

## ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ МРТ В СРАВНЕНИИ С ЭХОКАРДИОГРАФИЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА ПО МЕТОДУ OZAKI

**В. В. Базылев** – д.м.н., главный врач, сердечно - сосудистый хирург  
**\*Т. И. Парамонова** – к.м.н., зав. отд. лучевой диагностики  
**А. В. Вдовкин** – врач-рентгенолог  
**В. А. Палькова** – врач-рентгенолог

ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии»  
 Министерства здравоохранения Российской Федерации (г. Пенза).  
 440071 Российская Федерация, г. Пенза, ул. Стасова, 6

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- аортальный клапан
- протезирование створок
- аутоперикард
- операция Озаки
- МРТ
- ЭхоКГ
- послеоперационная оценка аортального клапана

### РЕЗЮМЕ:

**Цель исследования:** оценить согласованность измерений анатомических и функциональных показателей, проведенных при ЭхоКГ и МРТ, и определить возможности МРТ для визуализации коаптации створок после реконструкции АК по методике Ozaki.

**Материалы и методы:** в исследование включено 124 человека, прошедших МРТ сердца и трансторакальную ЭхоКГ, через 9,3±4,0 дня после операции Ozaki. При ЭхоКГ и МРТ осуществлялся расчет КДО и ФВ ЛЖ. При доплерографии определялась площадь открытия АК и трансортальный градиент давления. При МРТ планометрически измерялась площадь открытия АК, и по результатам фазово-контрастного исследования рассчитывался трансортальный градиент давления. Для оценки согласованности результатов измерений использовался метод Бленда - Альтмана.

**Результаты:** полученные при ЭхоКГ и МРТ средние показатели статистически значимо различались ( $p < 0,001$ ) только при измерении КДО ЛЖ. Наибольшее соответствие измерений ЭхоКГ и МРТ наблюдалось при оценке трансортального градиента давления ( $0,04 \pm 3,7$  мм рт. ст.). Менее согласованными были измерения площади открытия АК ( $0,22 \pm 0,79$  см<sup>2</sup>) и ФВ ЛЖ ( $0,22 \pm 8,9$  %). Меньшая согласованность была при измерении КДО ( $26,4 \pm 33,0$  мл). Среднее значение разности статистически значимо не отличалась от нуля при измерении площади открытия АК ( $p = 0,180$ ) и трансортального градиента давления ( $p = 0,120$ ). В статье представлены 5 клинических примеров визуальной оценки коаптации створок после реконструкции АК по методике Ozaki.

**Выводы:** различия в пределах согласованности при оценке площади открытия АК и трансортального градиента давления при ЭхоКГ и МРТ не являются клинически значимыми, что указывает на возможность использования этих методов измерений как взаимозаменяемых после реконструкции АК по методике Ozaki.

Результаты измерений размеров КДО и величины ФВ левого желудочка при ЭхоКГ и МРТ отличаются меньшей согласованностью и не являются взаимозаменяемыми, следовательно, результаты измерений следует толковать в контексте конкретного метода.

МРТ должна входить в алгоритм диагностики после операции Ozaki, но ее применение в раннем послеоперационном периоде, может быть ограничено случаями недостаточного качества или противоречивых результатов ЭхоКГ.

**Для цитирования:** Базылев В.В., Парамонова Т.И., Вдовкин А.В., Палькова В.А. «ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ МРТ В СРАВНЕНИИ С ЭХОКАРДИОГРАФИЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА ПО МЕТОДУ OZAKI» Журнал Диагностическая и интервенционная радиология. 2018; 12(1):22–33

## THE DIAGNOSTIC VALUE OF MRI IN COMPARISON WITH ECHOCARDIOGRAPHY IN THE EVALUATION OF RESULTS OF THE RECONSTRUCTION OF THE AORTIC VALVE BY THE METHOD OF OZAKI

**Bazylev V.V.** – MD, PhD, professor  
**\*Paramonova T.I.** – MD, PhD  
**Vdovkin A.V.** – MD  
**Palkova V.A.** – MD

Federation National Center of Cardiovascular Surgery  
 6, Stasova str., Penza, Russian Federation, 440071

**KEY-WORDS:**

- aortic valve
- leaflets replacement
- autopericardium
- Ozaki operation
- MRI
- EchoCG
- post-operative estimation of aortic valve

**ABSTRACT:**

**Aim:** was to assess the consistency of measurements of anatomic and functional parameters performed with EchoCG and MRI and to determine the possibility of MRI to visualize the coaptation of valve leaflets after reconstruction of the aortic valve (AV) using the Ozaki technique.

**Material and methods:** the study included 124 patients who underwent MRI of the heart and transthoracic EchoCG, 9,3±4,0 days after the Ozaki operation. With EchoCG and MRI, EDV and LV EF were calculated. Dopplerography determined the area of AV opening and the transaortal pressure gradient. At MRI, the area of AV opening was planetically measured, and the transoortal pressure gradient was calculated from results of phase contrast study. To assess the consistency of measurement results, the Blend-Altman method was used.

**Results:** mean values obtained with EchoCG and MRI were statistically significantly different ( $p < 0,001$ ) only when measuring LV EDV. The greatest accordance between measurements of EchoCG and MRI was observed in the evaluation of the transaortal pressure gradient ( $0,04 \pm 3,7$  mm Hg). Less coordinated were measurements of the opening area of AV ( $0,22 \pm 0,79$  cm<sup>2</sup>) and LV EF ( $0,22 \pm 8,9\%$ ). Less consistency was in measurement of EDV ( $26,4 \pm 33,0$  ml). The mean value of the difference was statistically significantly different from zero when measuring the opening area of AV ( $p = 0,180$ ) and the transaortal pressure gradient ( $p = 0,120$ ). The article presents 5 clinical examples of visual evaluation of leaflets coaptation after AV reconstruction by the Ozaki method.

**Conclusions:** differences in consistency in the assessment of the opening area of the AV and the transaortal pressure gradient in echocardiography and MRI are not clinically significant, indicating that these measurement methods can be used interchangeably after AV reconstruction using the Ozaki technique.

Results of measurements of EDV size and LV EF in EchoCG and MRI are less consistent and not interchangeable, therefore, measurement results should be interpreted in the context of the specific method.

MRI should be a part of the diagnostic algorithm after Ozaki surgery, but its use in the early postoperative period may be limited to cases of poor quality or inconsistent Echocardiography.

**Введение**

Эхокардиография (ЭхоКГ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) являются основными методами при оценке анатомических и гемодинамических показателей клапанов сердца. Однако в научной литературе отсутствует единство мнений о согласованности измерений потоков на АК, проведенных при ЭхоКГ и МРТ. Одни авторы отмечают, что МРТ переоценивает скорость потока по сравнению с ЭхоКГ, другие, напротив, установили, что МРТ недооценивает скорость потока на АК [1,2]. Такие же разногласия литературных данных наблюдаются при сравнении ЭхоКГ и МРТ в измерении объемных и функциональных показателей левого желудочка (ЛЖ). Во многих работах предоставлены противоречивые данные об измерении размеров КДО и величины ФВ при ЭхоКГ по сравнению с МРТ [3-9]. Таким образом, результаты ЭхоКГ и МРТ отличаются значительной изменчивостью у разных исследователей.

