



Согласованность эхокардиографической оценки тяжести митральной регургитации методами волюметрии и PISA с данными МРТ у пациентов со вторичной митральной регургитацией со сниженной фракцией выброса

© Базылев В.В., Бабуков Р.М.*, Бартош Ф.Л., Лёвина А.В., Микуляк А.И.

ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава России; 440071 Пенза, ул. Стасова, 6, Российская Федерация

Цель исследования: сравнить согласованность эхокардиографических показателей $V_{\text{мр}}$ и фракции регургитации (ФР), полученных методом PISA и волюметрическим методом, с показателями $V_{\text{мр}}$ и ФР, полученных с помощью МРТ, у пациентов со вторичной митральной регургитацией (МР) со сниженной ФВ ЛЖ.

Материал и методы. В анализ были включены данные 433 пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ ЛЖ (менее 35%). Пациенты были разделены на 2 группы:

1-я группа: 286 пациентов, средний возраст 64 ± 10 лет, у которых вычисление $V_{\text{мр}}$ и ФР проводилось методом PISA.

2-я группа: 147 пациентов, средний возраст 63 ± 11 лет, у которых вычисление $V_{\text{мр}}$ и ФР проводилось волюметрическим методом.

Результаты. Выявлена умеренная корреляционная связь между показателями, полученными по данным МРТ и эхокардиографии в зависимости от применяемого метода: волюметрический метод – $V_{\text{мр}}$ $r = 0,54$, $p = 0,01$ и ФР $r = 0,56$, $p = 0,01$, метод PISA – $V_{\text{мр}}$ $r = 0,36$, $p = 0,01$ и ФР $r = 0,3$, $p = 0,01$. Согласованность в категориальных оценках тяжести МР между методом PISA и МРТ составила 27% в диагностике тяжелой МР и 50% в диагностике умеренной МР. Согласие в категориальных оценках тяжести МР между волюметрическим методом и МРТ составило 46% в диагностике тяжелой МР и 65% в диагностике умеренной МР. При анализе методом Бланда–Альтмана средняя разница $V_{\text{мр}}$ между методом PISA и МРТ составила $7,6 \pm 13$ мл с пределами совпадения (30; –25 мл), а средняя разница $V_{\text{мр}}$ между волюметрическим методом и МРТ составила $-2,5 \pm 7,3$ мл с пределами совпадения (–12; 17 мл).

Заключение. Показатели МРТ и эхокардиографии вне зависимости от применяемого метода имеют умеренную согласованность в оценке $V_{\text{мр}}$ и ФР у пациентов со вторичной МР при сниженной ФВ. Волюметрический метод может являться методом выбора при расчетах количественных показателей тяжести МР, так как обладает лучшей согласованностью с данными МРТ в сравнении с методом PISA.

Ключевые слова: митральная регургитация; волюметрический метод; фракция регургитации; МРТ

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

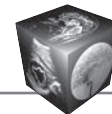
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Базылев В.В., Бабуков Р.М., Бартош Ф.Л., Лёвина А.В., Микуляк А.И. Согласованность эхокардиографической оценки тяжести митральной регургитации методами волюметрии и PISA с данными МРТ у пациентов со вторичной митральной регургитацией со сниженной фракцией выброса. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 76–87. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1329>

Поступила в редакцию: 03.02.2023.

Принята к печати: 26.06.2023.

Опубликована online: 30.09.2023.



Consistency of echocardiographic assessment of the severity of mitral regurgitation using volumetric and PISA methods with MRI data in patients with secondary mitral regurgitation with reduced ejection fraction

© Vladlen V. Bazylev, Ruslan M. Babukov*, Fedor L. Bartosh, Alena V. Levina, Artur I. Mikulyak

Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza; 6, Stasova str., Penza 440071, Russian Federation

Objectives: to compare the consistency of echocardiographic Vmr and FR obtained by PISA and volumetric methods with Vmr and FR obtained by MRI in patients with secondary MR with reduced LV EF.

Materials and methods. The analysis included data from 433 patients with secondary mitral regurgitation with reduced LV EF (less than 35%). The patients were divided into 2 groups:

Group 1 – 286 patients with an average age of 64 ± 10 years, in whom the calculation of R_{vol} and RF was carried out by the PISA method.

Group 2 – 147 patients with an average age of 63 ± 11 years, in whom the calculation of R_{vol} and RF was carried out by the volumetric method.

Results. A moderate correlation was found between the indicators obtained by MRI and echocardiography, regardless of the method used, volumetric method R_{vol} $r = 0.54$ $p = 0.01$ and RF $r = 0.56$, $p = 0.01$, PISA method R_{vol} , $r = 0.36$, $p = 0.01$ and RF, $r = 0.3$, $p = 0.01$. The agreement in MR severity categorical scores between PISA and MRI was 27% in the diagnosis of severe mitral regurgitation and 50% in the diagnosis of moderate MR. The consistency in categorical MR severity scores between volumetric and MRI was 46% in the diagnosis of severe mitral regurgitation and 65% in the diagnosis of moderate MR. In the Bland–Altman analysis, the average difference in R_{vol} between PISA and MRI was 7.6 ± 13 ml with coincidence limits (30; –25 ml), the average difference in R_{vol} between volumetric and MRI was -2.5 ± 7.3 ml with coincidence limits (–12; 17 ml).

Conclusions. MRI and echocardiography regardless of the method used have only a moderate correlation in the assessment of R_{vol} and RF in patients with secondary MR with reduced EF. The volumetric method may be the method of choice when calculating quantitative indicators of MR severity, as it has better agreement with MRI data compared to the PISA method.

Keywords: mitral regurgitation; volumetric method; regurgitation fraction; MRI

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Bazylev V.V., Babukov R.M., Bartosh F.L., Levina A.V., Mikulyak A.I. Consistency of echocardiographic assessment of the severity of mitral regurgitation using volumetric and PISA methods with MRI data in patients with secondary mitral regurgitation with reduced ejection fraction. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 76–87. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1329>

Received: 03.02.2023.

Accepted for publication: 26.06.2023.

Published online: 30.09.2023.

