

## Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)  
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1006>

## Сравнительный анализ эхокардиографических показателей времени ускорения и соотношения времени ускорения к общему времени выброса левого желудочка с показателями катетеризации в оценке тяжести аортального стеноза у пациентов с Normal flow High Gradient

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

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

**Цель исследования:** 1. Сравнить эхокардиографические показатели времени ускорения (АТ), соотношения времени ускорения к общему времени выброса левого желудочка (АТ/ЕТ) и общего времени выброса левого желудочка (ЕТ) с данными прямой катетеризации сердца и оценить предсказательную способность тяжелого аортального стеноза (АС) у пациентов с сохраненным ударным объемом ЛЖ и высокими трансортальными градиентами.

2. Определить пороговые значения для показателей АТ и АТ/ЕТ в диагностике тяжелого АС.

**Материал и методы.** Проспективно собраны данные 75 пациентов, средний возраст  $72 \pm 6$  лет, которым планировалась транскатетерная имплантация аортального клапана (АК).

Критерии включения: изолированный стеноз АК с эхокардиографическими характеристиками, соответствующими тяжелому стенозу с сохраненным ударным объемом ЛЖ и высокими трансортальными градиентами.

Всем исследуемым перед транскатетерной имплантацией АК проводили катетеризацию сердца с измерением показателей, необходимых для оценки тяжести АС.

**Результаты.** Анализ линейной регрессии продемонстрировал статистически значимую корреляционную связь между показателями АТ и АТ/ЕТ,  $p < 0,05$ . Кривая ROC-анализа продемонстрировала наибольшую диагностическую способность в оценке тяжести АС для показателя АТ/ЕТ, значение площади под кривой AUC 87 ( $p < 0,001$ ), несколько меньшую диагностическую способность для показателя АТ, значение под кривой AUC 0,8 ( $p < 0,001$ ). Чувствительность и специфичность показателя АТ/ЕТ в определении тяжелого АС составили 84 и 79% соответственно, для показателя АТ чувствительность – 82% и специфичность – 46%. Были выявлены пороговые значения для показателя АТ и АТ/ЕТ в определении тяжелого стеноза АК – 105 и 0,35 мс соответственно.

**Выводы.** 1. Эхокардиографические показатели АТ и АТ/ЕТ обладают сильной корреляционной связью с данными катетеризации и высокой предсказательной способностью тяжелого АС у пациентов с сохраненным ударным объемом ЛЖ и высокими трансортальными градиентами.

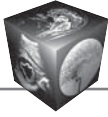
2. Пороговые значения показателей АТ 105 мс и АТ/ЕТ 0,35 мс могут с высокой долей вероятности диагностировать тяжелый АС.

**Ключевые слова:** аортальный стеноз, время ускорения АТ

**Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.**

**Для цитирования:** Базылев В.В., Бабуков Р.М., Бартош Ф.Л., Лёвина А.В. Сравнительный анализ эхокардиографических показателей времени ускорения и соотношения времени ускорения к общему времени выброса левого желудочка с показателями катетеризации в оценке тяжести аортального стеноза у пациентов с Normal flow High Gradient. *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (2): 91–100. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1006>

**Поступила в редакцию:** 06.04.2021. **Принята к печати:** 05.03.2022. **Опубликована online:** 15.05.2022.



# Comparative analysis of echocardiographic indicators of acceleration time and the ratio of acceleration time to total left ventricular ejection time with catheterization indicators in assessing the severity of aortic stenosis in patients with Normal flow High Gradient

© Vladlen V. Bazylev, Ruslan M. Babukov\*, Fedor L. Bartosh, Alena V. Levina

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

**Purpose.** 1. To compare the ultrasound indices of time in comparison (AT), cardiac catheterization evaluating severity (AT/ET) with the indices of direct cardiac catheterization and assess the prognostic ability in the assessment of severity of AS in patients with Normal flow High Gradient

2. To determine the threshold values for the indicators of AT and AT/ET in predicting severe AS.

**Materials and methods.** This is prospective single center study. We evaluated results of treatment of 75 patients with mean age  $72 \pm 6$  years that were planned for aortic valve replacement due to aortic stenosis.

Inclusion criteria: isolated aortic valve stenosis with ultrasound characteristics of severe AS. Before transcatheter aortic valve implantation, all patients underwent cardiac catheterization with the measurement of parameters necessary to assess the severity of AS.

**Results.** Linear regression analysis showed a statistically significant correlation between AT and AT/ET ( $p < 0.05$ ). The ROC-analysis has showed the highest predictive ability in assessing the severity of aortic stenosis for the AT / ET index (AUC – 87%,  $p < 0.001$ ), slightly lower predictive power for the AT parameter (AUC – 80%,  $p < 0.001$ ). The sensitivity and specificity of the AT / ET indicator in determining severe AS was 84% and 79%, respectively. For the AT indicator, the sensitivity was 82% and the specificity was 46%. The threshold values for AT and AT / ET were 105 ms and 0.35, respectively.

**Conclusions.** 1. AT and AT / ET have a strong correlation with catheterization data and a high predictive ability of severe aortic stenosis in patients with Normal Flow High Gradient patients.

2. Threshold values for AT and AT /ET, that predict a high probability of AS, were 105ms and 0.35ms respectively.

The study showed, echocardiographic indicators AT and AT ET have a strong correlation with catheterization data and a high predictive ability of severe aortic stenosis in patients with Normal Flow High Gradient patients. Threshold values for AT and AT ET, that predict a high probability of AS, were 105 ms and 0.35 ms respectively.

**Keywords:** aortic stenosis, acceleration time AT, Normal Flow High Gradient

**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. Comparative analysis of echocardiographic indicators of acceleration time and the ratio of acceleration time to total left ventricular ejection time with catheterization indicators in assessing the severity of aortic stenosis in patients with Normal flow High Gradient. *Medical Visualization*. 2022; 26 (2): 91–100. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1006>

**Received:** 06.04.2021.

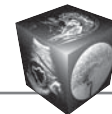
**Accepted for publication:** 05.03.2022.