Однако точные измерения площади открытия АК и трансортального градиента давления показывают эффективность хирургической коррекции аортального порока, а величина объема и фракции выброса ЛЖ определяет прогноз и тактику лечения. Недооценка этих показателей может привести к неадекватной интерпретации послеоперационных изменений. Важно понять на какой метод ориентироваться при оценке результатов реконструкции АК по методике Ozaki,

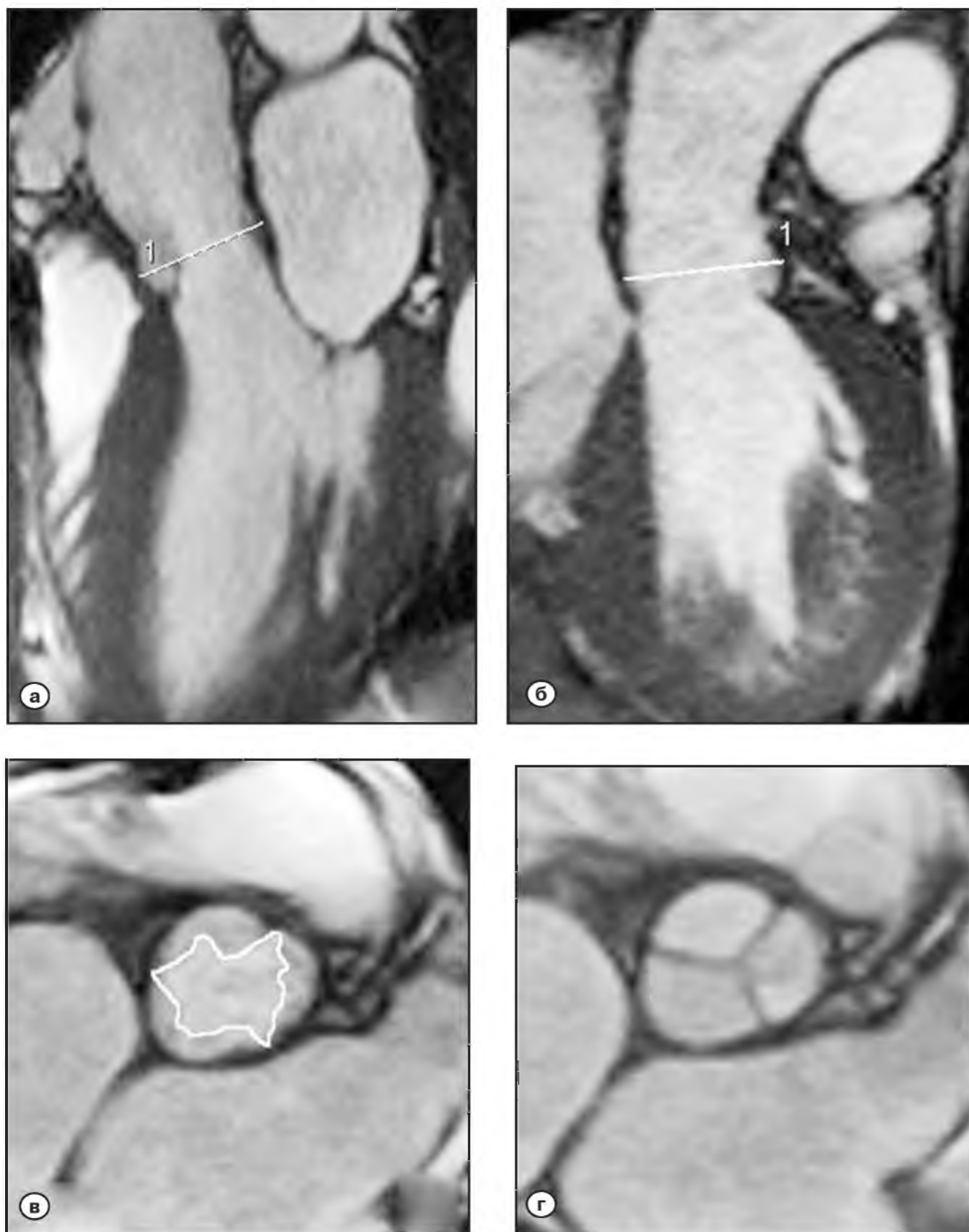
какие особенности имеются при измерениях ЭхоКГ и МРТ, какие достоинства присущи каждому из методов. Поэтому в нашем исследовании мы решили определить согласованность измерений проведенных при ЭхоКГ и МРТ, а также установить дает ли преимущества МРТ при визуализации анатомии АК.

**Цель исследования:** оценить согласованность измерений анатомических и функциональных показателей проведенных при ЭхоКГ и МРТ, и определить возможности МРТ для визуализации коаптации створок после реконструкции АК по методике Ozaki.

**Материалы и методы**

В исследование было включено 124 человека, прошедших МРТ сердца и трансторакальную ЭхоКГ, в раннем периоде после операции Ozaki проведенных в ФЦССХ г. Пензы. Комплексные исследования проводились в среднем через  $9,3 \pm 4,0$  дня после операций. Пациенты были в возрасте от 21 до 79 лет, в среднем  $60,3 \pm 11,1$  лет. Преобладали мужчины, 78(62,9%) человек.

Трансторакальную ЭхоКГ выполняли на ультразвуковых системах экспертного класса Vivid 7 Pro и Vivid E9 фирмы GE мультичастотными датчиками. Расчет КДО и ФВ ЛЖ осуществляли по методу дисков в двух плоскостях (модифицированный метод Симпсона) в соответствии с рекомендациями ASE. Эффектив-



**Рис. 1.** Примеры выбора плоскости сканирования АК и последующего анализа полученных изображений МРТ сердца.  
 а, б – установка уровня сканирования АК в двух перпендикулярных проекциях;  
 в – планиметрия площади открытия АК;  
 г – визуальная оценка смыкания створок АК.