Список сокращений

МР – митральная регургитация

МРТ – магнитно-резонансная томография

ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка

V_{MR} – объем митральной регургитации

ФР – фракция регургитации

ЕРО – эффективная площадь регургитирующего отверстия

PISA – проксимальная изоскоростная поверхность

КДО ЛЖ – конечный диастолический объем левого желудочка

КСО ЛЖ – конечный систолический объем левого желудочка

эфУОЛЖ – эффективный ударный объем левого желудочка

ВТЛЖ – выносящий тракт левого желудочка

Введение

Митральная регургитация (МР) является вторым по распространенности клапанным пороком сердца после аортального стеноза [1]. Тяжелая МР связана со снижением выживаемости и требует хирургической коррекции [1]. Эхокардиография



на сегодняшний день остается первоочередным и наиболее широко используемым методом визуализации для оценки тяжести МР. Магнитно-резонансная томография (МРТ) сердечно-сосудистой системы также за последние годы зарекомендовала себя как надежный неинвазивный метод визуализации, обладающий высокими диагностическими и прогностическими способностями при оценке выраженности МР, а также размера и функции желудочков сердца [2–4]. В современных рекомендациях указывается, что МРТ может быть хорошим дополнительным методом для уточнения степени МР, особенно когда существуют сомнения после проведенной эхокардиографии [5, 6].

Ряд исследований у пациентов с первичной МР с сохраненной фракцией выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) продемонстрировали, что эхокардиография обладает низкой или умеренной согласованностью с МРТ в оценке показателей объема ($V_{\text{мр}}$) и фракции митральной регургитации (ФР). Согласно нескольким исследованиям, МРТ обеспечивала лучшую воспроизводимость данных показателей, а их значения обладали лучшим влиянием на прогноз по сравнению с эхокардиографией [7–13]. Данные о согласованности эхокардиографических показателей и МРТ у пациентов при вторичной МР и сниженной ФВ ЛЖ ограничены. Согласно текущим руководствам, количественные показатели МР ($V_{\text{мр}}$, ФР и эффективная площадь регургитирующего отверстия – ERO) являются основными параметрами в оценке тяжести вторичной МР у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ. Для расчета количественных показателей в клинической практике наиболее часто используют метод площади проксимальной изоскоростной поверхности (PISA) и волюметрический метод (разница ударного объема (УО) ЛЖ по методу Симпсона и УО в выносящем тракте левого желудочка (ВТЛЖ), полученного с помощью уравнения непрерывности). В ранних исследованиях оба метода продемонстрировали хорошую диагностическую способность в определении степени МР и были рекомендованы в эхокардиографических руководствах [14–18].

В нашем исследовании мы сравнили согласованность этих двух эхокардиографических методов в расчетах количественных показателей с данными, полученными с помощью МРТ.

Цель исследования: сравнить согласованность эхокардиографических показателей $V_{\text{мр}}$ и ФР, полученных методом PISA и волюметрическим методом, с показателями $V_{\text{мр}}$ и ФР, полученных с помощью МРТ, у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ.

Материал и методы

Ретроспективно были отобраны данные 570 пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ ЛЖ, которым были выполнены эхокардиография и МРТ. Из отобранного числа пациентов были исключены пациенты с низким качеством визуализации, ФВ ЛЖ более 35%, постоянной формой фибрилляции предсердий, умеренной и тяжелой аортальной регургитацией, тяжелым и умеренным митральным стенозом, сопутствующим дефектом межжелудочковой и межпредсердной перегородки, а также неполными эхокардиографическими и МРТ-данными для анализа. В анализ были включены данные 433 пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ ЛЖ (менее 35%).

Пациенты были разделены на 2 группы.

1-я группа: 286 пациентов (средний возраст 64 ± 10 лет), у которых вычисление $V_{\text{мр}}$ и ФР проводилось методом PISA.

2-я группа: 147 пациентов (средний возраст 63 ± 11 лет), у которых вычисление $V_{\text{мр}}$ и ФР проводилось волюметрическим методом.

Эхокардиография. Эхокардиографические измерения проводили в соответствии с рекомендациями Европейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации [18]. При каждом обследовании регистрировали артериальное давление и частоту сердечных сокращений. Конечный диастолический объем ЛЖ (КДО ЛЖ), конечный систолический объем ЛЖ (КСО ЛЖ), ФВ ЛЖ и объем левого предсердия вычисляли по методу Симпсона методом Biplane. Измерения диаметра ВТЛЖ были произведены в парастернальной проекции по длинной оси в середине систолы методом от внутреннего края к внутреннему краю не более чем на 10 мм от аортального клапана. Эффективный ударный объем левого желудочка (эфУОЛЖ) измеряли с помощью импульсно-волнового (ИВ) доплеровского режима в ВТЛЖ из интегралов линейной скорости по уравнению непрерывности потока. Оценка тяжести МР проводилась по мультипараметрическому принципу, опираясь в основном на количественные показатели $V_{\text{мр}} \geq 30$ мл, ФР $\geq 50\%$ и значения ERO $\geq 0,2 \text{ см}^2$ [18].

Vena contracta измерялась в парастернальной проекции по длинной оси как самая узкая часть струи. Поток МР и интеграл линейной скорости потока определяли с использованием непрерывного доплеровского режима. Размер PISA измеряли в апикальных 3- или 4-камерных проекциях в середине систолы с нижним пределом Найквиста, установленным на уровне от 30 до 40 см/с.