**Published online:** 15.05.2022.

## Введение

На сегодняшний день аортальный стеноз (АС) является наиболее частым клапанным пороком сердца [1, 2]. С 2006 г. по настоящее время существующие руководства рекомендуют использовать эхокардиографию в качестве основного метода в диагностике тяжести АС [3–5]. В действующих руководствах при определении тяжести АС предложено использовать показатели: площади эффективного отверстия (ЕОА), индекса площади эффективного отверстия (iЕОА), показатели сред-

него трансортального градиента ( $G_{\text{mean}}$ ) и максимальной трансортальной скорости потока ( $V_{\text{max}}$ ) [4, 5]. Однако у достаточно большого количества пациентов с АС (от 20 до 38%) указанные эхокардиографические показатели имеют значительные расхождения с данными катетеризации, включая пациентов с сохранной фракцией выброса, нормальным ударным объемом левого желудочка (ЛЖ) и высокими трансортальными градиентами [6–17,32]. Во многом это связано с ошибками в измерении выносящего тракта левого желудоч-



ка (ВТЛЖ), зависимости от угла сканирования и скорости потока в ВТЛЖ, ударного объема и сократительной способности ЛЖ, системного артериального давления, феномена восстановления давления, строения аортального клапана (АК), частоты сердечных сокращений (ЧСС) и т.д. Учитывая тот факт, что катетеризация не может применяться в повседневной рутинной практике для оценки тяжести АС (из-за возможных осложнений), существует необходимость в дополнительных эхокардиографических показателях, которые не зависят от факторов, описанных выше. Не так давно было предложено использовать показатели времени ускорения (АТ) и соотношения времени ускорения к общему времени выброса (АТ/ЕТ) для улучшения диагностики стеноза АК. Суть методов заключается в оценке времени, которое необходимо для максимального раскрытия створок АК, соответственно, чем тяжелее АС, тем больше времени требуется для полного раскрытия створок. Ряд исследований уже продемонстрировали хорошую предсказательную способность этих показателей в определении тяжести АС и прогнозировании неблагоприятных сердечно-сосудистых событий [18–21].

Несмотря на это, доказательная база для показателей АТ и АТ/ЕТ в определении тяжести АС на основе данных катетеризации крайне скудна, а ранее проведенные сравнительные исследования имели ряд существенных недостатков, такие как использование обратного катетера, а не одновременное измерение давления в ЛЖ и аорте, а также проведенный в момент измерения через клапан катетер, из-за которого возможна потеря площади поперечного сечения клапана [33, 34]. Учитывая эти обстоятельства, нами было проведено сравнительное исследование эхокардиографических показателей АТ, АТ/ЕТ и ЕТ с данными прямой катетеризации сердца и определение пороговых значений тяжелого АС.

### Цель исследования

1. Сравнить эхокардиографические показатели АТ, АТ/ЕТ и ЕТ с данными прямой катетеризации сердца и оценить предсказательную способность тяжелого АС у пациентов с **сохраненным ударным объемом ЛЖ и высокими трансортальными градиентами**.

2. Определить пороговые значения для показателей АТ и АТ/ЕТ в диагностике тяжелого АС.

### Материал и методы

Исследование проводилось на базе ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава России (Пенза). Проспективно

собраны данные 75 пациентов, средний возраст  $72 \pm 6$  лет, из них 41 женщина, которым планировалась транскатетерная имплантация АК после диагностики его выраженного стеноза.

Критерии включения в исследование: изолированный стеноз АК с эхокардиографическими характеристиками, соответствующими тяжелому стенозу с **сохраненным ударным объемом ЛЖ и высокими трансортальными градиентами**: эффективная площадь отверстия АК ЕОА  $< 1 \text{ см}^2$ , максимальная трансортальная скорость потока  $V_{\max} \geq 4 \text{ м/с}$ , средний градиент на аортальном клапане  $G_{\text{mean}} \geq 40 \text{ мм рт.ст.}$ , индекс площади эффективного отверстия  $\leq 0,6 \text{ см/м}^2$ , индекс ударного объема ЛЖ  $\geq 35 \text{ мл/м}^2$ .

Критерии исключения: пациенты с индексом ударного объема ЛЖ  $< 35 \text{ мл/м}^2$  и сниженной фракцией выброса  $< 50\%$ , ЕОА  $\geq 1 \text{ см}^2$ , максимальной трансортальной скоростью потока  $V_{\max} < 4 \text{ м/с}$ , средним градиентом на аортальном клапане  $G_{\text{mean}} < 40 \text{ мм рт.ст.}$ , индексом площади эффективного отверстия  $\geq 0,6 \text{ см/м}^2$ , пациенты с сочетанной нетривиальной регургитацией на аортальном, митральном и трикуспидальном клапанах, пациенты с сочетанным значимым стенозом митрального клапана, ускоренным кровотоком в ВТЛЖ выше  $1,5 \text{ м/с}$ , постоянной формой фибрилляции предсердий.