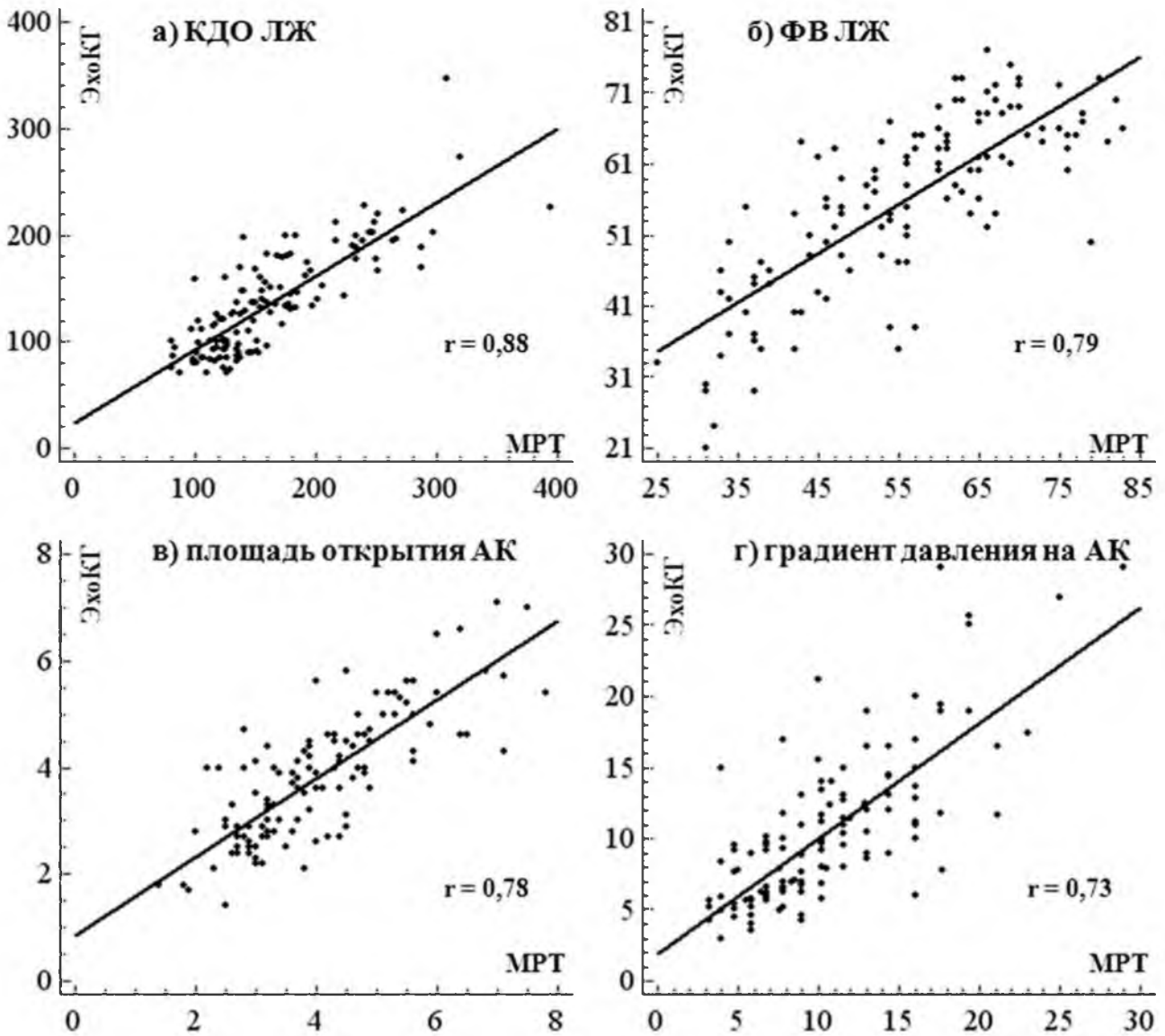


Рис. 2. Графические результаты корреляционного анализа измерений анатомических и функциональных показателей полученных при ЭхоКГ и МРТ.

ную площадь отверстия АК определяли по уравнению непрерывности потока, после получения трех измерений: максимальной скорости потока, диаметра выходного отдела ЛЖ и скорости в выходном отделе ЛЖ зарегистрированной доплерографией. Трансаортальный градиент давления измеряли с помощью спектральной доплерографии в постоянном волновом режиме.

МРТ выполняли на томографе Magnetom Avanto фирмы Siemens с напряженностью поля 1,5 Т. Использовались многоканальная поверхностная катушка, синхронизация с ЭКГ и специализированный кардиопакет для сканирования. Расчет объемных показателей ЛЖ осуществляли методом ручной обводки контуров эндокарда на последовательных изображениях сердца по короткой оси, согласно международным рекомен-

дациям. Плоскость сканирования выставлялась параллельно плоскости АК, перпендикулярно направлению потока в двух проекциях (рис. 1а,б.). Площадь открытия определялась при планиметрии отверстия АК (рис. 1в). Смыкание створок оценивали визуально в поперечной (рис. 1г, 4б) и в продольной проекции (рис. 4в). Количественное измерение кровотока через АК проводили с помощью фазово-контрастных изображений. Определялась максимальная скорость на АК, на основании значения которой по уравнению Бернулли высчитывался максимальный градиент давления. Нормальность распределения непрерывных переменных по группам проверена с помощью теста Колмогорова – Смирнова. Средние величины представлены в виде  $M \pm SD$ . При сравнении количественных показателей статистическую значимость

различий между группами, при нормальном распределении данных, оценивали по парному критерию Стьюдента. При ненормальном распределении данных использовался критерий Манна-Уитни. Критический уровень значимости был взят за 0,05. Для оценки согласованности измерений использовали метод Бленда-Альтмана, созданный для сравнения результатов измерений, выполненных двумя методами, ни один из которых не является абсолютно надежным. Перед началом анализа по методу Бленда-Альтмана проверили, что оба метода, ЭхоКГ и МРТ, которые предназначены для измерения одних и того же параметров имеют хорошую корреляцию. Проверку нулевой гипотезы осуществляли по одновыборочному t-критерию Стьюдента. График анализа Бленда - Альтмана был построен с помощью программы SPSS.

### Результаты

Полученные с помощью ЭхоКГ и МРТ средние показатели статистически значимо различались ( $p < 0,001$ ) при измерении КДО ЛЖ и не имели статистически значимых различий ( $p > 0,05$ ) при измерении ФВ ЛЖ, площади открытия АК и градиента давления на АК (табл. 1). КДО левого желудочка имел большие показатели при измерении методом МРТ ( $162,2 \pm 58,2$  мл), и меньшую величину при ЭхоКГ ( $135,8 \pm 48,8$  мл). ФВ левого желудочка имела близкие показатели измерений при ЭхоКГ ( $55,7 \pm 12,3$  %) и МРТ ( $55,5 \pm 13,7$  %). Средняя площадь открытия при проведении ЭхоКГ ( $3,8 \pm 1,2$  см<sup>2</sup>) была несколько меньше, чем при МРТ ( $4,1 \pm 1,3$  см<sup>2</sup>). Градиент давления на АК при измерении методом ЭхоКГ ( $10,4 \pm 5,3$  мм рт.ст.) был фактически равен показателям полученным при МРТ ( $10,4 \pm 4,9$  мм рт.ст.). Результаты корреляционного анализа демонстрируют

положительную зависимость измерений полученных при ЭхоКГ и МРТ (рис. 2). Коэффициент корреляции высокую и статистически значимую ( $p < 0,001$ ) тесноту связи для всех анализируемых параметров: КДО ( $r = 0,88$ ), ФВ ( $r = 0,78$ ), площади открытия АК ( $r = 0,79$ ) и трансортального градиента давления ( $r = 0,73$ ) (табл. 1).

Результаты анализа согласованности измерений по методу Бленда-Альтмана показали, что наибольшее соответствие измерений ЭхоКГ и МРТ наблюдается при оценке градиента давления на АК, демонстрируя среднюю разницу измерений около нуля ( $0,04 \pm 0,7$  мм рт. ст.) и разброс в пределах 2 SD (табл. 2).

Несколько менее согласованны методы в измерении площади открытия АК ( $-0,22 \pm 0,79$  см<sup>2</sup>) и ФВ левого желудочка ( $0,22 \pm 8,9$  %). Меньшая согласованность была при измерении КДО ( $-26,4 \pm 33,0$  мл). Среднее значение разности статистически значимо не отличается от нуля при измерении площади открытия АК ( $p = 0,180$ ) и трансортального градиента давления ( $p = 0,120$ ), что указывает на отсутствие фиксированного смещения (Табл. 2). Среднее значение разности имеет статистически значимое отличие от нуля при измерении КДО ( $p = 0,001$ ) и ФВ ( $p = 0,047$ ) левого желудочка, что отражает наличие смещения измерений. Различия в пределах согласованности ( $M \pm 1,96$  SD) при измерении площади открытия АК и трансортального градиента давления не имеют клинической значимости. Это указывает на то, что два метода измерений, ЭхоКГ и МРТ, могут быть использованы как взаимозаменяемые. Существование пропорционального смещения при измерении КДО и ФВ левого желудочка указывает, что пределы соглашения будут зависеть от фактических измерений. Величину различий между двумя измерениями показывает диаграмма разброса Бленда-Альтмана (рис. 3).

