105
 16. Andrianova A.M., Saidova M.A. Three-dimensional transesophageal echocardiography for assessment of geometry and function of the mitral valve in patients with various degrees of mitral regurgitation. *Emergency Cardiology*. 2017;1:14–24. [Russian: Андрианова А.М., Саидова М.А. Трехмерная чреспищеводная эхокардиография в оценке параметров геометрии и функции митрального клапана у пациентов с хронической ишемической митральной недостаточностью. *Неотложная кардиология*. 2017;1:14–24]
 17. Zeng X, Nunes MCP, Dent J, Gillam L, Mathew JP, Gammie JS et al. Asymmetric versus Symmetric Tethering Patterns in Ischemic Mitral Regurgitation: Geometric Differences from Three-Dimensional Transesophageal Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2014;27(4):367–75. DOI: 10.1016/j.echo.2014.01.006
 18. Agricola E. Echocardiographic classification of chronic ischemic mitral regurgitation caused by restricted motion according to tethering pattern. *European Journal of Echocardiography*. 2004;5(5):326–34. DOI: 10.1016/j.euje.2004.03.001
 19. Andrianova A.M., Saidova M.A., Bolotova M.N., Dobrovolskaya S.V., Makeev M.I. P1134. Correlations of three-dimensional mitral valve geometry with chronic ischemic mitral regurgitation severity in compliance with tethering phenotypes. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 2016;17(suppl_2):ii240. DOI: 10.1093/ehjci/jew262.002
 20. Andrianova A.M., Saidova M.A., Bolotova M.N., Dobrovolskaya S.V. Comparative evaluation of symmetric and asymmetric ischemic mitral regurgitation according to the three-dimensional transesophageal and two-dimensional transthoracic echocardiography. *Atherosclerosis and Dyslipidemias*. 2017;2(27):74–83. [Russian: Андрианова А.М., Саидова М.А., Болотова М.Н., Добровольская С.В. Сравнительная оценка симметричного и асимметричного вариантов ишемической митральной регургитации по данным трехмерной чреспищеводной и двумерной трансторакальной эхокардиографии. *Атеросклероз и дислипидемии*. 2017;2(27):74–83]