**Эхокардиография.** Все пациенты проходили комплексную эхокардиографию с использованием ультразвуковых аппаратов (iE33; Phillips Medical Systems, Best, Нидерланды). Эхокардиографические измерения проводили в соответствии с рекомендациями Американского и Европейского обществ эхокардиографии [22]. Все измерения были проведены одним опытным сонографистом. Конечно-диастолический объем (КДО) ЛЖ, конечно-систолический объем (КСО) ЛЖ, фракция выброса (ФВ) ЛЖ, ударный объем (УО) ЛЖ вычислялись по методу Симпсона методом Biplane. Измерения трансортальных показателей проводились череспищеводной эхокардиографией с использованием непрерывноволнового и импульсного доплеров в пятикамерной проекции. Скорости и градиенты кровотока были получены непрерывноволновым доплером из интегралов линейной скорости кровотока в соответствии с уравнением Бернулли  $G = 4V^2$ . Измерения диаметра ВТЛЖ были произведены в парастернальной проекции по длинной оси в середине систолы методом от внутреннего края к внутреннему краю на расстоянии не более чем 5 мм от АК. УО ЛЖ измеряли из интегралов линейной скорости, полученных в ВТЛЖ на уровне 0,5 см от АК с помощью импульсного доплера, далее индексиро-

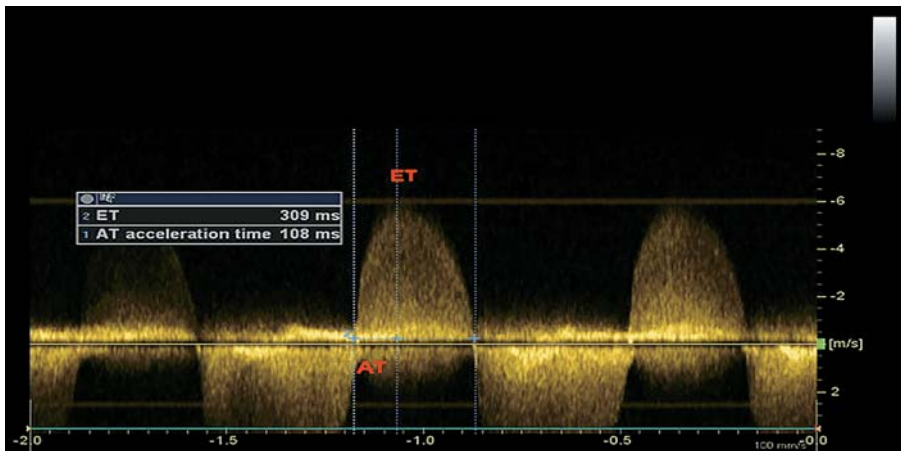
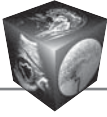


Рис. 1. Соотношение AT/ET.  
Fig. 1. AT/ET ratio.

вав на площадь поверхности тела. Расчет площади эффективного отверстия АК (ЕОА) проводили с помощью уравнения непрерывности с выполнением всех условий для точного расчета показателей.

$$EOA = SV/VTI,$$

где  $SV$  – ударный объем ЛЖ,  $VTI$  – интеграл линейной скорости на АК. Допплеровские записи выполнялись со скоростью развертки 150 мм/с.

Систолические временные интервалы AT и AT/ET были измерены с использованием кривой транс-аортального потока, полученной в пятикамерной апикальной проекции непрерывноволновым доплером. ET измеряли как время от начала и до конца систолического кровотока, AT – как временной интервал между началом систолического кровотока и его максимальной скоростью, после чего рассчитывали соотношение AT/ET (рис. 1).

**Катетеризация сердца.** Перед транскатетерной имплантацией АК (апикальным доступом) проводили катетеризацию сердца с измерением показателей, необходимых для определения тяжести стеноза на АК.

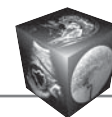
Катетеризацию левых отделов сердца выполняли всем пациентам под полной седацией. Измерение гемодинамических показателей АК проводили одновременно двумя однопросветными катетерами типа *rig tail* размерами 5 F, расположенными в ВТЛЖ и в проксимальном отделе восходящей аорты. Катетер в ВТЛЖ был доставлен через верхушку ЛЖ, а в восходящем отделе аорты (примерно на 3–5 см выше клапана) – через бедренный доступ. Перед выполнением катетеризации была проведена калибровка и подтверждено одинаковое давление в обоих просветах катетера. При проведении катетеризации вычислялись значения Peak to Peak и показатели среднего градиента катетеризации  $\Delta P_{\text{mean}}$ . В сравнительные

расчеты брали значение среднего давления катетеризации ( $\Delta P_{\text{mean}}$ ), который вычисляется как генерация средних значений пиковых градиентов за время сердечного выброса и на сегодняшний день считается наиболее достоверным среди показателей значимости стеноза АК. Площадь АК рассчитывалась с использованием уравнения Горлина:

$$EOA(\text{кат.}) = \frac{CB(\text{л/мин})}{\sqrt{\text{средний градиент (мм рт.ст.)}}}.$$

**Статистика.** База данных составлялась в виде электронных таблиц в программе Microsoft Office Excel 2007. Обработка данных производилась в демоверсии SPSS Statistics (*англ.* Statistical Package for the Social Sciences)). 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  $p \leq 0,05$ . С помощью ROC-анализа (площади под кривой) была изучена прогностическая способность показателей AT, AT/ET и ET в определении тяжелого АС и его пороговых значений. Корреляция между измерениями эхокардиографией и катетеризацией оценивалась с помощью метода линейной регрессии с оценкой корреляции Пирсона ( $r$ ) и дисперсионного компонентного анализа. С помощью моделей множественной логистической регрессии изучалась взаимосвязь между систолическими временными интервалами (AT и соотношения AT/ET) и следующими переменными: возрастом, массой ЛЖ, ЧСС, ЕОА, ФВ ЛЖ, индексом УО, индексом КДОлж, транс-аортальными градиентами, диаметром синотубулярного гребня и восходящего отдела аорты. В анализ множественной логистической рег-

**Таблица 1.** Клинико-морфологические характеристики пациентов**Table 1.** Clinical and morphological characteristics of patients