Таблица 1. **Результаты измерений анатомических и функциональных показателей полученных методами ЭхоКГ и МРТ**

	ЭхоКГ	МРТ	p	r
КДО левого желудочка, мл	$135,8 \pm 48,8$	$162,2 \pm 58,2$	$<0,001$	$0,88^*$
ФВ левого желудочка, %	$55,7 \pm 12,3$	$55,5 \pm 13,7$	$0,755$	$0,78^*$
Площадь открытия АК <sup>1</sup> , см <sup>2</sup>	$3,8 \pm 1,2$	$4,1 \pm 1,3$	$0,175$	$0,79^*$
Градиент давления на АК, мм.рт.ст.	$10,4 \pm 5,3$	$10,4 \pm 4,9$	$0,732$	$0,73^*$

Примечание: 1 – аортальный клапан. \*  $p < 0,001$

Таблица 2. **Результаты анализа согласованности измерений ЭхоКГ и МРТ методом Бленда-Альтмана**

	согласованность	пределы	p
КДО левого желудочка, мл	$-26,4 \pm 33,0$	$-91,0 \text{ ; } 38,28$	$0,001$
ФВ левого желудочка, %	$0,22 \pm 8,9$	$-17,2 \text{ ; } 17,66$	$0,047$
Площадь открытия АК, см <sup>2</sup>	$-0,22 \pm 0,79$	$-1,77 \text{ ; } 1,33$	$0,120$
Градиент давления на АК, мм рт.ст.	$-0,04 \pm 3,7$	$-7, \text{ ; } 7,2$	$0,180$

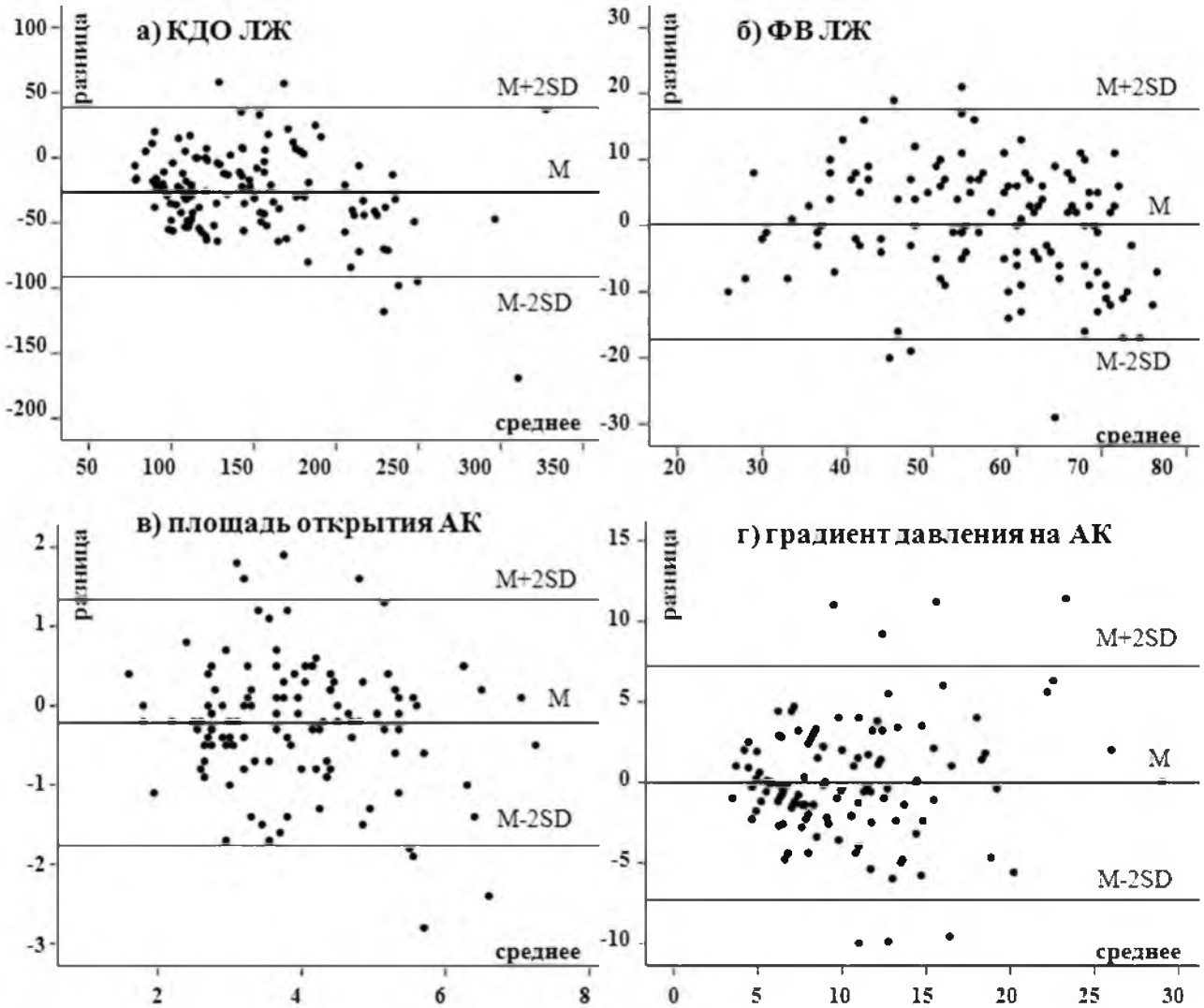


Рис. 3. Графические результаты анализа методом Бленда-Альтмана согласованности измерений ЭхоКГ и МРТ.

### Анализ изображений

Представленные ниже клинические примеры демонстрируют показательные варианты МРТ исследований: случай полностью согласованных между ЭхоКГ и МРТ измерений, примеры выявленной самой большой и самой маленькой площади открытия АК, представлен результат коррекции врожденного двухстворчатого АК, показана неполная коаптация створок АК. МРТ послужила диагностическим инструментом для непосредственной визуальной оценки оперирующими кардиохирургами результатов проведенной хирургической реконструкции. Полученные при МРТ изображения позволили визуально оценить послеоперационную анатомию и качество коаптации створок АК.

Клинический пример 1

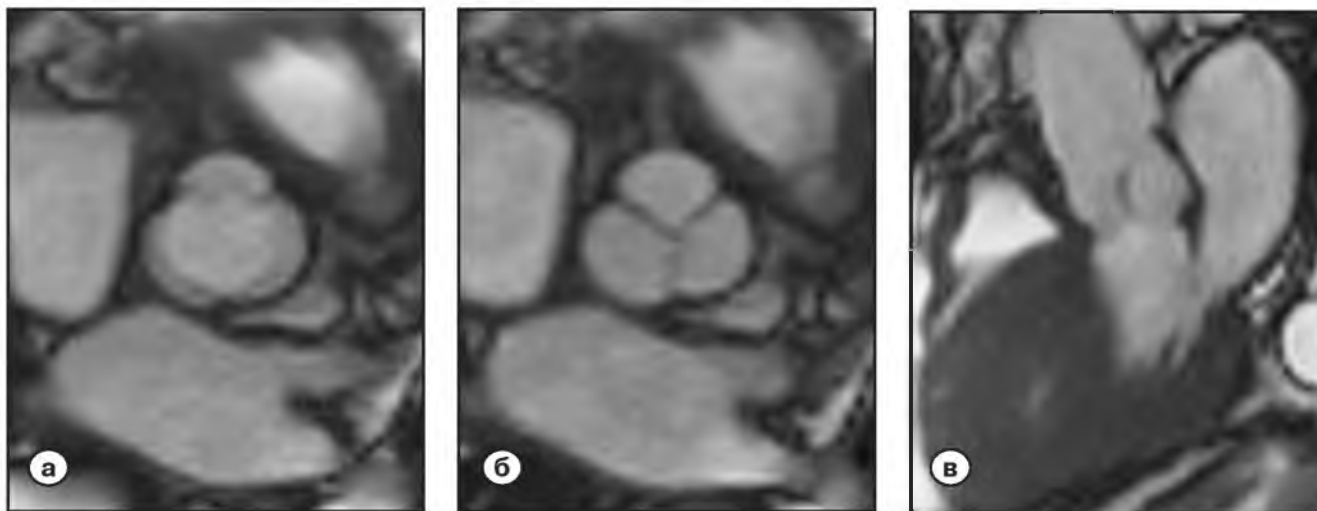
Пациент Т., 65 лет. До операции АК функционировал как двухстворчатый вследствие сращения комиссур, площадь открытия АК была уменьшена до 0,9 см<sup>2</sup> с максимальным градиентом на АК 70,6 мм рт.ст.,