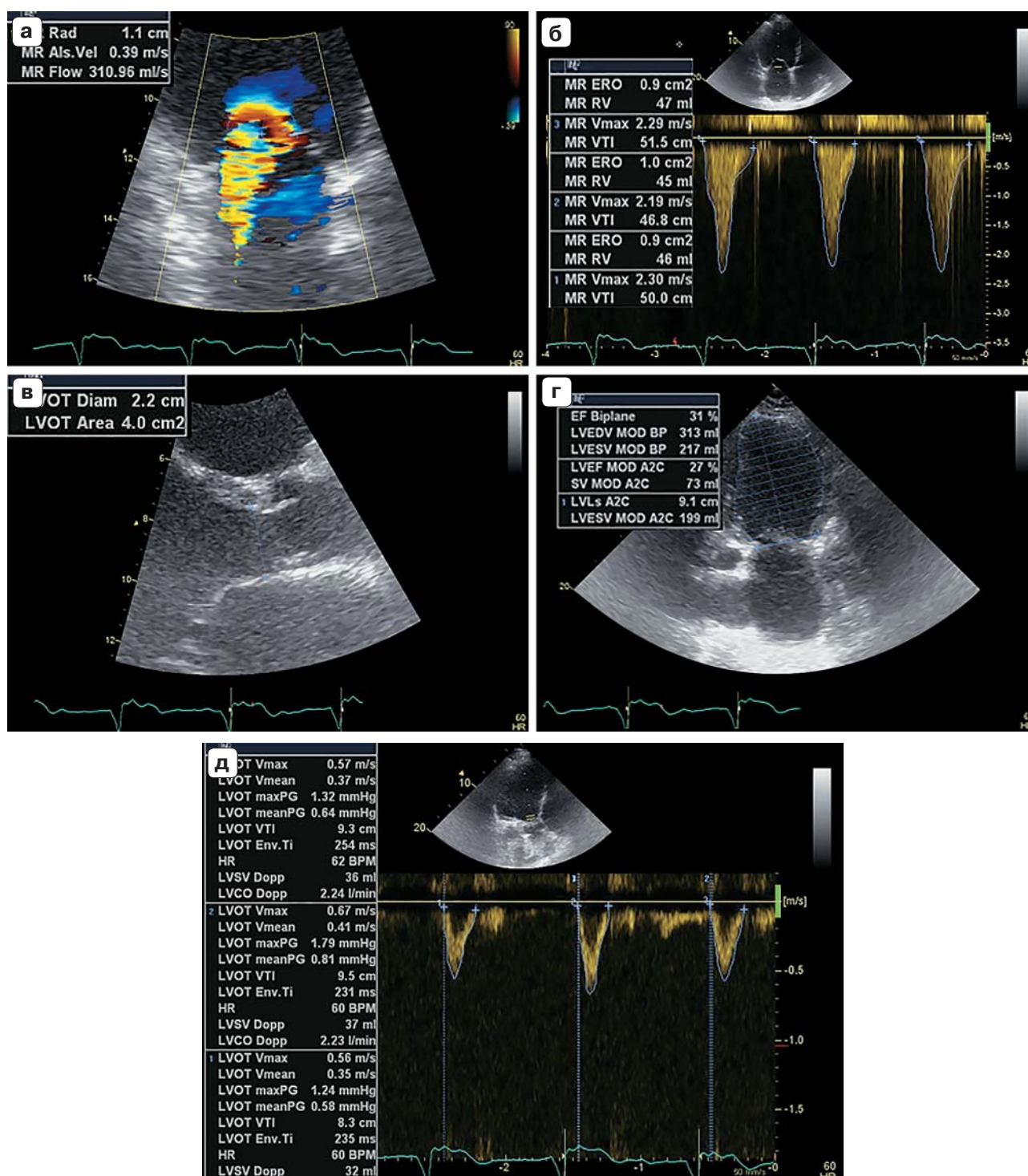
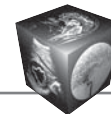


Рис. 1. Эхокардиографические измерения объема МР методом PISA (**а, б**) и волюметрическим методом (**в–д**).

а – цветное доплеровское картирование, измерение радиуса PISA; **б** – ИВ-доплерография в апикальном 5-камерном сечении, транслировка потока с вычислением объема МР; **в** – измерение диаметра ВТЛЖ в парастеральном сечении по длинной оси; **г** – измерение УО ЛЖ по методу Симпсона; **д** – ИВ-доплерография в апикальном 5-камерном сечении, транслировка потока с вычислением эффективного УО ЛЖ.

Fig. 1. Echocardiographic measurements of MR volume by the PISA method (**a, б**) and volumetric method (**в–д**).

а – color Doppler mapping, measurement of the PISA radius; **б** – IV-Dopplerography in the apical 5-chamber section, flow tracing with the calculation of MR volume; **в** – measurement of the diameter of the LVL in the parasternal section by long axis; **г** – measurement of LV shock volume by the Simpson method; **д** – IV-Dopplerography in the apical 5-chamber section, flow tracing with calculation of the effective impact volume of LV.



Волюметрический метод. Значения $V_{\text{мр}}$, ФР и ERO волюметрическим методом рассчитывали по формулам:

$$\begin{aligned} V_{\text{мр}} &= \text{УОЛЖ} - \text{эфУОЛЖ}; \\ \text{ФР} &= V_{\text{мр}} / \text{УОЛЖ} \times 100; \\ \text{ERO} &= V_{\text{мр}} / \text{VTI} \text{ (потока митральной} \\ &\quad \text{регургитации)}, \end{aligned}$$

где $V_{\text{мр}}$ – объем МР; УОЛЖ – ударный объем ЛЖ, вычисленный по методу Симпсона; эфУОЛЖ – эффективный ударный объем ЛЖ, рассчитанный по уравнению непрерывности в ВТЛЖ; ERO – площадь эффективного регургитирующего отверстия; VTI – интеграл линейной скорости потока МР (рис. 1).

Волюметрический метод применяли у пациентов при эксцентричной струе (эффекте Коанда).

Метод PISA. Значения $V_{\text{мр}}$, ФР и ERO при применении метода рассчитывали по формулам:

$$\begin{aligned} \text{ERO} &= Q_{\text{max}} / V_{\text{max}}; \\ V_{\text{мр}} &= \text{ERO} \times \text{VTI}; \\ \text{ФР} &= V_{\text{мр}} / \text{УОЛЖ} \times 100, \end{aligned}$$

где ERO – площадь эффективного регургитирующего отверстия; Q_{max} – объемная скорость регургитации; V_{max} – максимальная скорость потока МР при использовании непрерывноволнового доплера; $V_{\text{мр}}$ – объем митральной регургитации; VTI – интеграл линейной скорости потока МР (см. рис. 1).

Изображения были получены с синхронизацией с ЭКГ и задержкой дыхания. При каждом обследовании проводили регистрацию артериального давления и частоты сердечных сокращений. Объем МР по МРТ определяли из разницы между УО ЛЖ, полученным методом Симпсона из киноизображений, и УО в восходящей аорте, полученным с помощью фазово-контрастных изображе-

ний. Фазово-контрастные изображения были получены ортогонально проксимальной части аорты для количественной оценки потока с использованием параметров: TR = 57 мс, TE = 1,21 мс, кодирование скорости (V_{enc}) – 230 см/с; поле зрения – 376 мм; матрица – 256 × 128; толщина среза – 8 мм.

Полученные показатели объема МР и ФР классифицировали в соответствии с рекомендациями Европейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации по степеням: тяжелая МР ($V_{\text{мр}} > 30$ мл и ФР > 50%), умеренная МР ($V_{\text{мр}} < 30$ мл и ФР от 30 до 50%) и легкая МР ($V_{\text{мр}} < 30$ мл и ФР < 30%) [18].

