

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-957>

Сравнение эхокардиографического и катетерного методов в диагностике тяжелого стеноза аортального клапана

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

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

Цель исследования. 1. Оценить согласованность измерений, проведенных методом эхокардиографии, с данными катетеризации при тяжелом стенозе аорты.

2. Оценить, улучшается ли согласованность между методами после коррекции показателей на коэффициент восстановления давления.

3. Выявить факторы, влияющие на согласованность данных эхокардиографии и катетеризации.

Материал и методы. Проспективно были собраны данные 70 пациентов (из них 38 женщин), средний возраст 72 ± 6 лет, которым перед транскатетерной имплантацией аортального клапана (апикальным доступом) проводили катетеризацию сердца с одномоментным эхосканированием показателей, необходимых для оценки тяжести стеноза аортального клапана.

Критерии включения в исследование: изолированный стеноз аортального клапана с эхокардиографическими характеристиками, соответствующими тяжелому стенозу: эффективная площадь отверстия аортального клапана (ЕОА) $< 1 \text{ см}^2$, максимальный градиент на аортальном клапане (G_{\max}) $\geq 64 \text{ мм рт.ст.}$, средний градиент на аортальном клапане (G_{mean}) $\geq 40 \text{ мм рт.ст.}$

Критерии исключения: пациенты с индексированным ударным объемом ЛЖ к площади поверхности тела $< 35 \text{ мл/м}^2$, сниженной фракцией выброса $< 50\%$, пациенты с сочетанной нетривиальной регургитацией на аортальном и митральном клапанах и пациенты с сочетанным значимым стенозом митрального клапана, ускоренным кровотоком в выносящем тракте левого желудочка (выше $1,1 \text{ м/с}$) и постоянной формой фибрилляции предсердий.

Результаты. Метод линейной регрессии продемонстрировал слабую корреляционную связь между показателями G_{\max} (доплер) и ΔP_{mean} , $r = 0,48$, $p = 0,001$. Отмечались высокие значения средней разницы (СР) между двумя методами при сравнении Бленда–Альтмана (СР = $19 \pm 17 \text{ мм рт.ст.}$) и низкие значения внутриклассовой корреляции (ICC = $0,34$). После корректировки показателей G_{\max} (доплер) на коэффициент восстановления давления значительно улучшилась корреляционная связь между методами, $r = 0,84$, $p \leq 0,001$, отмечалось снижение показателей средней разницы между двумя методами (СР = $3,15 \pm 12 \text{ мм рт.ст.}$) с высокодостоверными значениями внутриклассовой корреляции (ICC = $0,89$).

Аналогично низкая корреляционная связь с высокими значениями средней разницы наблюдалась и при сравнении ЕОА (доплер) и ЕОА (катетеризация), $r = 0,55$, $p = 0,01$, СР = $0,21 \pm 0,15 \text{ см}^2$, ICC = $0,53$, с улучшением согласованности между методами после корректировки на коэффициент восстановления давления, $r = 0,9$, $p \leq 0,001$, СР = $0,04 \pm 0,08 \text{ см}^2$, ICC = $0,92$.

Сравнение показателей G_{mean} (доплер) с катетерным ΔP_{mean} продемонстрировало высокую корреляционную связь между методами, $r = 0,7$, $p \leq 0,001$, отмечались относительно низкие показатели средней разницы между двумя методами (СР = $7,2 \pm 22 \text{ мм рт.ст.}$) и значимая внутриклассовая корреляция (ICC = $0,72$).

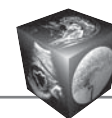
Методом анализа множественной регрессии выявлено, что диаметр синотубулярного соединения является значимым фактором, оказывающим влияние на согласованность данных эхокардиографии и катетеризации OR $1,2$ (95%ДИ $0,09; 2,9$).

Выводы

1. Показатели максимального доплеровского градиента (G_{\max}) и площадь эффективного отверстия (ЕОА) имеют низкую согласованность и слабую корреляционную связь с данными катетеризации, в отличие от показателей среднего доплеровского градиента (G_{mean}), которые имеют высокую согласованность с данными катетеризации.

2. После коррекции на коэффициент восстановления давления значительно улучшается согласованность между показателями G_{\max} и ЕОА с данными катетеризации.

3. Диаметр синотубулярного соединения является значимым фактором, влияющим на согласованность данных эхокардиографии и катетеризации, который необходимо учитывать при оценке тяжести стеноза аорты.



Ключевые слова: феномен восстановления давления, коэффициент потери энергии, средний трансортальный градиент, катетеризация левых камер сердца

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Базылев В.В., Бабуков Р.М., Бартош Ф.Л., Лёвина А.В. Сравнение эхокардиографического и катетерного методов в диагностике тяжелого стеноза аортального клапана. *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (3): 34–45. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-957>

Поступила в редакцию: 08.11.2020. **Принята к печати:** 11.07.2022. **Опубликована online:** 09.08.2022.

Comparison of echocardiographic and catheter methods in the diagnosis of severe aortic valve stenosis

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

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

Purpose. 1. Assess the consistency of echocardiographic measurements with catheterization data in severe aortic stenosis.