Показатели/ Indicators	n = 75
Возраст, годы / Age, years	72 ± 6
BMI, кг/м <sup>2</sup> / BMI, kg/m <sup>2</sup>	31,4 ± 6
BSA, м <sup>2</sup> / BSA, m <sup>2</sup>	1,88 ± 0,2
Сахарный диабет / Diabetes	12 (16%)
Артериальная гипертензия/ Arterial hypertension	46 (61%)
Мультифокальный атеросклероз/ Multifocal atherosclerosis	30 (42%)
Нарушение функции почек/ Impaired kidney function	12 (16%)
ХОБЛ/ COPD	15 (21%)
Пароксизмальная фибрилляция предсердий/ Paroxysmal atrial fibrillation	33 (44%)
ФК2 (NYHA) / FC 2 (NYHA)	43 (57%)
ФК3 (NYHA) / FC 3 (NYHA)	32 (43%)
Шкала риска /Euro SCORE	9,1 ± 5,0
<b>Эхокардиографические показатели/ Echocardiographic parameters</b>	
КДО, мл / EDV, ml	109 ± 24
ФВ ЛЖ, % / EF LV %	60 ± 8
Индекс УО ЛЖ, мл/м <sup>2</sup> / Index SV LV, ml/m <sup>2</sup>	37 ± 3
GLS ЛЖ, %	13,7 ± 4
Индекс массы ЛЖ, г/м <sup>2</sup> / Index mass LV, g/m <sup>2</sup>	168 ± 40
G <sub>max</sub> , мм рт.ст./ G <sub>max</sub> , mm Hg	79,4 ± 20
G <sub>mean</sub> , мм рт.ст./ G <sub>mean</sub> , mm Hg	47 ± 16
ЕОА, метод Допплера, см <sup>2</sup> / EOA, Doppler method, cm <sup>2</sup>	0,74 ± 0,15
ЕОА, метод катетеризации, см <sup>2</sup> / EOA, catheterization, cm <sup>2</sup>	0,93 ± 0,2
ELCO, см <sup>2</sup>	0,91 ± 0,21
ΔP <sub>mean</sub> катетеризация, мм рт.ст./ ΔP <sub>mean</sub> catheterization, mm Hg	56 ± 24
Размер синусов Вальсальвы, мм / The size of the sinuses of Valsalva, mm	32 ± 4
Размер восходящего отдела аорты, мм / Size of the ascending aorta, mm	35 ± 5
Размер синотубулярного гребня, мм / Sinotubular ridge size, mm	25,6 ± 6
АТ, мс/ AT, ms	117 ± 22
АТ/ЕТ, мс/ AT/ET, ms	0,38 ± 0,06
ЕТ, мс/ ET, ms	317 ± 47
DVI	0,205 ± 0,06

*Примечание.* BSA (body surface area) – площадь поверхности тела, BMI (body mass index) – индекс массы тела, КДО ЛЖ – конечный диастолический объем левого желудочка, ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка, индекс УО ЛЖ – индекс ударного объема левого желудочка, GLS ЛЖ – глобальная продольная деформация ЛЖ, G<sub>max</sub> – максимальный трансортальный градиент, G<sub>mean</sub> – средний трансортальный градиент давления, PRG<sub>max</sub> (доплер) – максимальный трансортальный градиент, скорректированный на коэффициент восстановления давления, ЕОА – площадь эффективного отверстия АК, вычисленная методом доплера, ELCO – площадь эффективного отверстия АК, вычисленная методом доплера с коррекцией на коэффициент восстановления давления, АТ – время ускорения (время максимального раскрытия створок), ЕТ – общее время выброса, DVI – безразмерный индекс, ΔP<sub>mean</sub> – средний градиент, вычисленный при катетеризации.

*Note.* BSA – body surface area, BMI – body mass index, LV EDV – left ventricular end diastolic volume, LV EF – left ventricular ejection fraction, LV SV index – left ventricular stroke volume index, GLS LV – LV global longitudinal strain, G<sub>max</sub> – maximum transaortic gradient, G<sub>mean</sub> – mean transaortic pressure gradient, PRG<sub>max</sub> (Doppler) maximum transaortic gradient corrected for pressure recovery factor, EOA – doppler effective AV orifice area, ELCO – effective orifice area AV calculated by Doppler method corrected for pressure recovery coefficient, AT – acceleration time (time of maximum leaflet opening), ET – total ejection time, DVI – dimensionless index, ΔP<sub>mean</sub> – average gradient calculated during catheterization.



рессии включали переменные, которые продемонстрировали свою значимость при унивариантной логистической регрессии.

## Результаты

Все исходные клинико-морфологические характеристики представлены в табл. 1. По данным катетеризации удалось реклассифицировать с тяжелого АС на умеренный АС 17 (22%) пациентов, сравнительный анализ эхокардиографических показателей этих подгрупп показал значимую разницу исключительно между показателями АТ и соотношении АТ/ЕТ (табл. 2).

Анализ линейной регрессии продемонстрировал статистически значимую корреляционную связь между показателями АТ и данными катете-

ризации  $\Delta P_{\text{mean}}$ ,  $r = 0,69$ ,  $p = 0,01$ , ЕОА(кат.),  $r = 0,68$ ,  $p = 0,01$ . Несколько более сильную корреляционную связь с данными катетеризации продемонстрировал показатель АТ/ЕТ  $\Delta P_{\text{mean}}$ ,  $r = 0,83$ ,  $p < 0,001$ , ЕОА(кат.)  $r = 0,8$ ,  $p < 0,001$ . Сравнительный анализ показателя ЕТ вообще не продемонстрировал корреляционной связи с данными катетеризации  $\Delta P_{\text{mean}}$ ,  $r = 0,4$ ,  $p < 0,7$ , ЕОА(кат.)  $r = 0,33$ ,  $p < 0,4$ .