Статистика. База данных составлялась в виде электронных таблиц в программе Microsoft Office Excel. Обработка данных производилась в демо-версии SPSS Statistics. Результаты представлены в виде $M \pm SD$, где M – среднее значение, SD – стандартное отклонение. Значимость различий между количественными признаками определялась при помощи t-критерия Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при уровне $p < 0,05$. Корреляцию между значениями оценивали с помощью метода линейной регрессии с оценкой корреляции Пирсона (r) и дисперсионного компонентного анализа. Согласованность методов была оценена методом Бланда–Альтмана с построением диаграмм и вычислением среднего различия между методами.

Результаты

Из 433 пациентов, включенных в исследование, 352 (81%) пациента имели ишемическую МР и 81 (19%) пациент имел МР неишемического характера, вызванную различными видами кардиомиопатий. В табл. 1, 2 представлены исходные клинические и эхокардиографические данные пациентов. Среднее время между эхокардиографическим

Таблица 1. Клинико-морфологические характеристики пациентов

Table 1. Clinical and morphological characteristics of patients

Клинические характеристики / Clinical characteristics	n = 433
Возраст, годы / Age, years	63.8 ± 11
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg/m ²	28.5 ± 5.8
ППТ, м ² / BSA, m ²	1.86 ± 2.3
Перенесенный инфаркт миокарда / Previous myocardial infarction	352 (81%)
Инфаркт миокарда, осложненный ишемической кардиомиопатией Myocardial infarction complicated by ischemic cardiomyopathy	208 (59%)
Инфаркт миокарда, осложненный аневризмой верхушки ЛЖ Myocardial infarction complicated by aneurysm of the LV apex	124 (36%)
Инфаркт миокарда, осложненный аневризмой нижней стенки ЛЖ Myocardial infarction complicated by an aneurysm of the inferior wall of the LV	20 (5%)
Дилатационная кардиомиопатия / Dilated cardiomyopathy	81 (19%)

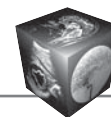


Таблица 1 (окончание)
Table 1 (end)

Морфологические характеристики митральной регургитации Morphological characteristics of mitral regurgitation	
Тентеринг задней створки МК / Tethering the posterior leaflet of the mitral valve	127 (29%)
Дилатация фиброзного кольца МК / Mitral valve annulus dilatation	242 (56%)
Тентеринг задней и передней створок МК / Tenting mitral valve leaflets	44 (10%)
Разрыв хорд задней створки МК / Rupture of the chords of the posterior valvular valve	19 (4%)
Разрыв заднемедиальной папиллярной мышцы / Posteromedial papillary muscle rupture	1 (1%)

Примечание. ИМТ – индекс массы тела, ППТ – площадь поверхности тела, ЛЖ – левый желудочек, МК – митральный клапан.

Note. BMI – body mass index, BSA – body surface are, LV – left ventricle, MV – mitral valve.

Таблица 2. Эхокардиографические и МРТ-характеристики пациентов
Table 2. Echocardiographic and MRI characteristics of patients

Показатели / Parameters	n = 433
Эхокардиографические показатели Echocardiographic parameters	
КДО ЛЖ, мл / LV EDV, ml	293 ± 78
КСО ЛЖ, мл / LV ESV, ml	223 ± 51
ФВ ЛЖ, % / LV EF, %	24 ± 5
УО ЛЖ, мл / LV SV, ml	70 ± 16
ЭфуОЛЖ, мл / Effective LV SV, ml	46 ± 10,6
ЕРО, см ² / ERO, cm ²	0.2 ± 0.1
VC, мм / VC, mm	5 ± 1,7
Скорость пика Е, м/с / Peak velocity E, m/s	1.1 ± 0.3
V _{мр} , мл / R _{vol} , ml	24 ± 11
ФР _{мр} , % / RF _{мр} , %	32 ± 11
Объем левого предсердия, мм ³ Left ventricle volume, mm ³	134 ± 39
Голосистолический поток МР / Holosystolic flow of MR	370 (85%)
СДЛА / SDLA	46 ± 8
Легкая МР / Mild MR	57 (13%)
Умеренная МР / Moderate MR	273 (63%)
Тяжелая МР / Severe MR	103 (24%)
Показатели МРТ Parameters MRI	
КДО ЛЖ, мл / EDV, ml	330 ± 86
КСО ЛЖ, мл / ESV, ml	254 ± 66
ФВ ЛЖ, % / LV EF, %	23 ± 4
УО ЛЖ, мл / LV SV, ml	75 ± 19
ЭфуОЛЖ, мл / Effective LV SV, ml	56 ± 11,5
V _{мр} , мл / R _{vol} , ml	19 ± 11
ФР _{мр} , % / RF _{мр} , %	23 ± 15
Объем левого предсердия, мм ³ Left ventricle volume, mm ³	143 ± 47
Легкая МР / Mild MR	169 (39%)
Умеренная МР / Moderate MR	212 (49%)
Тяжелая МР / Severe MR	52 (12%)

Примечание. Здесь и в табл. 3: КДО ЛЖ – конечный диастолический объем левого желудочка, КСО ЛЖ – конечный систолический объем левого желудочка, ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка, УО ЛЖ – ударный объема левого желудочка, эфуОЛЖ – эффективный ударный объем левого желудочка, ЕРО – площадь эффективно-го регургитирующего отверстия, VC – ширина *vena contracta*, МР – митральная регургитация, V_{мр} – объем митральной регургитации, ФР_{мр} – фракция митральной регургитации, СДЛА – систолическое давление в легочной артерии.

Note. Here and in the Table 3: BMI – body mass index, BSA – body surface area, LV EDV – final end diastolic volume LV, LV ESV – final systolic volume LV, LV EF – ejection fraction LV, LV SV – shock volume LV, Effective LV SV – effective percussive volume LV, ERO – area of the effective regurgitating orifice, VC – width of the *vena contracta*, MR – mitral regurgitation, RVol – volume of mitral regurgitation, RF MR – fraction of mitral regurgitation, SDLA – systolic pressure in the pulmonary artery.