наблюдалась аортальная регургитация 2 ст. и расширение восходящей аорты до 46 мм. Проведена операция Ozaki, супракоронарное протезирование восходящего отдела аорты и коррекция диаметра синотубулярного гребня. Представлен случай полностью согласованных между ЭхоКГ и МРТ измерений как размера площади открытия АК (5,6 см<sup>2</sup>), так и величины градиента давления потока на АК (4,8 мм рт.ст.).

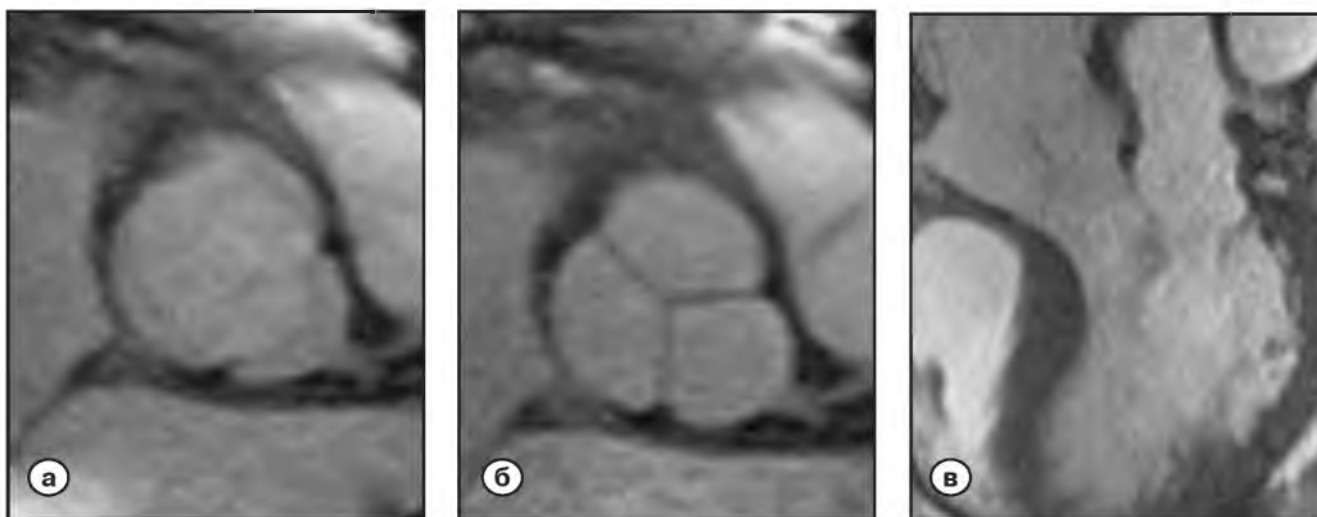
При МРТ четко визуализируются контуры створок АК в систолу и последующая их коаптация в диастолу (рис. 4а,б). Отмечается полная коаптация створок АК как в продольной, так и в поперечной проекции (рис. 4б,в).

#### Клинический пример 2

Пациент К., 72 года. До операции АК функционировал как двухстворчатый вследствие сращения комиссур, площадь эффективного отверстия АК уменьшена до 0,9 см<sup>2</sup> с максимальным градиентом на АК 33,8 мм рт.ст., наблюдалась дилатация фиброзного кольца до



**Рис. 4.** МРТ сердца. Клинический пример 1, случай полностью согласованных между ЭхоКГ и МРТ измерений площади открытия АК и величины градиента давления аортального потока.  
 а - визуализация открытых створок и оценка площади открытия АК;  
 б - оценка коаптации створок АК в поперечной проекции;  
 в - оценка коаптации створок АК в продольной проекции.



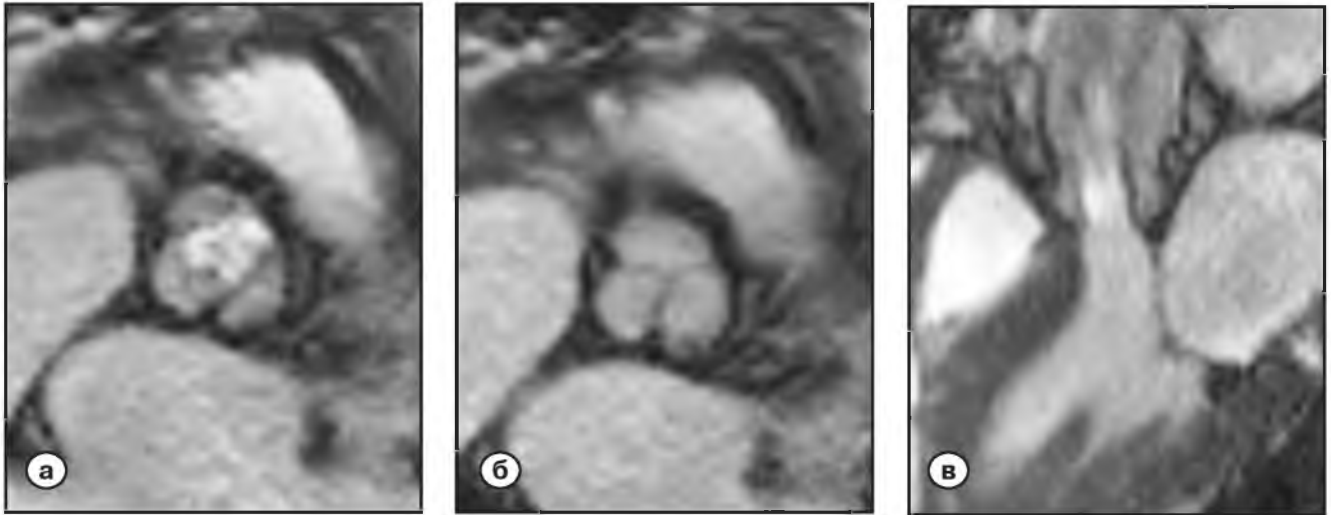
**Рис. 5.** МРТ сердца. Клинический пример 2, случай большой площади открытия АК (7,1 см<sup>2</sup>) обусловленный широким фиброзным кольцом (30 мм) с достигнутой на операции полной коаптации створок АК, без аортальной регургитации.  
 а, б - оценка коаптации створок АК в продольной проекции;  
 в - оценка коаптации створок АК в поперечной проекции.