Кривая ROC-анализа продемонстрировала наибольшую предсказательную способность тяжелого АС для показателя АТ/ЕТ, значение площади под кривой AUC 87 ( $p < 0,001$ ). Несколько меньшую диагностическую способность продемонстрировал показатель АТ, значение под кривой AUC 0,8 ( $p < 0,001$ ). Показатель ЕТ продемонстрировал самую

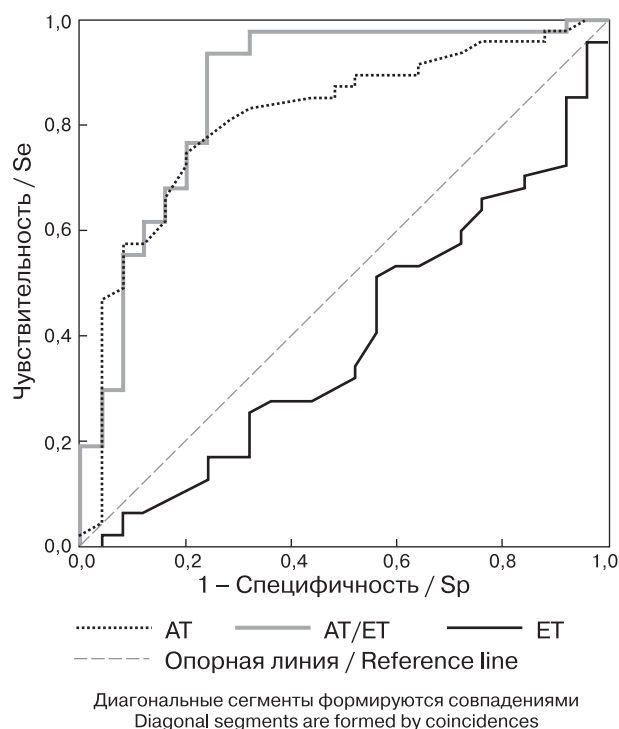
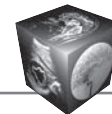
**Таблица 2.** Сравнительная таблица эхокардиографических показателей пациентов после проведения прямого зондирования сердца и реклассификации на истинно тяжелый псевдотяжелым АС

**Table 2.** Comparative table of echocardiographic parameters of patients after direct cardiac catheterization and reclassification to truly severe pseudo-severe AS

Показатели / Indicators	Истинно тяжелый АС Truly severe AS (n = 58)	Псевдотяжелый АС Pseudo-severe AS (n = 17)	p
КДО, мл / EDV, ml	112 ± 25	110 ± 24	0,6
ФВ ЛЖ, % / EF LV %	59 ± 8	60 ± 8	0,9
Эффективный иУО ЛЖ, мл/м <sup>2</sup> / Index SV LV, ml/m <sup>2</sup>	37 ± 4	36 ± 3	0,8
G <sub>max</sub> , мм рт.ст. / G <sub>max</sub> , mm Hg	78 ± 19	75 ± 19	0,5
G <sub>mean</sub> , мм рт.ст. / G <sub>mean</sub> , mm Hg	47 ± 14	44 ± 15	0,13
ЕОА, метод доплера, см <sup>2</sup> / EOA, Doppler method, cm <sup>2</sup>	0,72 ± 0,14	0,73 ± 0,14	0,8
ЕОА, метод катетеризации, см <sup>2</sup> EOA, catheterization, cm <sup>2</sup>	0,8 ± 0,2	1,2 ± 0,3	0,02
$\Delta P_{\text{mean}}$ катетеризация, мм рт.ст. $\Delta P_{\text{mean}}$ catheterization, mm Hg	63 ± 21	33 ± 17	<0,001
АТ, мс / AT, ms	120 ± 13	100 ± 18	0,02
АТ/ЕТ, мс / AT/ET, ms	0,4 ± 0,06	0,32 ± 0,07	<0,001
ЕТ, мс / ET, ms	323 ± 43	318 ± 46	0,7
DVI	0,2 ± 0,06	0,22 ± 0,05	0,3

*Примечание.* КДО – конечный диастолический объем левого желудочка, ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка, иУО ЛЖ – индекс ударного объема левого желудочка, G<sub>max</sub> – максимальный трансортальный градиент, G<sub>mean</sub> – средний трансортальный градиент давления, ЕОА – площадь эффективного отверстия АК, вычисленная методом доплера, ELCO – площадь эффективного отверстия АК, вычисленная методом доплера с коррекцией на коэффициент восстановления давления, АТ – время ускорения (время максимального раскрытия створок), ЕТ – общее время выброса, DVI – безразмерный индекс,  $\Delta P_{\text{mean}}$  – средний градиент, вычисленный при катетеризации.

*Note.* EDV – left ventricular end-diastolic volume, LV EF – left ventricular ejection fraction, LV iSV – left ventricular stroke volume index, G<sub>max</sub> – maximum transaortic gradient, G<sub>mean</sub> – mean transaortic pressure gradient, EOA – effective aortic orifice area calculated by doppler method, ELCO is the area of the effective opening of the AV calculated by the Doppler method with correction for the pressure recovery coefficient, AT is the acceleration time (the time of maximum opening of the leaflets), ET is the total ejection time, DVI is the dimensionless index,  $\Delta P_{\text{mean}}$  is the average gradient calculated during catheterization.



**Рис. 2.** График кривой ROC-анализа, прогнозирующей способности показателей.

**Fig. 2.** Graph of the ROC-analysis curve, predicting the ability of indicators.

худшую диагностическую способность, значение под кривой AUC 0,39 ( $p = 0,05$ ) (рис. 2).

Чувствительность и специфичность показателя AT/ET в определении тяжелого АС составила 84 и 79% соответственно, для показателя АТ чувствительность – 82% и специфичность – 46%. Были выявлены пороговые значения для показателя АТ и АТ/ЕТ в определении тяжелого стеноза АК: 105 и 0,35 мс соответственно. Анализ множественной логистической регрессии выявил значимое влияние на значение АТ показателя ЧСС (OR 0,87; 95% ДИ 0,7–1,28)  $p < 0,001$ , соотношение АТ/ЕТ имело значимую связь со значениями ЕОА (OR 0,72; 95% ДИ 0,65–1,09) и  $G_{mean}$  (OR 0,74; 95% ДИ 0,69–1,2)  $p < 0,001$ .