**Таблица 3.** Сравнение эхокардиографических показателей и показателей МРТ**Table 3.** Comparison of echocardiographic parameters and MRI parameters

Показатели Parameters	MPT MRI	Волюметрический метод Volumetric methods	p	MPT MRI	Метод PISA PISA method	p
КДО ЛЖ, мл / LV EDV, ml	334 ± 78	299 ± 78	<0.001	335 ± 71	296 ± 78	<0.001
КСО ЛЖ, мл / LV ESV, ml	259 ± 38	228 ± 25	<0.001	225 ± 37	226 ± 28	<0.001
УО ЛЖ, мл / LV SV, ml	75 ± 15	71 ± 14	<0.001	78 ± 16	70 ± 13	<0.001
ЭфУОЛЖ, мл Effective LV SV, ml	53 ± 11	52 ± 10	0.2	55 ± 12	40 ± 10	<0.001
ФВ ЛЖ, % / LV EF, %	23 ± 6,4	26 ± 7	<0.001	24 ± 6	24 ± 4	<0.001
V _{мр} , мл / RVol, ml	22 ± 14	19 ± 15	0.01	23 ± 13	30 ± 15	<0.001
ФР _{мр} , % / RF _{мр} , %	29 ± 14	27 ± 16	0.01	23 ± 13	41 ± 16	<0.001

Таблица 4. Сравнение категориальных оценок тяжести МР в группе метода PISA и МРТ**Table 4.** Comparison of categorical assessments of the severity of MR in the PISA group and MRI

Эхокардиография Echocardiography	MPT / MRI			Всего / Total
	тяжелая / severe	умеренная / moderate	малая / mild	
Малая / Mild	0	2 (4%)	42 (96%)	44
Умеренная / Moderate	10 (6%)	91 (50%)	80 (44%)	181
Тяжелая / Severe	16 (27%)	39 (65%)	5 (8%)	60

Таблица 5. Сравнение категориальных оценок тяжести МР в группе с волюметрическим методом эхокардиографии и МРТ**Table 5.** Comparison of categorical assessments of the severity of mitral regurgitation in the group with the volumetric method of echocardiography and MRI

Эхокардиография Echocardiography	MPT / MRI			Всего / Total
	тяжелая / severe	умеренная / moderate	малая / mild	
Малая / Mild	0	1 (7%)	12 (93%)	13
Умеренная / Moderate	6 (6.4%)	60 (65.5%)	26 (28.2%)	92
Тяжелая / Severe	20 (46.5%)	20 (46.5)	3 (7%)	43

исследованием и МРТ составило $1,1 \pm 0,3$ дня. Не было статистически значимой разницы в частоте сердечных сокращений и систолическом артериальном давлении во время проведения эхокардиографии и МРТ: 84 ± 12 и 82 ± 12 , $p = 0,09$; 110 ± 15 мм рт.ст. и 114 ± 13 мм рт.ст., $p = 0,07$ соответственно. Среднее значение объемных показателей ЛЖ было меньше в обеих анализируемых эхокардиографических группах по сравнению с показателями МРТ. Средние значения показателей V_{мр} и ФР были выше в группе PISA по сравнению с данными МРТ. В группе с волюметрическим методом среднее значение V_{мр} и ФР было меньше по сравнению с данными МРТ (табл. 3). Выявлена умеренная корреляционная связь между показателями,

полученными по данным МРТ и эхокардиографии в зависимости от применяемого метода: волюметрический метод – V_{мр} ($r = 0,54$, $p = 0,01$) и ФР ($r = 0,56$, $p = 0,01$); метод PISA: V_{мр} ($r = 0,36$, $p = 0,01$) и ФР ($r = 0,3$, $p = 0,01$). Согласованность в категориальных оценках тяжести МР между методом PISA и МРТ в диагностике тяжелой МР составила 27%, а в диагностике умеренной МР – 50%, легкой – 96% (табл. 4). Согласие в категориальных оценках тяжести МР между волюметрическим методом и МРТ составило 46% в диагностике тяжелой МР, 65% в диагностике умеренной МР и 93% в диагностике легкой МР (табл. 5).

При анализе методом Бланда–Альтмана средняя разница V_{мр} и ФР между методом PISA и МРТ

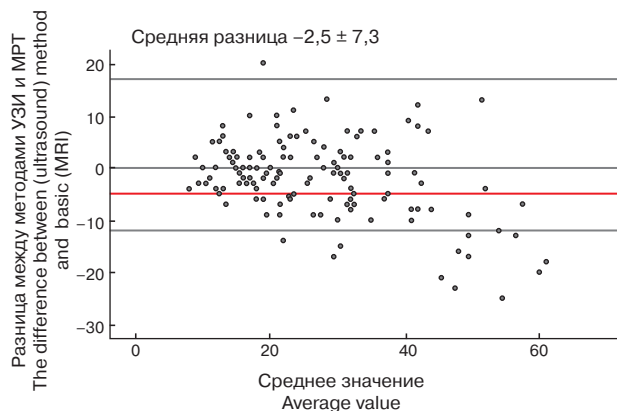
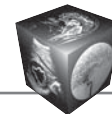


Рис. 2. Диаграмма Бланда–Альмана согласованности показателей R_{vol} волюметрического метода и МРТ.

Fig. 2. The Blend–Altman diagram of the consistency of R_{vol} parameters of the volumetric method and MRI.

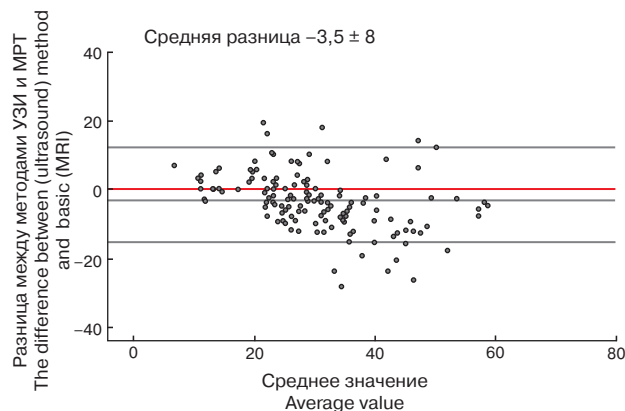


Рис. 4. Диаграмма Бланда–Альмана согласованности показателей ФР волюметрического метода и МРТ.

Fig. 4. The Blend–Altman diagram of the consistency of RF parameters of the volumetric method and MRI.

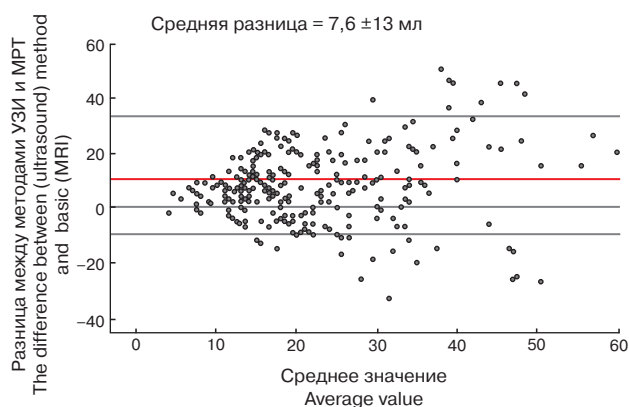


Рис. 3. Диаграмма Бланда–Альмана согласованности показателей R_{vol} метода PISA и МРТ.