2. Assess if inter-method consistency improves after adjusting scores for the pressure recovery factor.

3. To identify factors affecting the consistency of echocardiography and catheterization data.

Materials and methods. Prospectively, 70 patients (mean age 72 ± 6 years, 38 females) have been included. All patient underwent cardiac catheterization with single-meter echoscanning of the parameters necessary to assess the severity of aortic valve stenosis before transcatheter aortic valve implantation. Inclusion criteria were isolated aortic stenosis (EOA $< 1 \text{ cm}^2$, $G_{\max} \geq 64 \text{ mm Hg}$, $G_{\text{mean}} \geq 40 \text{ mm Hg}$). Exclusion criteria were LV stroke volume index $< 35 \text{ ml/m}^2$ and a reduced EF $> 50\%$, concomitant nontrivial regurgitation of the aortic and mitral valves.

Result. The linear regression method showed a weak correlation between the G_{\max} (Doppler) and ΔP_{mean} indices, $r = 0.48$, $p = 0.001$. Revealed high values of the average difference between the two methods in comparison with the Bland–Altman (SR $19 \pm 17 \text{ mm Hg}$.) and low intraclass correlation values (ICC = 0.34). After adjusting the G_{\max} (Doppler) indices for the pressure recovery factor, the correlation between the methods $r = 0.84$, $p < 0.001$, significantly improved. There was a decrease in the mean indices, the difference between the two HR methods was ($3.15 \pm 12 \text{ mm Hg}$.) with highly significant intraclass correlation values (ICC = 0.89). Similarly, a low correlation with high values of the average difference was observed when comparing EOA (Doppler) and EOA (catheterization) $r = 0.55$, $p = 0.01$, SR $0.21 \pm 0.15 \text{ cm}^2$, ICC = 0.53. With an improvement in the correlation between the methods after adjustment for the pressure recovery coefficient, $r = 0.9$, $p < 0.001$, CP = $0.04 \pm 0.08 \text{ cm}^2$, ICC = 0.92. Comparison of G_{mean} (Doppler) indices with catheter ΔP_{mean} has showed a high correlation between the methods, $r = 0.7$, $p < 0.001$, there were relatively low indices of the average difference between the two methods of HR = $7.2 \pm 22 \text{ mm Hg}$ and a significant intraclass correlation (ICC = 0.72). The method of analysis of multiple regression revealed that the diameter of the sinotubular ridge was a significant factor affecting the correlation between echocardiography and catheterization data, OR 1.2 (CI 0.09; 2.9).

Conclusions

1. The maximum Doppler gradient (G_{\max}) and the effective orifice area (EOA) have low consistency and weak correlation with catheterization data, in contrast to the average Doppler gradient (G_{mean}) which have a high consistency with catheterization data.

2. After correcting for pressure recovery factor, there is a significant improvement in the consistency between G_{\max} and EOA with catheterization data.

3. The diameter of the sinotubular junction is a significant factor influencing the consistency of echocardiography and catheterization data, which must be taken into account when assessing the severity of aortic stenosis.

Keywords: the phenomenon of pressure recovery, energy loss coefficient, mean transaortic gradient, catheterization of the left chambers

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. Comparison of echocardiographic and catheter methods in the diagnosis of severe aortic valve stenosis. *Medical Visualization*. 2022; 26 (3): 34–45. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-957>

Received: 08.11.2020.

Accepted for publication: 11.07.2022.

Published online: 09.08.2022.



Введение

Метод катетеризации, исторически считавшийся “золотым стандартом” в оценке тяжести стеноза аортального клапана (АК), в настоящее время заменен на метод эхокардиографии. В настоящий момент текущие рекомендации по заболеваниям клапанов сердца не рекомендуют рутинные измерения гемодинамики клапанов методом катетеризации перед заменой АК, если нет расхождений между неинвазивными данными и клинической картиной [1–3]. Такой подход во многом основан на данных исследований 30-летней давности, которые продемонстрировали превосходную корреляцию в оценке тяжести клапанного стеноза аорты между эхокардиографическими и инвазивными методами [4–8]. Однако в более поздних исследованиях была отмечена плохая корреляционная связь между эхокардиографическими показателями и данными катетеризации [9–17]. В ряде исследований было показано, что основной причиной плохой согласованности между методами может быть феномен восстановления давления, когда при прохождении потока через стенозированный клапан при узкой аорте часть кинетической энергии преобразуется обратно в потенциальную, тем самым завышая градиент давления, полученный методом доплера. Метод же катетеризации измеряет гемодинамические показатели на несколько сантиметров выше клапана (3–5 см) и тем самым не подвергается воздействию данного феномена. Для коррекции вычислительных ошибок, связанных с этим феноменом, Н. Baumgartner и D. Garcia и соавт. разработали уравнение с поправкой на коэффициент восстановления градиента давления [18, 19]. Впоследствии ряд исследований продемонстрировал, что при коррекции на феномен восстановления давления по предложенной формуле отмечалось значительное улучшение в согласованности методов [20–22].