### Обсуждение

Еще в 80-х годах прошлого столетия несколько небольших исследований продемонстрировали корреляционную связь показателей АТ и АТ/ЕТ с другими эхокардиографическими показателями и данными катетеризации [23–26]. Вероятно, в то время казалось, что существующих стандартных эхокардиографических показателей ( $V_{max}$ ,  $G_{mean}$ , ЕОА) вполне достаточно для полной оценки тяжести АС, по этой причине возможности

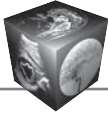
показателей АТ и АТ/ЕТ в прогнозировании тяжести АС не были достаточно изучены. В 2000-х годах стало ясно, что стандартные эхокардиографические показатели имеют ряд ограничений и не всегда достоверно отображают тяжесть АС по ряду причин. К общеизвестным причинам относятся: ошибки при измерении диаметра ВТЛЖ, зависимость от угла сканирования, от сократимости и УО ЛЖ, от системного артериального давления, феномена восстановления давления, зависимости от скорости потока в ВТЛЖ, особенностей строения АК, ЧСС и т.д. В связи с этим стало очевидным, что необходимы дополнительные эхокардиографические показатели, которые не имеют вышеописанных ограничений.

Впервые параметры АТ и АТ/ЕТ были рекомендованы для оценки функции протеза после ряда исследований. Пороговые значения показателей АТ и АТ/ЕТ для определения тяжелой дисфункции протеза составили 100 и 0,35 мс соответственно [27, 28].

Не так давно было предложено использовать показатели АТ и АТ/ЕТ для оценки тяжести АС при нативном клапане, ряд исследований продемонстрировал высокую корреляционную связь этих параметров со стандартными эхокардиографическими параметрами [29, 30]. Обоснование использования показателя АТ в оценке тяжести стеноза АК заключается в том, что по мере кальцинирования створок АК снижается их эластичность и увеличивается время до их максимального раскрытия. Таким образом, чем больший промежуток времени занимает раскрытие створок, тем выраженнее тяжесть стеноза АК. Однако было отмечено, что показатель АТ может иметь ряд ограничений, так как есть вероятность его зависимости от ЧСС, сократительной способности и УО ЛЖ, что тем самым может привести к ошибочным суждениям о тяжести стеноза [29, 31]. По этой причине было предложено использовать соотношение показателей АТ/ЕТ (соотношения времени ускорения к общему времени выброса ЛЖ), которое не подвержено значимому влиянию данных факторов.

В ряде исследований было продемонстрировано, что показатели АТ и АТ/ЕТ могут обладать высокой диагностической способностью тяжелого АС и прогнозировать риск летальных событий во время наблюдения за бессимптомными пациентами с тяжелым АС. Пороговые значения для показателей АТ и АТ/ЕТ, значительно увеличивающие риск неблагоприятных событий, более 112 мс и более 0,35 мс соответственно [31, 36].

В нашем исследовании мы получили достаточно хорошую корреляционную связь эхокардио-



графических показателей АТ и АТ/ЕТ с данными прямой катетеризации, по данным ROC-анализа показатель соотношения АТ/ЕТ обладал лучшей диагностической способностью тяжелого АС в отличие от изолированного показателя АТ. Вероятно, это связано с тем, что при множественной логистической регрессии ЧСС имела значимое влияние на показатель АТ (OR 0,87; 95% ДИ 0,7–1,28),  $p < 0,001$ .

Хотя в предыдущих исследованиях, кроме ЧСС, было выявлено влияние показателей ФВ и УО ЛЖ на показатель АТ, нам не удалось констатировать это в нашем исследовании, вероятно, из-за критериев отбора, в которых были исключены пациенты со сниженной ФВ и сниженным УО ЛЖ.

Важно подчеркнуть, что наше исследование имело важную особенность по сравнению с ранее проведенными аналогичными исследованиями, в нашем исследовании инвазивное измерение давления в ЛЖ и аорте производилось, без пересечения катетером клапана аорты, что позволило нам избежать большинства потенциальных серьезных ограничений в исследованиях, которые были ранее. Кроме того, для сравнения с данными доплера в нашем исследовании мы использовали показатели среднего давления катетеризации ( $\Delta P_{mean}$ ), который, согласно современным представлениям, считается “золотым стандартом” в оценке тяжести стеноза в отличие от показателя от Peak to Peak, используемого в предыдущих исследованиях [20].

С учетом данных нашего и предыдущих исследований можно утверждать, что эхокардиографические показатели АТ и АТ/ЕТ обладают высокой предсказательной способностью в оценке тяжелого АС у пациентов с сохранной ФВ ЛЖ. Однако предсказательная способность показателей АТ и АТ/ЕТ у пациентов с тяжелым АС со сниженным УО ЛЖ и сниженными трансортальными градиентами (когда на фоне сниженной ФВ или сниженного УО ЛЖ возможна недооценка трансортальных градиентов) остается неизученной. По нашему мнению, в этой когорте пациентов данные эхокардиографические показатели, в частности соотношение АТ/ЕТ, может быть наиболее полезно в дифференцировке тяжелого АС, так как данный показатель менее подвержен влиянию ФВ и УО ЛЖ.

Исследование S. Gamaza-Chuli и соавт. подтвердило наше предположение, продемонстрировав, что именно показатель АТ/ЕТ может быть точным методом в определении тяжести АС у пациентов со сниженным УО ЛЖ и сниженными трансортальными градиентами. Пороговое значение для определения тяжелого стеноза соотношения АТ/ЕТ  $> 0,35$  [20].