32 мм с аортальной регургитацией 3 ст. Так же была выявлена аневризма синусов Вальсальвы (56 мм) и дилатация восходящего отдела Ао (42 мм). Проведена операция Ozaki и операция Вольфа (протез восходящей аорты). Представлен случай большой площади открытия АК (7,1 см<sup>2</sup>) обусловленный широким фиброзным кольцом (30 мм). Однако благодаря хирургической реконструкции створок достигнута их полная коаптация, без аортальной регургитации, что демонстрируется при МРТ (рис. 5).

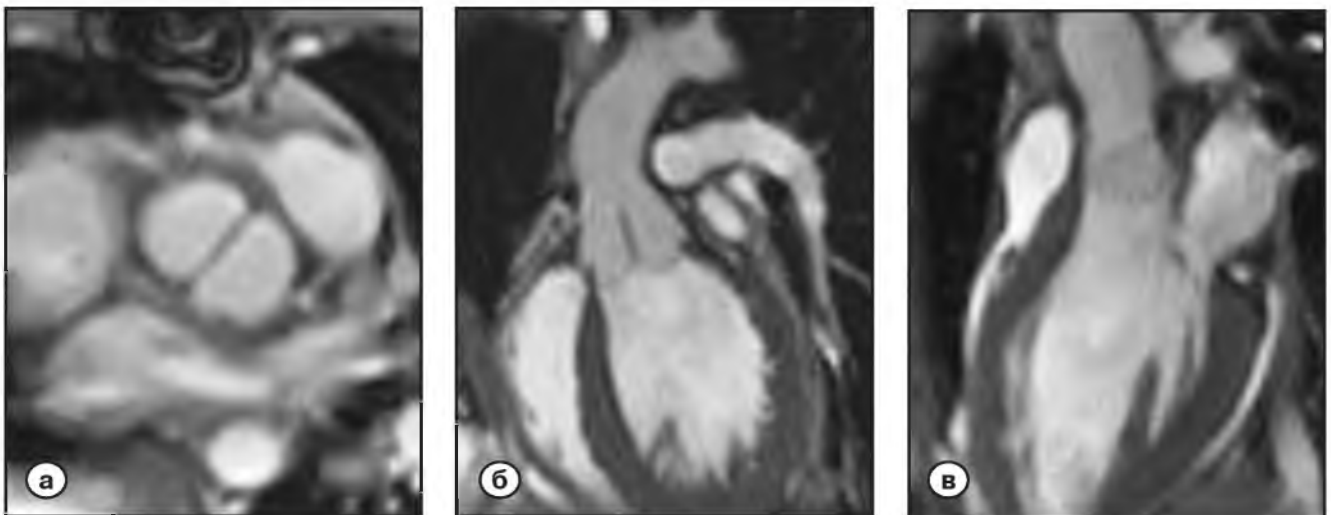
**Клинический пример 3**

Пациентка А., 70 лет. До операции площадь эффек-

тивного отверстия АК уменьшена 0,7 см<sup>2</sup> с градиентом давления 55,0 мм рт. ст., отмечалась аортальная регургитация 2 ст. Наблюдалось сужение фиброзного кольца до 17 мм и дилатация восходящего отдела аорты до 42 мм. Проведена операция Ozaki, супракоронарное протезирование восходящего отдела аорты и коррекция диаметра синотубулярного гребня. Представлен случай когда после оперативной коррекции наблюдается небольшая площадь открытия АК (1,8 см<sup>2</sup>) обусловленная узким (19 мм) фиброзным кольцом (рис. 6а). Наблюдается удовлетворительная коаптация створок АК (рис. 6б). Визуализируется



**Рис. 6.** МРТ сердца. Клинический пример 3, случай небольшой площади открытия АК ( $1,8 \text{ см}^2$ ) обусловленной узким фиброзным кольцом (19 мм) после оперативной коррекции.  
 а - оценка площади открытия АК;  
 б - оценка коаптации створок АК в поперечной проекции;  
 в - визуализация систолического потока с градиентом 29 мм рт. ст.



**Рис. 7.** МРТ сердца. Клинический пример 4, случай коррекции врожденного двухстворчатого клапана с исходной аортальной регургитацией 4 ст. и достигнутой после операции полной коаптации створок АК.  
 а - визуализация двухстворчатого клапана;  
 б, в - определение отсутствия аортальной регургитации и оценка коаптации створок после пластики двухстворчатого АК.

систолический поток - градиент давления достигает 29 мм рт.ст. (рис. 6в).

**Клинический пример 4**

Пациент С., 19 лет. Врожденный порок – двухстворчатое строение АК. До операции при нормальной площади открытия АК ( $4,5 \text{ см}^2$ ) и допустимом градиенте давления (21 мм рт.ст.) наблюдалась аортальная регургитация 4 ст. Выполнена операция Ozaki. Представлен случай коррекции двухстворчатого клапана (рис. 7а). После операции при МРТ отсутствует поток аортальной регургитации благодаря достигнутой полной коаптации створок АК (рис. 7б, в).

**Обсуждение**

Несмотря на прогресс в разработке и изготовлении протезов аортальных клапанов, их гемодинамические показатели еще не сопоставимы с характеристиками нативных клапанов [10]. В 2007 г. Shigeyuki Ozaki предложил методику реконструкции створок аортального клапана (АК), выкроенных по оригинальному шаблону из обработанного глутаровым альдегидом аутоперикарда [11]. В ближайшем послеоперационном периоде реконструкция створок АК по методике Ozaki ассоциируется с более низкими градиентами дав-



ления и большей площадью отверстия клапана по сравнению с каркасными биологическими протезами [12]. Восстановление АК с помощью этой инновационной операции обеспечивает хорошие гемодинамические характеристики неоклапана, дает возможность обойтись без пожизненного приема варфарина и устраняет необходимость реоперации с 96,7%-й вероятностью [13].

Однако пластика АК аутоперикардом не даёт такой стандартизации и воспроизводимости результата, как протезирование клапана. При проведении этой операции необходима высочайшая точность, так как створки АК необходимо сопоставить вместе, чтобы они коапировались на одном уровне и обеспечивали оптимальный поток. Поэтому для определения эффективности операции возникает необходимость в визуализации качества смыкания створок АК, а также в точной оценке площади отверстия и градиента давления после проведенной реконструкции.

Автор реконструкции АК аутоперикардом Shigeyuki Ozaki в своем исследовании установил, что через 1 неделю после операции при ЭхоКГ градиент давления был  $19,8 \pm 10,2$  мм рт. ст. и через 3,5 года после операции  $13,8 \pm 3,7$  мм рт. ст. [11]. В нашем исследовании в раннем периоде после операции Ozaki, в среднем через  $9,1 \pm 4,2$  дней, градиент давления на АК были еще меньше: при измерении методом ЭхоКГ  $10,4 \pm 5,3$  мм рт. ст., а при МРТ  $10,4 \pm 4,9$  мм рт. ст. Результат анализа согласованности измерений показал, что при оценке трансортального градиента давления отмечается высокое соответствие измерений при ЭхоКГ и МРТ – установлена средняя разница измерений около нуля ( $0,04 \pm 3,7$  мм рт. ст.,  $p=0,180$ ).

Известно, что ЭхоКГ и МРТ используют разную технологию измерений площади АК. Так при ЭхоКГ площадь открытия АК рассчитывают, по уравнению непрерывности, получив два изображения выше и ниже уровня аортального клапана [14]. А вот при МРТ в качестве рутинного метода измерения площади АК используют планиметрию.