Однако на данный момент до сих пор ведутся споры по данному вопросу, так как большинство сравнительных исследований подверглось критике экспертов за неоптимальные методы измерения катетеризации, такие как проведенный в момент измерения через клапан катетер, из-за которого возможна потеря площади поперечного сечения, а также использование обратного катетера, а не одновременное измерение давления в левом желудочке (ЛЖ) и аорте [23, 24]. Кроме того, в большинстве из представленных исследований не проводились одномоментных измерений двумя методами, а сравнение эхокардиографических показателей было сделано исключительно с показателями пикового градиента катетериза-

ции, значения которого на сегодняшний день считаются неточными. Также при проведении эхокардиографических исследований могли присутствовать потенциальные технические проблемы: невозможность подбора оптимальной точки для оценки доплеровских градиентов на АК, ошибки в измерении точной площади выносящего тракта левого желудочка (ВТЛЖ), погрешности в измерениях, связанные с феноменом восстановления давления и т.д. [25]. Конечно же, любая из перечисленных погрешностей в существующих исследованиях могла спровоцировать ошибки в измерениях и привести к неправильным выводам. Учитывая недостаточную ясность в текущем вопросе и критику предыдущих исследований, мы решили провести исследование с одновременным измерением давления по обе стороны от клапана аорты и с регистрацией трансортальных градиентов давления эхокардиографическим методом.

Цель исследования

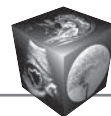
1. Оценить согласованность измерений, проведенных методом эхокардиографии, с данными катетеризации при тяжелом стенозе аорты.
2. Оценить, улучшается ли согласованность между методами после коррекции показателей на коэффициент восстановления давления.
3. Выявить факторы, влияющие на согласованность данных эхокардиографии и катетеризации.

Материал и методы

Проспективно были собраны данные 70 пациентов (из них 38 женщин), средний возраст 72 ± 6 лет, которым перед транскатетерной имплантацией АК (апикальным доступом) проводили катетеризацию сердца с одномоментным эхосканированием показателей, необходимых для оценки тяжести стеноза АК.

Критерии включения в исследование: изолированный стеноз АК с эхокардиографическими характеристиками, соответствующими тяжелому стенозу: эффективная площадь отверстия АК (EOA) $< 1 \text{ см}^2$, максимальный градиент на АК (G_{\max}) $\geq 64 \text{ мм рт.ст.}$, средний градиент на АК (G_{mean}) $\geq 40 \text{ мм рт.ст.}$

Критерии исключения: пациенты с индексированным ударным объемом ЛЖ к площади поверхности тела $< 35 \text{ мл/м}^2$, сниженной фракцией выброса $< 50\%$, пациенты с сочетанной нетривиальной регургитацией на аортальном и митральном клапанах и пациенты с сочетанным значимым стенозом митрального клапана, ускоренным кровотоком в ВТЛЖ (выше $1,1 \text{ м/с}$) и постоянной формой фибрилляции предсердий.



Эхокардиография. Всем пациентам проводили чреспищеводную эхокардиографию (ЧП ЭхоКГ) с использованием ультразвуковых аппаратов (Philips EPIQ7 US). Эхокардиографические измерения проводили в соответствии с рекомендациями Американского и Европейского обществ эхокардиографии [1]. Конечно-диастолический объем ЛЖ (КДОлж), конечно-систолический объем ЛЖ (КСОлж) и фракция выброса (ФВлж) вычислялись по методу Симпсона методом *Biplane*. Максимальный трансортальный градиент (G_{max}) и средний трансортальный градиент (G_{mean}) были получены из интегралов линейной скорости кровотока в соответствии с уравнением Бернулли. Измерение проводилось ЧП ЭхоКГ непрерывным волновым доплером на уровне АК в пятикамерной проекции. Ударный объем ЛЖ измеряли с помощью импульсного доплера в ВТЛЖ и индексировали на площадь поверхности тела. Эхокардиографические измерения гемодинамических показателей на АК проводили одновременно с катетеризацией левых отделов сердца.

Расчет площади эффективного отверстия АК (ЕОА) проводили с помощью уравнения непрерывности, придерживаясь всех условий для точного расчета по следующей формуле:

$$EOA = SV/VTI,$$

где SV – ударный объем ЛЖ, VTI – интеграл линейной скорости на АК.

Расчет площади эффективного отверстия с поправкой на коэффициент восстановления давления, именуемый коэффициентом потери энергии (ELCO), проводили по формуле, предложенной D. Garcia и соавт. [19]:

$$ELCO = (EOA \times AOA) / (AOA - EOA),$$

где EOA – площадь эффективного отверстия АК, вычисленная по уравнению непрерывности, AOA – площадь поперечного сечения аорты на уровне синотубулярного гребня.

Расчет AOA проводили по формуле:

$$AOA = \pi \times \text{диаметр синотубулярного гребня} / 2^2.$$

Расчет коэффициента восстановленного давления (PR) проводили по формуле, предложенной H. Baumgartner и соавт. [18]:

$$PR = 4V^2cw \times (2 \times EOA/AOA) \times (1 - EOA/AOA),$$

где V – максимальная скорость на АК.

Далее проводили вычисление скорректированных трансортальных градиентов (PRG_{max}) по формуле:

$$PRG_{max} = G_{max} - PR,$$

где G_{max} – максимальный трансортальный градиент, PRG_{max} – коэффициент восстановленного давления.

Для большей достоверности в расчетах в исследование были включены данные диаметра аорты, измеренные при помощи компьютерной томографии. Площадь поперечного сечения аорты вычислялась вручную по вышепредставленной формуле.