Аналогичные результаты были получены A. Altes и соавт., где было продемонстрировано, что показатель АТ/ЕТ может быть достаточно точным методом в определении тяжелого АС у пациентов со сниженным УО ЛЖ, а также значимым предиктором летальных событий. Пороговое значение для определения тяжелого стеноза соотношения АТ/ЕТ  $> 0,36$  [35].

Одним из ограничений нашего исследования является отсутствие анализа межисследовательской вариабельности, так как эхокардиографическое сканирование пациентов проводилось одним исследователем.

## Выводы

1. Эхокардиографические показатели АТ и АТ/ЕТ обладают сильной корреляционной связью с данными катетеризации и высокой предсказательной способностью тяжелого АС у пациентов с **сохранным ударным объемом ЛЖ и высокими трансортальными градиентами**.

2. Пороговые значения показателей АТ 105 мс и АТ/ЕТ 0,35 мс могут с высокой долей вероятности прогнозировать тяжелый АС.

## Участие авторов

Базылев В.В. – утверждение окончательного варианта статьи.

Бабуков Р.М. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования статистическая обработка данных написание текста, подготовка и редактирование текста.

Бартош Ф.Л. – ответственность за целостность всех частей статьи, участие в научном дизайне.

Лёвина А.В. – сбор и обработка данных, участие в научном дизайне.

## Authors' participation

Bazylev V.V. – approval of the final version of the article.

Babukov R.M. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, statistical analysis, writing text, text preparation and editing text preparation and editing.

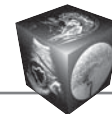
Bartosh F.L. – responsibility for the integrity of all parts of the article, participation in scientific design.

Levina A.V. – collection and analysis of data, participation in scientific design, text preparation and editing.

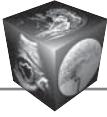
## Список литературы [References]

1. lung B., Vahanian A. Epidemiology of valvular heart disease in the adult. *Nat. Rev. Cardiol.* 2011; 8 (3): 162–172. <http://doi.org/10.1038/nrcardio.2010.202>
2. Nkomo V.T., Gardin J.M., Skelton T.N. et al. Burden of valvular heart diseases: a population-based study. *Lancet.* 2006; 368 (9540): 1005–1011. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)69208-8](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)69208-8)





3. Bonow R., Carabello B., Chatterjee K. et al. ACC/AHA 2006 practice guidelines for the management of patients with valvular heart disease: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 1998 Guidelines for the Management of Patients with Valvular Heart Disease). *J. Am. Coll. Cardiol.* 2006; 48: 598–675.
4. Nishimura R.A., Otto C.M., Bonow R.O. et al. 2014 AHA/ACC Guideline for the management of patients with valvular heart disease: executive summary. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation.* 2014; 129: 2440–2492. <http://doi.org/10.1161/CIR.000000000000029>
5. Baumgartner H., Falk V., Bax J.J. et al. Group ESCSD 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. Minners J., Allgeier M., Gohlke-Baerwolf C. et al. Inconsistent grading of aortic valve stenosis by current guidelines: haemodynamic studies in patients with apparently normal left ventricular function. *Heart.* 2010; 96 (18): 1463–1468. <http://doi.org/10.1136/hrt.2009.181982>
7. Ben Zekry S., Saad R., Oezkan M. et al. Flow acceleration tent grading of aortic valve stenosis by current guidelines: haemodynamic studies in patients with apparently normal left ventricular function. *Heart.* 2010; 96 (18): 1463–1468.
8. Lancellotti P., Magne J., Donal E. et al. Clinical outcome in asymptomatic severe aortic stenosis. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2012; 59 (3): 235–243. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.08.072>
9. Adda J., Mielot C., Giorgi R. et al. Low-flow, low-gradient severe aortic stenosis despite normal ejection fraction is associated with severe left ventricular dysfunction as assessed by speckle-tracking echocardiography. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2012; 5 (1): 27–35. <http://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.111.967554>
10. Eleid M., Sorajja P., Michelena H. et al. Flow-gradient patterns in severe aortic stenosis with preserved ejection fraction. Clinical characteristics and predictors of survival. *Circulation.* 2013; 128 (16): 1781–1789. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.003695>
11. Belkin R., Khalique O., Aronow W. et al. Outcomes and survival with aortic valve replacement compared with medical therapy in patients with low-, moderate-, and severe-gradient severe aortic stenosis and normal left ventricular ejection fraction. *Echocardiography.* 2011; 28 (4): 378–387. <http://doi.org/10.1111/j.1540-8175.2010.01372.x>
12. Barasch E., Fan D., Chukwu E.O. et al. Severe isolated aortic stenosis with normal left ventricular systolic function and low transvalvular gradients: pathophysiologic and prognostic insights. *J. Heart Valve Dis.* 2008; 17 (1): 81–88.
13. Burwash J., Dickson A., Teskey R. et al. Aortic valve area discrepancy by Gorlin equation and Doppler echocardiography continuity equation: relationship to flow in patients with valvular aortic stenosis. *Can. J. Cardiol.* 2000; 16 (8): 985–992.
14. Baumgartner H., Stefenelli T., Niederberger J. et al. “Overestimation” of catheter gradients by Doppler ultrasound in patients with aortic stenosis: a predictable manifestation of pressure recovery. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1999; 33 (6): 1655–1661. [http://doi.org/10.1016/s0735-1097\(99\)00066-2](http://doi.org/10.1016/s0735-1097(99)00066-2)
15. Yang C.S., Marshall E.S., Fanari Z. et al. Discrepancies Between Direct Catheter and Echocardiography Based Values in Aortic Stenosis. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2016; 87 (3): 488–497. <http://doi.org/10.1002/ccd.26033>
16. Hayek A., Derimay F., Green L. et al. Impact of Arterial Blood Pressure on Ultrasound Hemodynamic Assessment of Aortic Valve Stenosis Severity. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020; 33 (11): 1324–1333. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2020.06.013>
17. Utsunomiya H., Yamamoto H., Horiguchi J. et al. Underestimation of aortic valve area in calcified aortic valve disease: effects of left ventricular outflow tract ellipticity. *Int. J. Cardiol.* 2012; 157: 347–353. <http://doi.org/10.1016/j.ijcard.2010.12.071>
18. Chambers J.B. Aortic stenosis. *Eur. J. Echocardiogr.* 2009; 10 (1): i11–19. <http://doi.org/10.1093/ejehocard/jen240>
19. Gamaza-Chulián S., Camacho-Freire S., Toro-Cebada R. et al. Ratio of Acceleration Time to Ejection Time for Assessing Aortic Stenosis Severity. *Echocardiography.* 2015; 32 (12): 1754–1761. <http://doi.org/10.1111/echo.12978>
20. Gamaza-Chulián S., Díaz-Retamino E., Camacho-Freire S. et al. Acceleration time and ratio of acceleration time to ejection time in aortic stenosis: new echocardiographic diagnostic parameters. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2017; 30: 947–955. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2017.06.001>
21. Kim S.H., Kim J.S., Kim B.S. et al. Time to peak velocity of aortic flow is useful in predicting severe aortic stenosis. *Int. J. Cardiol.* 2014; 172: e443–e446. <http://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.12.318>
22. Baumgartner H., Hung J., Bermejo J. et al. Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis: a focused update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2017; 30 (4): 372–392. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2017.02.009>
23. Flohr K.H., Weir E.K., Chesler E. Diagnosis of aortic stenosis in older age groups using external carotid pulse recording and phonocardiography. *Br. Heart J.* 1981; 45: 577–582. <http://doi.org/10.1136/hrt.45.5.577>
24. Nakamura K., Shiina T., Satomi G. et al. Severity of aortic stenosis assessed by Doppler techniques. *J. Cardiol.* 1987; 17: 807–816.
25. Come P.C., Riley M.F., Ferguson J.F. et al. Prediction of severity of aortic stenosis: accuracy of multiple non-invasive parameters. *Am. J. Cardiol.* 1988; 85: 29–37. [http://doi.org/10.1016/0002-9343\(88\)90499-8](http://doi.org/10.1016/0002-9343(88)90499-8)
26. Hatle L., Angelsen B.A., Tromsdal A. Non-invasive assessment of aortic stenosis by Doppler ultrasound. *Br. Heart J.* 1980; 43 (3): 284–292. <http://doi.org/10.1136/hrt.43.3.284>
27. Zoghbi W.A., Chambers J.B., Dumesnil J.G. et al. Recommendations for evaluation of prosthetic valves with echocardiography and Doppler ultrasound: a report from the American Society of Echocardiography’s Guidelines and Standards Committee and the Task Force on Prosthetic Valves, developed in conjunction with the American College of Cardiology Cardiovascular Imaging