Fig. 3. The Blend–Altman diagram of the consistency of the R_{vol} parameters of the PISA method and MRI.



Рис. 5. Диаграмма Бланда–Альмана согласованности показателей ФР метода PISA и МРТ.

Fig. 5. The Blend–Altman diagram of the consistency of the RF parameters of the PISA method and MRI.

составила $7,6 \pm 13$ мл и $7 \pm 13,6\%$ с пределами совпадения (30; -25 мл), (33; -19,6%) соответственно, а средняя разница V_{mp} и ФР между волюметрическим методом и МРТ составила $-2,5 \pm 7,3$ мл и $-3,5 \pm 8\%$ с пределами совпадения (-12; 17 мл) и (-12,7; 15,5%) соответственно (рис. 2–5).

Не было выявлено статистически значимой корреляционной связи между значениями КДО ЛЖ и показателями V_{mp} ($r = 0,3$, $p = 0,2$) и ФР ($r = 0,26$, $p = 0,2$) в группе метода PISA. В группе с волюметрическим методом значения КДО ЛЖ имели умеренную корреляционную связь с показателями V_{mp} ($r = 0,28$, $p = 0,04$) и ФР ($r = 0,3$, $p = 0,03$).

Обсуждение

МРТ – это новый метод в оценке тяжести МР, который может обеспечить всестороннюю оценку митрального клапана и МР. Согласно современным данным, МРТ обладает лучшей точностью и воспроизводимостью при оценке тяжести МР по сравнению с эхокардиографическим методом. Такое суждение сложилось после ряда сравнительных исследований, где было продемонстрировано, что МРТ и эхокардиография обладают низкой или умеренной согласованностью в оценке количественных показателей тяжести регургитации митрального клапана у пациентов с первичной МР [7–13].

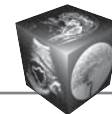


Оценка тяжести вторичной МР по сравнению с первичной является более сложной задачей, особенно у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ, так как применение многих эхокардиографических параметров может быть ограничено. В современных руководствах при оценке тяжести МР со сниженной ФВ ЛЖ основными параметрами МР являются: $V_{\text{мр}}$, ERO и ФР, но на сегодняшний день отсутствует согласованность в пороговых значениях этих параметров между Американской и Европейской ассоциациями сердечно-сосудистой визуализации. Американская ассоциация сердечно-сосудистой визуализации предлагает определять МР как тяжелую при значениях: $\text{ERO} \geq 0,4 \text{ см}^2$, $V_{\text{мр}} \geq 60 \text{ мл}$ и $\text{ФР} \geq 50\%$, а Европейская ассоциация сердечно-сосудистой визуализации – при значениях: $\text{ERO} \geq 0,2 \text{ см}^2$, $V_{\text{мр}} \geq 30 \text{ мл}$ и $\text{ФР} \geq 50\%$ [17–18]. В нашем центре при оценке тяжести МР мы придерживались рекомендаций Европейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации. Несмотря на то что в нашем исследовании оба метода продемонстрировали лишь умеренную корреляционную связь с данными МРТ, при использовании волюметрического метода коэффициент корреляции между эхокардиографией и МРТ был выше. Также нужно отметить, что была лучше согласованность в категориальной оценке тяжести МР при использовании волюметрического метода. Из 60 пациентов с диагнозом тяжелой МР по данным эхокардиографии, определенной с помощью метода PISA, лишь у 16 (27%) пациентов была подтверждена тяжелая МР по данным МРТ, в то время как в группе с волюметрическим методом из 44 пациентов с тяжелой МР по данным эхокардиографии она была подтверждена у 25 (46%) пациентов по данным МРТ. Нужно отметить, что расхождения в обеих группах иногда были очень существенными: до 8% пациентов в группе PISA и 7% в группе волюметрического метода с диагнозом тяжелой МР по данным эхокардиографии были реклассифицированы на легкую по данным МРТ. Согласованность результатов эхокардиографии и МРТ была самой высокой при диагностике легкой МР: метод PISA – 93%, волюметрический метод – 96% (см. табл. 4, 5). Это свидетельствует в пользу того, что с увеличением тяжести МР возрастают трудности эхокардиографической диагностики. Маловероятно, что плохая корреляция между МРТ и эхокардиографией связана с некачественными изображениями, так как из исследования были исключены пациенты с низким качеством визуализации. К тому же эхокардиографические и МРТ-исследования были оценены опытными врачами, оценку тяжести МР проводили на основе комплексного подхода согласно

Европейским рекомендациям. Также маловероятно, что разница в степени тяжести МР связана с неодновременным получением двух визуализирующих методов, так как 96% пациентов, включенных в наше исследование, эхокардиографическое и МРТ-сканирование проводили в один день. В нашем исследовании не было достоверной разницы в показателях артериального давления и частоты сердечных сокращений в момент проведения эхокардиографии и МРТ. Ввиду этого, на наш взгляд, влияние факторов, которые могли способствовать изменению степени выраженности МР в нашем исследовании, минимально.

По данным нашего исследования средние значения $V_{\text{мр}}$ и ФР при расчете с помощью метода PISA были выше по сравнению с МРТ. Анализ методом Бланда–Альтмана выявил достаточно большую среднюю разницу $V_{\text{мр}} = 7,6 \pm 13 \text{ мл}$ и $\text{ФР} 7 \pm 13,6\%$ между методом PISA и МРТ с широкими пределами совпадения (30; –25 мл) и (33; –19,6%) соответственно, в то время как средняя разница показателей между волюметрическим методом и МРТ была значительно меньше: $V_{\text{мр}} -2,5 \pm 7,3 \text{ мл}$ и $\text{ФР} -3,5 \pm 8\%$ соответственно, с меньшими пределами совпадения (–12; 17 мл) и (–12,7; 15,5%). Нужно отметить, что при увеличении среднего значения $V_{\text{мр}}$ отмечалось увеличение разницы между двумя методами, это свидетельствует в пользу того, что с увеличением тяжести МР возрастают трудности эхокардиографической диагностики МР.