Катетеризация сердца. Катетеризация левых отделов сердца проводилась всем пациентам под общей анестезией при выполнении транскатетерной замены АК через апикальный доступ. Измерение гемодинамических показателей АК проводили одновременно двумя однопросветными катетерами, расположенными в ВТЛЖ и в проксимальном отделе восходящей аорты и заполненными жидкостью типа *Pig Tail* (размеры – 5 F). Катетер в левом желудочке был доставлен в ВТЛЖ через верхушку ЛЖ, второй был проведен в восходящий отдел аорты (примерно на 3–5 см выше АК) через бедренный доступ. Перед выполнением катетеризации была проведена калибровка и подтверждено одинаковое давление в просветах обоих катетеров. При проведении катетеризации вычислялись значения *Peak to Peak* и показатели среднего градиента катетеризации ΔP_{mean} . Однако в расчеты брали значение показателя среднего давления ΔP_{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 [26]:

$$Ao \text{ Valve Area (cm}^2\text{)} = \frac{CB (\pi/\text{мин})}{\sqrt{\text{средний градиент (мм рт.ст.)}}}$$

Статистика. База данных составлялась в виде электронных таблиц в программе Microsoft Office Excel 2007. Обработка данных производилась в демоверсии SPSS Statistics. 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 $p \leq 0,05$. Корреляция между измерениями эхокардиографией и катетеризацией оценивалась с помощью метода линейной регрессии с оценкой корреляции Пирсона (r) и дисперсионного компонентного анализа. Оценка согласованности этих измерений проводилась методом Бланда–Альтмана с построением диаграмм и вычислением среднего различия между методами (CP) и оцен-



кой абсолютной внутриклассовой корреляции (ICC). Для выявления значимых предикторов, уменьшающих согласованность методов, применяли метод множественной логистической регрессии. В качестве зависимых переменных были взяты показатели, характеризующие значимость при однофакторном регрессионном анализе (размер синусов Вальсальвы, синотубулярного соединения, восходящего отдела аорты).

Результаты

Средние значения показателей, полученных при эхокардиографии, составили: G_{\max} (доплер) $78 \pm 20,7$ мм рт.ст., G_{mean} (доплер) 47 ± 17 мм рт.ст., EOA $0,75 \pm 0,17$ см². PRG_{max} (доплер) $59,4 \pm 19$ мм рт.ст., ELCO $0,91 \pm 0,2$ см².

Средние значения показателей, вычисленных при катетеризации, составили: ΔP_{mean} 57 ± 24 мм рт.ст., EOA (катетеризация) $0,96 \pm 0,22$ см² (см. таблицу).

Таблица. Клинико-морфологические характеристики пациентов

Table. Clinical and morphological characteristics of patients

Показатели / Parameters	n = 70
Возраст, годы / Age, years	72 ± 6
ИМТ, кг/м ² / BMI, kg/m ²	31 ± 6
ППТ / BSA	1,86 ± 0,2
Сахарный диабет / Diabetes	10 (21%)
Артериальная гипертензия / Arterial hypertension	46 (100%)
Мультифокальный атеросклероз / Multifocal atherosclerosis	30 (65%)
Нарушение функции почек / Impaired kidney function	12 (26%)
ХОБЛ / COPD	15 (32%)
Пароксизмальная фибрилляция предсердий / Paroxysmal atrial fibrillation	30 (65%)
ФК2 (НУНА) / FC 2 (NYHA)	17 (37%)
ФК3 (НУНА) / FC 3 (NYHA)	29 (63%)
Шкала риска Euro SCORE / Euro SCORE	9,1 ± 5,0
Эхокардиографические показатели / Echocardiographic parameters	
КДО, мл / EDV, ml	108 ± 24
ФВ ЛЖ, % / EF LV, %	61 ± 9
иУОлж, мл/м ² / iSV LV, ml/ m ²	36 ± 4
GLS лж, % / GLS LV, %	13 ± 4
Индекс масса ЛЖ, г/м ² / LV mass index, g/ m ²	170 ± 42
G_{\max} , мм рт.ст. / G_{\max} , mm Hg	78 ± 20,7
PR G_{\max} , мм рт.ст. / PR G_{\max} , mm Hg	59 ± 19
G_{mean} , мм рт.ст. / G_{mean} , mm Hg	47 ± 17
EOA, вычисленный методом доплера, см ² / EOA, calculated by the Doppler method, cm ²	0,75 ± 0,17
EOA, вычисленный методом катетеризация, см ² / EOA, calculated by the catheterization method, cm ²	0,96 ± 0,22
ELCO, см ² / ELCO, cm ²	0,91 ± 0,2
ΔP_{mean} катетеризация, мм рт.ст. / ΔP_{mean} catheterization, mmHg	57 ± 24
Размер синусов Вальсальвы, мм / 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 / Size sinotubular junction, mm	25,6 ± 6
АТ / AT	117 ± 20
DVI (безразмерный индекс) / DVI	0,20 ± 0,06

Примечание. BSA – площадь поверхности тела, BMI – индекс массы тела ЛЖ, КДО – конечный диастолический объем ЛЖ, ФВ_{лж} – фракция выброса ЛЖ, иУОлж – индекс ударного объема ЛЖ, GLS_{лж} – глобальная продольная деформация ЛЖ, G_{\max} – максимальный трансортальный градиент, G_{mean} – средний трансортальный градиент давления, PR G_{\max} (доплер) – максимальный трансортальный градиент, скорректированный на коэффициент восстановления давления, EOA – 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), DVI – безразмерный индекс, ΔP_{mean} – средний градиент, вычисленный при катетеризации.