- Committee, Cardiac Imaging Committee of the American Heart Association, the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, the Japanese Society of Echocardiography and the Canadian Society of Echocardiography, endorsed by the American College of Cardiology Foundation, American Heart Association, European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, the Japanese Society of Echocardiography, and Canadian Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2009; 22: 975–1014. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2009.07.013>
28. Zekry S.B., Saad R.M., Ozkan M. et al. Flow acceleration time and ratio of acceleration time to ejection time for prosthetic aortic valve function. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2011; 4: 1161–1170. <http://doi.org/10.1016/j.jcmg.2011.08.012>
  29. Kamimura D., Hans S., Suzuki T. et al. Delayed time to peak velocity is useful for detecting severe aortic stenosis. *J. Am. Heart Assoc.* 2016; 5 (10): e003907. <http://doi.org/10.1161/JAHA.116.003907>
  30. Kim S.H., Kim J.S., Kim B.S. et al. Time to peak velocity of aortic flow is useful in predicting severe aortic stenosis. *Int. J. Cardiol.* 2014; 172: e443–e446.
  31. Ringle Griguer A., Tribouilloy C., Truffier A. et al. Clinical significance of ejection dynamics parameters in patients with aortic stenosis: an outcome study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2018; 31 (5): 551–560.e2. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2017.11.015>
  32. Sakthi C., Yee H., Kotlewski A. Overestimation of aortic valve gradient measured by Doppler echocardiography in patients with aortic stenosis. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2005; 65 (2): 176–179. <http://doi.org/10.1002/ccd.20324>
  33. Turi Z.G. Whom do you trust? Misguided faith in the catheter- or Doppler-derived aortic valve gradient. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2005; 65 (2): 180–182. <http://doi.org/10.1002/ccd.20386>
  34. Altes A., Thellier N., Bohbot Y. et al. Relationship between the ratio of acceleration time/ejection time and mortality in patients with high-gradient severe aortic stenosis. *J. Am. Heart Assoc.* 2021; 10 (23): e021873. <http://doi.org/10.1161/JAHA.121.021873>
  35. Altes A., Thellier N., Bohbot Y. et al. Prognostic Impact of the Ratio of Acceleration Time to Ejection Time in Patients With Low Gradient Severe Aortic Stenosis and Preserved Ejection Fraction. *Am. J. Cardiol.* 2019; 124 (10): 1594–1600. <http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2019.07.064>
  36. Einarsen E., Cramariuc D., Bahlmann E. et al. Higher acceleration/ejection time ratio predicts impaired outcome in aortic valve stenosis. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2021; 14 (1): e011467. <http://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.120.011467>

**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](mailto:cardio-penza@yandex.ru); [ruslan.babukov@mail.ru](mailto: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>

**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>

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

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

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

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

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

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

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