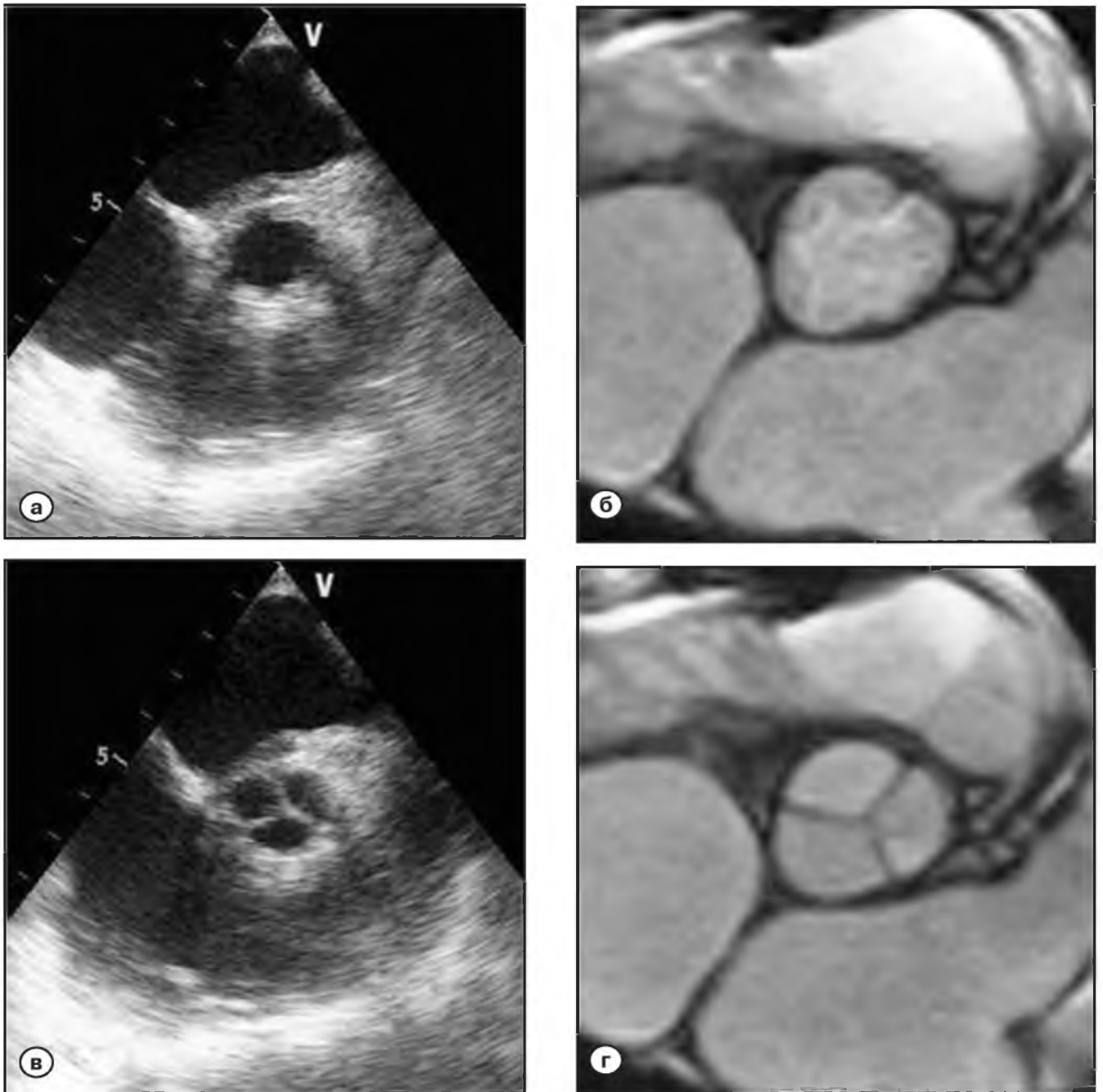
Таким образом при трансторакальной ЭхоКГ используется физиологический подход, а при МРТ измерения происходят в плоскости анатомического изображения. Ранее было установлено, что эффективная площадь отверстия АК определенная с помощью доплерографии имеет числовые значения аналогичные планиметрическим измерениям при МРТ [15]. Однако отмечается, что при трансторакальном ЭхоКГ измерение площади открытия АК по уравнению непрерывности требует три измерения, в то время как, МРТ наглядно демонстрирует геометрию АК. Благодаря этому МРТ обеспечивает высокую точность, как анатомических измерений, так и количественной оценки аортального потока [16]. Наряду с этим, в литературе отмечается, что скорость потока на АК, определяемую доплерографически, также можно сравнивать со скоростью

измеренной при фазово-контрастном исследовании. Это обеспечивает точную оценку градиента давления во многих клинических ситуациях [17].

В нашем исследовании также не выявлено существенных различий между ЭхоКГ и МРТ в измерении как площади открытия АК, так и трансортального градиента давления. Площадь отверстия АК определяемая с использованием планиметрии при МРТ хорошо согласованна с величиной площади вычисляемой с помощью уравнения непрерывности при ЭхоКГ. Величина трансортального градиента давления измеренная фазово-контрастным методом была хорошо согласованна с доплерографией. При анализе по методу Бленда-Альтмана средняя разница в оценках показала почти полное совпадение измерений.

Наряду с этим, полученные в нашем исследовании, результаты анализа согласованности показателей КДО и ФВ левого желудочка показали, что имеется статистически значимое различие измерений полученных при ЭхоКГ и МРТ. Вероятнее, это обусловлено изменением пространственной анатомии ЛЖ вызванной патологическим ремоделированием вследствие аортального порока, так как в ходе этого процесса конфигурация сердца приобретает неправильную несимметричную геометрию, которую не возможно адекватно оценить по методике Симпсона. В следствии происходит недооценка КДО при ЭхоКГ, вызванная техническими трудностями визуализации верхушки сердца. Ранее в отечественной литературе уже отмечалось, что при определении объемных показателей у пациентов с умеренной дилатацией ЛЖ предпочтительно использовать МРТ, так как вычисления не зависят от геометрической формы ЛЖ [18]. Это обусловлено тем, что МРТ имеет преимущества при измерении величины КДО, в большей мере показывая геометрические изменения и лучше отражая степень дилатации ЛЖ. При измерении величины КДО, у больных с измененной анатомией сердца, результаты МРТ и ЭхоКГ имели статистически значимые различия и низкую степень согласованности [19].

Помимо производимых измерений анатомических и функциональных показателей при ЭхоКГ и МРТ не менее важную роль имеет процедура непосредственной визуализации. Этот момент необходим для наглядной демонстрации оперирующим кардиохирургам результатов хирургической реконструкции, непосредственной оценки ими послеоперационной анатомии АК. В нашем исследовании МРТ показала свою ценность как диагностический инструмент для визуальной оценки качества коаптации створок АК. При этом хочется отметить, что МРТ даёт лучшее пространственное разрешение, чем ЭхоКГ (рис. 8). На изображениях подробнее дифференцируются анатомические структуры. Более отчетливо, чем при ЭхоКГ, визуализируются края створок открытого АК и убедительнее видно качество их коаптации. Достаточная



**Рис. 8.** Сравнение пространственного разрешения изображений АК полученных методами ЭхоКГ и МРТ. Визуализация площади открытия АК при ЭхоКГ (а) и МРТ (б). Визуализация коаптации створок АК при ЭхоКГ (в) и МРТ (г).

информативность полученного при МРТ набора изображений позволяет сделать по нему полноценное заключение. Однако возможно, что внедрение 3D эхокардиографических аппаратов уменьшит это преимущество МРТ.