Note. BSA – body surface area, BMI – body mass index, EDV – end diastolic volume LV, EFLV – ejection fraction iSV LV – stroke volume index LV, GLS_{LV} – lobal longitudinal deformation of the LV, G_{\max} – maximum transaortic gradient, G_{mean} – mean transaortic pressure gradient, PRG_{max} (doppler) – is the maximum transaortic gradient corrected for the pressure recovery factor, EOA – aortic valve effective orifice area calculated by Doppler, ELCO – aortic valve effective orifice area, computed by Doppler corrected for pressure recovery factor, AT – acceleration time (time of maximum leaf opening), DVI – dimensionless index, ΔP_{mean} – mean transaortic gradient calculated during catheterization.

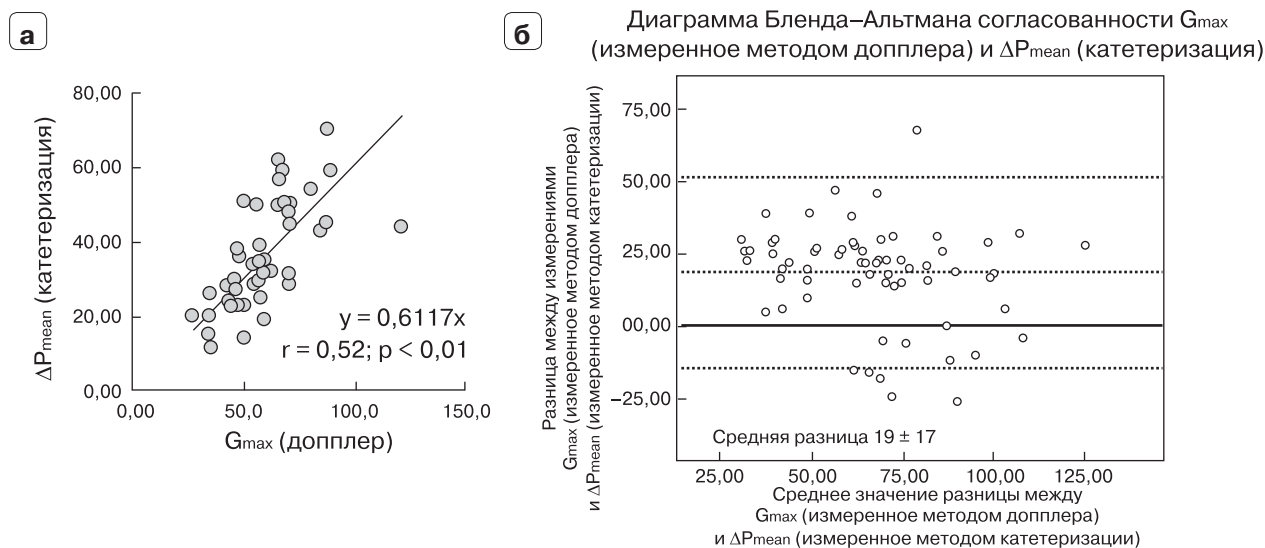
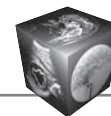


Рис. 1. График линейной регрессии и диаграмма Бленда–Альтмана сравнения показателей ΔP_{mean} и G_{max} .
Fig. 1. Linear regression plot and Blend–Altman diagram for comparison of ΔP_{mean} and G_{max} .

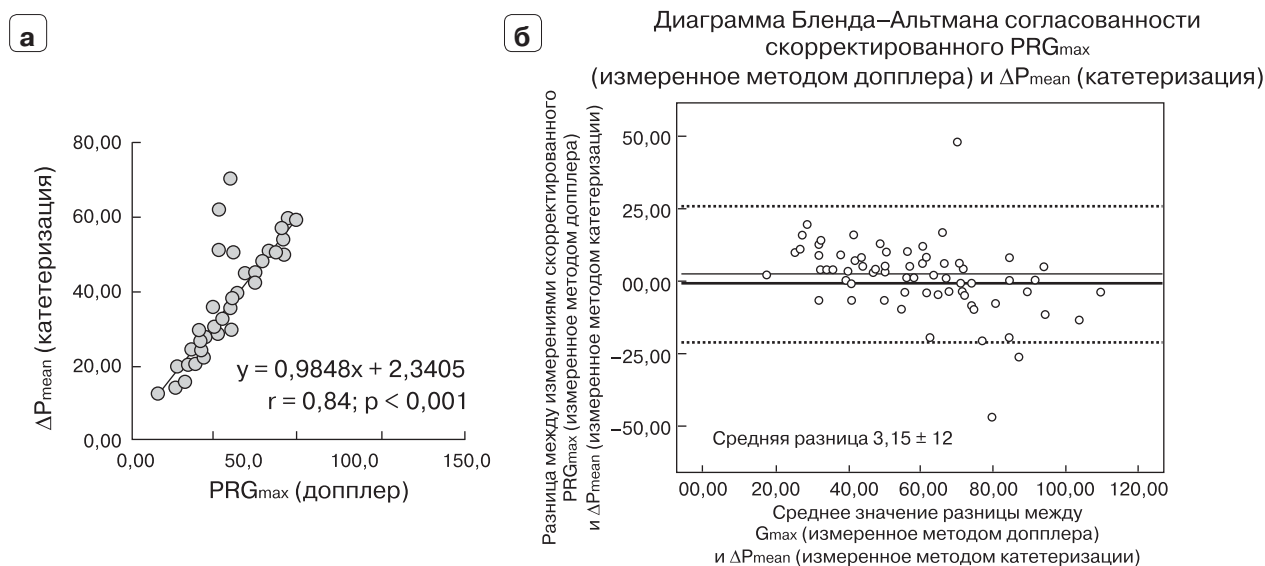
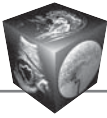


Рис. 2. График линейной регрессии и диаграмма Бленда–Альтмана сравнения показателей ΔP_{mean} и скорректированного PRG_{max}.
Fig. 2. Linear regression plot and Blend–Altman diagram comparing ΔP_{mean} and corrected PRG_{max}.