В ранее проведенных исследованиях уже сообщалось, что метод PISA может переоценивать показатели $V_{\text{мр}}$, ФР и ERO и имеет низкую согласованность с данными МРТ [8, 9]. Большая вариабельность между методом PISA и МРТ у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ ЛЖ связана с тем, что при расчете методом PISA существует обязательное предположение, что фиброзное кольцо митрального клапана имеет плоскую геометрию и конвергенция полусферического потока имеет круглое регургитирующее отверстие. Однако часто при вторичной МР со сниженной ФВ геометрия фиброзного кольца митрального клапана далеко не плоская, а регургитирующее отверстие имеет овальную, щелевидную или эллиптическую форму, что сказывается на точности в расчете по методу PISA. Еще больше может усложнять ситуацию то, что расчет количественных показателей ERO, $V_{\text{мр}}$ и ФР методом PISA очень сильно зависит от правильного измерения радиуса зоны конвергенции проксимального потока МР. Поскольку оценка радиуса имеет квадратичное отклонение, ошибка в 1 мм при его измерении может привести к ошибке в расчете ERO и $V_{\text{мр}}$ на 30–40% с последующей неправильной класси-



фикацией тяжести МР. Кроме того, поскольку расчет ERO основан на значении максимальной скорости МР, а уравнение для расчета предполагает, что ERO постоянна на всем протяжении систолы (что часто неверно), логично предположить, что максимальное рассчитанное значение ERO может быть часто больше истинного, особенно у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ ЛЖ. В уравнении для расчета $V_{\text{мр}}$ систолический средний градиент давления (который рассчитывается из интегралов линейной скорости кровотока МР) между ЛЖ и левым предсердием является значимой переменной в расчетах тяжести МР, на которую может оказывать влияние ряд факторов (включая сократимость левого желудочка, УО ЛЖ, системное артериальное давление, реологические свойства крови). Следовательно, игнорирование любого из этих факторов может спровоцировать ошибки в расчетных показателях $V_{\text{мр}}$, ФР и ERO.

В нашем исследовании было отмечено, что значения $V_{\text{мр}}$ и ФР, рассчитанные методом PISA, не имели корреляционной связи с КДО ЛЖ, в то время как значения $V_{\text{мр}}$ и ФР, рассчитанные волюметрическим методом, имели хоть и слабую, но статистически достоверную корреляционную связь с КДО ЛЖ. В исследовании A. Altes и соавт., в котором проводилось сравнение волюметрического метода и метода PISA с данными МРТ у пациентов с первичной МР, было продемонстрировано, что только значения $V_{\text{мр}}$, вычисленные волюметрическим методом, и МРТ, имели высокую корреляционную связь со значениями КДО ЛЖ [13]. Более низкая корреляционная связь $V_{\text{мр}}$ и ФР, рассчитанных волюметрическим методом, с КДО ЛЖ у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ, по нашему мнению, обусловлена тем, что у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ увеличение ЛЖ может происходить не только за счет увеличенной преднагрузки ЛЖ вследствие МР, но и за счет процесса постинфарктного ремоделирования ЛЖ (компенсаторной дилатацией ЛЖ для поддержания необходимого ударного объема по закону Франка–Старлинга).

В проведенном исследовании мы не оценивали влияние количественных показателей МР на отдаленный прогноз, хотя на сегодняшний день существуют данные, что значения $V_{\text{мр}}$ и ERO, вычисленные волюметрическим методом, имеют более высокие прогностические способности летальных событий по сравнению со значениями $V_{\text{мр}}$ и ERO, вычисленными методом PISA, у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ ЛЖ [19].

Несомненно, волюметрический метод также подвержен ошибкам в расчетах, связанных с ошибками в измерении диаметра ВТЛЖ, фено-

мена ракурса верхушки ЛЖ и трудностями дифференцировки истинных границ эндокарда ЛЖ, что может приводить к недооценке КДО ЛЖ и КСО ЛЖ и последующих расчетов $V_{\text{мр}}$ и ФР. Возможно, именно по этой причине мы получили лишь умеренную согласованность волюметрического метода с МРТ. По нашему мнению, у пациентов со вторичной МР целесообразно рассчитывать показатели $V_{\text{мр}}$ и ФР с помощью волюметрического метода, так как можно обойти некоторые ограничения, присущие методу PISA (эксцентрическая струя или множественные регургитации, вариабельность потока регургитации и т.д.), а при скрупулезности исследователя возможно минимизировать влияние вышеперечисленных факторов на расчетные показатели. Учитывая данные нашего и ранее проведенных исследований, мы считаем, что у пациентов со вторичной МР со сниженной ФВ для расчета количественных показателей ($V_{\text{мр}}$, ФР и ERO) необходимо отдавать предпочтение волюметрическому методу.

Заключение

Показатели МРТ и эхокардиографии вне зависимости от применяемого метода имеют умеренную согласованность в оценке $V_{\text{мр}}$ и ФР у пациентов со вторичной МР при сниженной ФВ ЛЖ. Волюметрический метод может являться методом выбора при расчетах количественных показателей тяжести МР, так как обладает лучшей согласованностью с данными МРТ в сравнении с методом PISA.

Участие авторов

Базылев В.В. – участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Бабуков Р.М. – проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, концепция и дизайн исследования, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы, подготовка изображений, ответственность за целостность всех частей статьи.

Бартош Ф.Л. – проведение исследования, сбор и обработка данных, участие в научном дизайне.

Лёвина А.В. – проведение исследования, сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Микуляк А.И. – участие в научном дизайне.

Authors' participation

Bazylev V.V. – participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.



Babukov R.M. – conducting research, collection and analysis of data, concept and design of the study, writing text, preparation and creation of the published work images creation, analysis and interpretation of the obtained data.

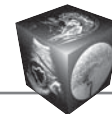
Bartosh F.L. – conducting research, collection and analysis of data, participation in scientific design.

Levina A.V. – conducting research, collection and analysis of data, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Mikulyak A.I. – participation in scientific design.