ЭхоКГ и МРТ при оценке результатов реконструкции аортального клапана по методу Ozaki существенно дополняют друг друга, обеспечивая неинвазивную мультимодальную визуализацию. Для оптимизации тактики ведения мы рекомендуем проведение изучения структурных и функциональных параметров в

послеоперационном периоде в первую очередь с помощью ЭхоКГ. МРТ должна входить в алгоритм послеоперационной диагностики для оценки наступивших анатомических и гемодинамических изменений, но ее применение в раннем периоде после операций, можно ограничить случаями сложной визуализации у пациентов с конституциональными особенностями или вследствие плохих акустических окон, а также при противоречивых результатах ЭхоКГ. Хотя надо отметить, что не все пациенты могут пройти МРТ. Необходимость многократных задержек дыхания при

длительном времени сканирования, иногда крайне тяжело переносится пациентами в раннем послеоперационном периоде.

### Выводы

Различия в пределах согласованности при оценке площади открытия АК и трансортального градиента давления при ЭхоКГ и МРТ не являются клинически значимыми, что указывает на возможность использования этих методов измерений как взаимозаменяемых после реконструкции АК по методике Ozaki.

Результаты измерений размеров КДО и величины ФВ левого желудочка при ЭхоКГ и МРТ отличаются меньшей согласованностью и не являются взаимозаменяемыми, вследствие разной технологии оценки пространственной анатомии ЛЖ, следовательно, результаты измерений следует толковать в контексте конкретного метода.

МРТ должна входить в алгоритм диагностики после операции Ozaki, но её применение в раннем послеоперационном периоде, может быть ограничено случаями недостаточного качества или противоречивых результатов ЭхоКГ. ■

### Список литературы/References

1. Salem M. A.; Abd El-Razek M. A.; Bassiouny M. I. et al. Diagnostic Value of Cardiac MRI in Aortic Valve Stenosis in Comparison with Echocardiography. *Med J Cairo Univ.*, 2016; 84 (2):271-278.
2. Sondergaard L., Hildebrandt P., Lindvig K., et al. Quantification by magnetic resonance velocity mapping. *Am Heart J.*, 1993; 26(5):156-1164.
3. Bellenger N.G., Burgess M.I., Ray S.G. Comparison of left ventricular ejection fraction and volumes in heart failure by echocardiography, radionuclide ventriculography and cardiovascular magnetic resonance. Are they interchangeable?. *Eur Heart J.*, 2000; 21:1387-1396.
4. Bellenger N.G., Francis J.M., Davies L.C. et al. Establishment and performance of a magnetic resonance cardiac function clinic. *J Cardiovasc Magn Reson.* 1999; 1(4):323–330.
5. Bernard Y., Meneveau N., Boucher S. et al. Lack of agreement between left ventricular volumes and ejection fraction determined by two-dimensional echocardiography and contrast cineangiography in postinfarction patients. *Echocardiography.* 2001;18:113-122.
6. Darasz K.H., Underwood S.R., Bayliss J. et al. Measurement of left ventricular volume after anterior myocardial infarction: comparison of magnetic resonance imaging, echocardiography, and radionuclide ventriculography. *The Int J of Cardiovasc Imaging.* 2002;18(2):135-142.
7. Gardner B., Bingham S., Allen M. et al. Cardiac magnetic resonance versus transthoracic echocardiography for the assessment of cardiac volumes and regional function after myocardial infarction: an intrasubject comparison using simultaneous intrasubject recordings. *The J of Cardiovasc ultrasound.* 2009;7:38-44.
8. Li C., Lossnitzer D., Katus H.A. et al. Comparison of left ventricular volumes and ejection fraction by monoplane cineventriculography, unenhanced echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2012; 28(5):1003-1010.
9. Malm S., Frigstad S., Sagberg E.; et al. Accurate and reproducible measurement of left ventricular volume and ejection fraction by contrast echocardiography a comparison with magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol.* 2004; 44(5):1030-1035.
10. Ozaki S. Pathophysiology of calcification of bioprosthetic heart valves: an experimental investigation. *Leuven University Press.* 2001;238.
11. Ozaki S., Kawase I., Yamashita H., et al. A total of 404 cases of aortic valve reconstruction with glutaraldehyde-treated autologous pericardium. *J. Thora Cardiovasc Surg.* 2014; 147(1):301–306.
12. Россейкин Е.В., Базылев В.В., Батраков П.А. и др. Непосредственные результаты протезирования створок аортального клапана аутоперикардом по методике Ozaki. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2016;20(2):44–48.
13. Rossejkin E.V., Bazylev V.V., Batrakov P.A. i dr. Neposredstvennye rezul'taty protezirovanija stvorok aortal'nogo klapan'a autoperikardom po metodike Ozaki [Immediate results of aortic valve leaflets replacement with auto pericardium due to Ozaki technique]. *Patologija krovoobrashhenija i kardiohirurgija.* 2016; 20(2):44–48 [ In Russ].
14. Ozaki S., Kawase I., Yamashita H., et al. Aortic Valve Reconstruction Using Autologous Pericardium for Aortic Stenosis. *Circ J.* 2015; 79(7):1504–1510.
15. Izgi C. MRI evaluation of aortic stenosis: flow evaluation. <https://www.esccardio.org/Education/PracticeTools/EACVI-toolboxes/Valvular-Imaging/Atlas-of-valvular-imaging/Aortic-stenosis/MRI-evaluation-of-aortic-stenosis-flow-evaluation>

15. La Manna A., Sanfilippo A., Capodanno D. et al. Cardiovascular magnetic resonance for the assessment of patients undergoing transcatheter aortic valve implantation: a pilot study. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2011;13:82-90.

16. Rajani R., Hancock J., Chambers J.B. The art of assessing aortic stenosis. *Heart.* 2012;98(4):14-22.

17. Oosterhof T., Mulder B.J.M., Vliegen H.W. et al. Cardiovascular magnetic resonance in the follow-up of patients with corrected tetralogy of Fallot. *American Heart J.* 2006;151:265-272.

18. Базылев В.В., Парамонова Т.И., Вдовкин А.В., Палькова В.А. При каком размере КДО у больных с систолической дисфункцией левого желудочка предпочтительно выполнение магнитно-резонансной томографии. *Диагностическая и интервенционная радиология.* 2017;11(2):30-37.

Bazylev V.V., Paramonova T.I., Vdovkin A.V., Pal'kova

V.A. Pri kakom razmere KDO u bol'nyh s sistolicheskoj disfunkciej levogo zheludochka predpochtitel'no vypolnenie magnitno-rezonansnoj tomografii [What dimensions of EDV in patients with systolic dysfunction of the left ventricle is preferable to perform MRI?]. *Diagnosticheskaja i interencionnaja radiologija.* 2017;11(2):30-37 [In Russ].

19. Базылев В.В., Парамонова Т.И., Вдовкин А.В., Карпухин В.Г., Палькова В.А. Согласованность ЭхоКГ и МРТ в оценке митральной регургитации и КДО у больных с дилатацией левого желудочка. *Лучевая диагностика и терапия.* 2017;1(8):64-68.

Bazylev V.V., Paramonova T.I., Vdovkin A.V., Karpuhin V.G., Pal'kova V.A. Soglasovannost' JechoKG i MRT v ocenke mitral'noj regurgitacii i KDO u bol'nyh s dilataciej levogo zheludochka [Accordance of MRI and EchoCG in estimation of mitral regurgitation and EDV in patients with left ventricle dilatation]. *Luhevaja diagnostika i terapija.* 2017;1(8): 64-68 [In Russ].