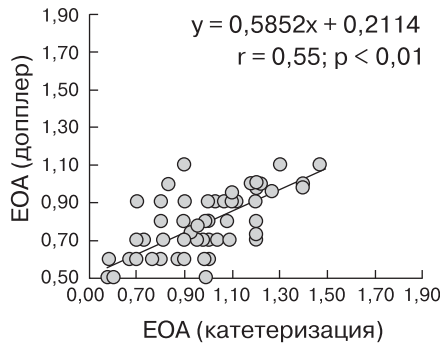
Метод линейной регрессии продемонстрировал слабую корреляционную связь между показателями G_{max} (доплер) и ΔP_{mean} , $r = 0,48$, $p = 0,001$, отмечались высокие значения средней разницы между двумя методами в сравнении Бленда–Альтмана ($CP = 19 \pm 17$ мм рт.ст.) и низкие значения внутриклассовой корреляции ($ICC = 0,34$) (рис. 1). После корректировки показателей G_{max} (доплер) на коэффициент восстановления дав-

ления значительно улучшилась корреляционная связь между методами, $r = 0,84$, $p \leq 0,001$, отмечалось снижение показателей средней разницы между методами ($CP = 3,15 \pm 12$ мм рт.ст.) с высокостатистически значимыми значениями внутриклассовой корреляции ($ICC = 0,89$) (рис. 2).

Аналогично низкая корреляционная связь с высокими значениями CP наблюдалась при сравнении EOA (доплер) и EOA (катетеризация), $r = 0,55$,



а



б

Диаграмма Бленда–Альтмана согласованности измерений между EQA (измеренное доплером) и EQA (измеренное методом катетеризации)

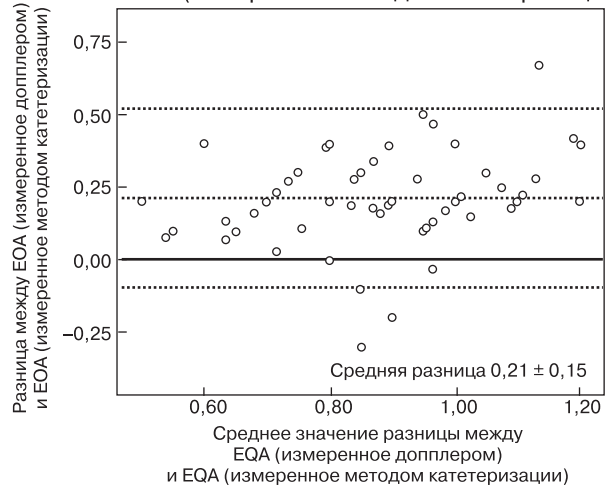
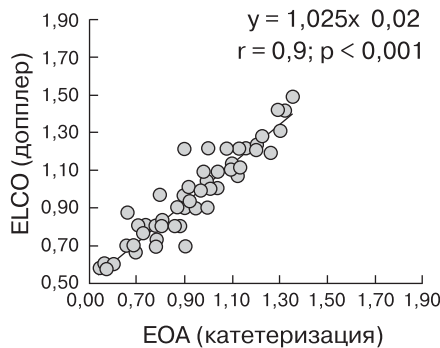


Рис. 3. График линейной регрессии и диаграмма Бленда–Альтмана сравнения показателей EOA (методом доплера) и EOA (методом катетеризации).

Fig. 3. Linear regression plot and Blend–Altman diagram comparing EOA (Doppler) and EOA (catheterization).

а



б

Диаграмма Бленда–Альтмана согласованности измерений между скорректированным PR EQA (измеренное доплером) и EQA (измеренное методом катетеризации)

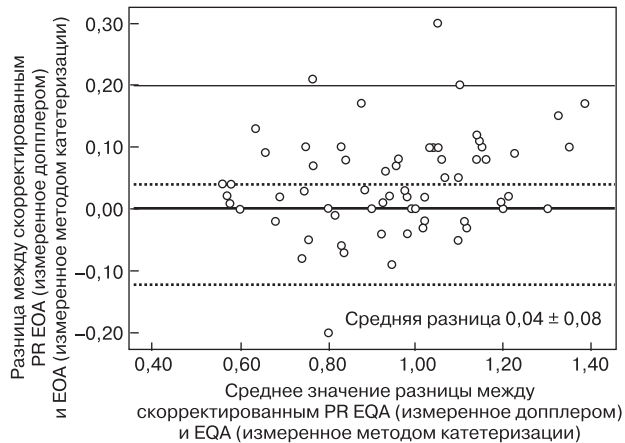


Рис. 4. График линейной регрессии и диаграмма Бленда–Альтмана сравнения показателей ELCO (методом доплера) и EOA (методом катетеризации).