Список литературы / References

1. Iung B., Baron G., Butchart E.G. et al. A prospective survey of patients with valvular heart disease in Europe: The Euro Heart Survey on Valvular Heart Disease. *Eur. Heart J.* 2003; 24 (13): 1231–1243. [http://doi.org/10.1016/s0195-668x\(03\)00201-x](http://doi.org/10.1016/s0195-668x(03)00201-x)
2. Garg P., Swift A.J., Zhong L. et al. Assessment of mitral valve regurgitation by cardiovascular magnetic resonance imaging. *Nat. Rev. Cardiol.* 2020; 17 (5): 298–312. <http://doi.org/10.1038/s41569-019-0305-z>
3. Myerson S.G., d'Arcy J., Christiansen J.P. et al. Determination of clinical outcome in mitral regurgitation with cardiovascular magnetic resonance quantification. *Circulation.* 2016; 133 (23): 2287–2296. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.017888>
4. Uretsky S., Argulian E., Narula J., Wolff S.D. Use of cardiac magnetic resonance imaging in assessing mitral regurgitation: current evidence. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018; 71: 547–563. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.12.009>
5. Baumgartner H., Falk V., Bax J.J. et al. ESC Scientific Document Group. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur. Heart J.* 2017; 38 (36): 2739–2791. <http://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx391>
6. Otto C.M., Nishimura R.A., Bonow R.O. et al. 2020 ACC/AHA Guideline for the management of patients with valvular heart disease: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation.* 2021; 143 (5): e35–e71. <http://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000932>
7. Maki J.H., Otto C.M. Prospective comparison of valve regurgitation quantitation by cardiac magnetic resonance imaging and transthoracic echocardiography. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2013; 6 (1): 48–57. <http://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.112.975623>
8. Uretsky S., Gillam L., Lang R. et al. Discordance between echocardiography and MRI in the assessment of mitral regurgitation severity: a prospective multicenter trial. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2015; 65 (11): 1078–1088. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.12.047>
9. Penicka M., Vecera J., Mirica D.C. et al. Prognostic implications of magnetic resonance-derived quantification in asymptomatic patients with organic mitral regurgitation: comparison with doppler echocardiography-derived integrative approach. *Circulation.* 2018; 137 (13): 1349–1360. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.029332>
10. Van De Heyning CM, Magne J, Piérard LA. et al. Assessment of left ventricular volumes and primary mitral regurgitation severity by 2D echocardiography and cardiovascular magnetic resonance. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2013; 11: 46. <http://doi.org/10.1186/1476-7120-11-46>
11. Lopez-Mattei J.C., Ibrahim H., Shaikh K.A. et al. Comparative assessment of mitral regurgitation severity by transthoracic echocardiography and cardiac magnetic resonance using an integrative and quantitative approach. *Am. J. Cardiol.* 2016; 117 (2): 264–270. <http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2015.10.045>
12. Uretsky S., Morales D.C.V., Aldaia L. et al. Characterization of primary mitral regurgitation with flail leaflet and/or wall-impinging flow. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2021; 78 (25): 2537–2546. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.09.1382>
13. Altes A., Levy F., Iacuzio L. et al. Comparison of mitral regurgitant volume assessment between proximal flow convergence and volumetric methods in patients with significant primary mitral regurgitation: an echocardiographic and cardiac magnetic resonance imaging study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2022; 35 (7): 671–681. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2022.03.005>
14. Recusani F., Bargiggia G.S., Yoganathan A.P. et al. A new method for quantification of regurgitant flow rate using color Doppler flow imaging of the flow convergence region proximal to a discrete orifice. An in vitro study. *Circulation.* 1991; 83 (2): 594–604. <http://doi.org/10.1161/01.cir.83.2.594>
15. Enriquez-Sarano M., Miller F.A. Jr., Hayes S.N. et al. Effective mitral regurgitant orifice area: clinical use and pitfalls of the proximal isovelocity surface area method. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1995; 25 (3): 703–709. [http://doi.org/10.1016/0735-1097\(94\)00434-R](http://doi.org/10.1016/0735-1097(94)00434-R)
16. Enriquez-Sarano M., Bailey K.R., Seward J.B. et al. Quantitative Doppler assessment of valvular regurgitation. *Circulation.* 1993; 87 (3): 841–848. <http://doi.org/10.1161/01.cir.87.3.841>
17. Zoghbi W.A., Adams D., Bonow R.O. et al. Recommendations for noninvasive evaluation of native valvular regurgitation: a report from the american society of echocardiography developed in collaboration with the society for cardiovascular magnetic resonance. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2017; 30 (4): 303–371. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2017.01.007>
18. Lancellotti P., Tribouilloy C., Hagendorff A. et al. 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; 14 (7): 611–644. <http://doi.org/10.1093/ehjci/jet105>
19. Igata S., Cotter B.R., Hang C.T. et al. Optimal quantification of functional mitral regurgitation: comparison of volumetric and proximal isovelocity surface area methods to predict outcome. *J. Am. Heart Assoc.* 2021; 10 (11): e018553. <http://doi.org/10.1161/JAHA.120.018553>



Для корреспонденции*: Бабуков Руслан Медарисович – 440071 Пенза, ул. Стасова, 6. Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии Минздрава России. Тел.: +7-937-421-69-69. E-mail: cardio-penza@yandex.ru; ruslan.babukov@mail.ru

Базылев Владлен Владленович – доктор мед. наук, профессор, главный врач ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. <https://orcid.org/0000-0001-6089-9722>

Бабуков Руслан Медарисович – врач-кардиолог, врач ультразвуковой диагностики ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. <https://orcid.org/0000-0002-7338-9462>

Бартош Фёдор Леонидович – канд. мед. наук, заведующий отделением функциональной и ультразвуковой диагностики ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. <https://orcid.org/0000-0001-5482-3211>

Лёвина Алёна Витальевна – врач ультразвуковой диагностики ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. <https://orcid.org/0000-0002-3210-3974>

Микуляк Артур Иванович – канд. мед. наук, заведующий кардиохирургическим отделением №1, врач сердечно-сосудистый хирург ФГБУ “Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии” Минздрава России, Пенза. <https://orcid.org/0000-0002-9519-5036>

Contact*: Ruslan M. Babukov – 6, Stasova str., Penza 440071, Russian Federation. Phone: +7-937-421-69-69.
E-mail: cardio-penza@yandex.ru; ruslan.babukov@mail.ru

Vladlen V. Bazylev – Doct. of Sci. (Med.), Chief Physician of the Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza. <https://orcid.org/0000-0001-6089-9722>

Ruslan M. Babukov – doctor cardiologist, ultrasound diagnosis doctor Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza. <https://orcid.org/0000-0002-7338-9462>

Fedor L. Bartosh – Cand. of Sci. (Med.), Head of the department of the of functional and ultrasound diangistics Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-5482-3211>

Alena V. Levina – ultrasound diagnosis doctor Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza. <https://orcid.org/0000-0002-3210-3974>

Artur I. Mikulyak –Cand. Sci. (Med.), Head of cardiovascular surgery department №1, Federal Centre for Cardiovascular Surgery, Penza. <https://orcid.org/0000-0002-9519-5036>.