Fig. 4. Linear Regression Plot and Bland–Altman diagram Comparison of ELCO (Doppler) and EOA (Catheterization).

$p = 0,01$, $CP = 0,21 \pm 0,15 \text{ см}^2$, $ICC = 0,53$ (рис. 3). С улучшением согласованности между методами после корректировки на коэффициент восстановления давления $r = 0,9$, $p \leq 0,001$, $CP = 0,04 \pm 0,08 \text{ см}^2$, $ICC = 0,92$ (рис. 4).

Сравнение показателей G_{mean} (доплер) с катетерным ΔP_{mean} продемонстрировал высокую кор-

реляционную связь между методами, $r = 0,7$, $p \leq 0,001$, отмечались относительно низкие показатели CP между двумя методами ($CP = 7,2 \pm 22 \text{ мм рт.ст.}$) и значимая внутриклассовая корреляция ($ICC = 0,72$) (рис. 5).

Методом анализа множественной регрессии выявлено, что диаметр синотобулярного соеди-

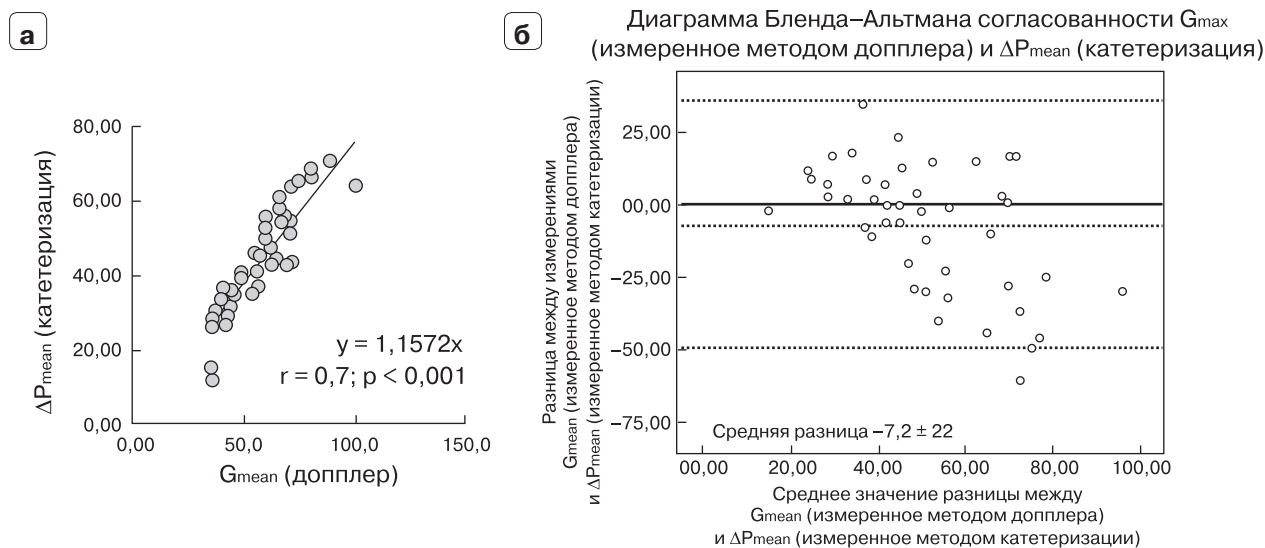
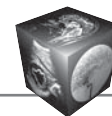


Рис. 5. График линейной регрессии и диаграмма Бленда–Альтмана сравнения показателей ΔP_{mean} и G_{mean} .
Fig. 5. Linear Regression Plot and Blend–Altman diagram Comparison of ΔP_{mean} and G_{mean} .

нения является значимым фактором, оказывающим влияние на согласованность данных эхокардиографии и катетеризации, OR 1,2 (95%ДИ 0,09; 2,9), $p = 0,02$.

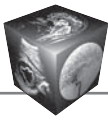
Обсуждение

Современные рекомендации по определению и ведению пациентов с тяжелым стенозом АК во многом основаны на данных, полученных при катетерных измерениях, а также на клинических исходах, связанных с этими измерениями [1–3]. После ряда сравнительных исследований с хорошей корреляцией между двумя методами значения тяжести стеноза, что были получены ранее при катетеризации, были экстраполированы на метод эхокардиографии [4–8]. Однако в более поздних исследованиях была отмечена плохая корреляционная связь между данными эхокардиографии и катетеризации. По данным некоторых из этих исследований методом катетеризации удалось реклассифицировать тяжесть аортального стеноза от 20 до 40% пациентов [9–17].

Такое разногласие в методах измерения могло привести к необоснованному оперативному вмешательству или, наоборот, к позднему оказанию хирургической помощи и дискриминировать метод эхокардиографии. Позднее на основе законов гидромеханики было доказано, что основной причиной такого разногласия между методами может являться феномен восстановления давления, возникающий из-за узкой аорты [18, 19]. В одном из крупных исследований P. Gjerthsson и соавт. было доказано, что наибольшие расхождения между

данными доплера и катетеризации наблюдаются у пациентов с аортами меньших размеров в синотубулярном соединении (диаметр ≤ 30 мм) [27]. В нашем исследовании методом множественной логистической регрессии также было подтверждено, что диаметр синотубулярного гребня является значимым фактором, влияющим на согласованность данных эхокардиографии и катетеризации у пациентов Normal Flow High Gradient.

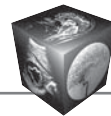
Согласно современным представлениям гидромеханики, конвергенция потока через стенозированный клапан к самой узкой части, называемой венной контрактой (VC), в дальнейшем преобразует потенциальную энергию в кинетическую, что приводит к снижению давления в контрактной вене. Однако при узкой аорте возможно обратное преобразование части кинетической энергии в потенциальную с восстановлением части давления, потерянного при прохождении потока из ВТЛЖ в VC. Поскольку методы на основе доплера оценивают показатели в области VC, за счет феномена восстановления давления градиенты давления могут быть завышены, а значения площади отверстия EOA (доплер) могут быть ниже истинной площади отверстия. Метод же катетеризации измеряет гемодинамические показатели на несколько сантиметров выше зоны преобразования энергии (VC), соответственно, полученные гемодинамические показатели (трансаортальных градиентов давления и площади отверстия EOA) не будут подвержены влиянию феномена восстановления давления и будут близки к истинным значениям. Степень восстановления давления определяется



соотношением между эффективной площадью отверстия клапана и площадью поперечного сечения восходящей аорты (в области синотубулярного гребня). Соответственно, величина коэффициента восстановления давления (PR) увеличивается по мере возрастания отношения площади поперечного сечения восходящей аорты (АОА) к площади эффективного отверстия АК (ЕОА). В нескольких исследованиях было доказано, что доплеровские и катетерные измерения площади АК могут варьироваться до 50% в зависимости от размера аорты и тяжести аортального стеноза [28, 29]. На основе концепций гидромеханики и феномена восстановления давления Н. Baumgartner и соавт. разработали уравнение для расчета погрешности в измерениях трансортальных градиентов при узкой аорте [18]. Несколько позже D. Garcia и соавт. разработали уравнение для коррекции феномена восстановления давления при расчете ЕОА, измеренного доплерографически. Эту площадь скорректированного отверстия назвали “коэффициентом потери энергии” ELCO [19, 30]. Впоследствии было показано, что ELCO и скорректированные показатели трансортальных градиентов лучше коррелируют с инвазивными измерениями, а также являются клиническими маркерами тяжести заболевания у пациентов с аортальным стенозом [20–22, 31–36].

Несмотря на доказательную базу, до сих пор ведутся споры по данному вопросу, так как большинство сравнительных исследований подверглось значительной критике экспертов из-за причин, описанных выше, во введении. Наше исследование отличалось от предыдущих тем, что пациенты, включенные в него, подвергались одновременному измерению давления с ЛЖ и аорты, не пересекая при этом клапан аорты. Кроме того, в отличие от многих предыдущих исследований, мы проводили одномоментное измерение гемодинамических показателей двумя методами с учетом феномена восстановления давления. Это позволило нам избежать большинства потенциальных серьезных ограничений, которые были ранее. В нашем исследовании мы сравнивали только показатели среднего давления катетеризации (ΔP_{mean}), так как, согласно современным представлениям, значение показателя от Peak to Peak не совсем достоверно отображает тяжесть стеноза АК. По результатам нашего исследования показатели G_{max} (доплер) и ЕОА (доплер) имеют плохую согласованность с данными катетеризации, что можно объяснить значимым влиянием феномена восстановления давления, так как около 60% осмотренных пациентов имели узкий синотубулярный гребень менее 30 мм (с разбросом

диаметра от 22 до 33 мм). Наше предположение подтверждает тот факт, что после корректировки эхокардиографических показателей G_{max} и ЕОА на феномен восстановления давления отмечалось значительное улучшение их согласованности с данными катетеризации. Хотя может показаться, что абсолютные различия в значениях ЕОА между двумя методами не очень велики (средняя разница между методами $0,2 \text{ см}^2$), хотелось бы подчеркнуть, что в этом измерении они все равно могут привести к очень разным стратегиям лечения. Например, значение ЕОА $0,9 \text{ см}^2$, согласно современным рекомендациям, требует оперативного лечения, тогда как при значении ЕОА более 1 см^2 возможна выжидательная тактика [2, 3]. В нашем исследовании после коррекции ЕОА на коэффициент восстановления давления нам удалось рекласифицировать тяжесть стеноза у 22% пациентов с тяжелого на умеренный, практически у каждого четвертого пациента расчетные эхокардиографические параметры превышали значения степени тяжести стеноза АК. Различия между методами на $0,2 \text{ см}^2$ были выявлены у 19% пациентов и на $0,3\text{--}0,4 \text{ см}^2$ – у 3% пациентов. Разница между некоторыми сравнениями G_{max} (доплер) с градиентом катетеризации ΔP_{mean} превышала 30%. Интересно отметить, что показатели среднего градиента по доплеру G_{mean} (доплер) без поправки на феномен восстановления давления оказались более согласованными с показателями катетеризации в отличие от максимального градиента G_{max} (доплер). Во многом это объяснимо тем, что доплеровский средний градиент генерируется как среднее значение мгновенных градиентов во время сердечного выброса и тем самым, возможно, менее подвержен воздействию феномена восстановления давления. Считается, что средний трансортальный градиент давления демонстрирует более высокое постоянство, чем систолический пиковый градиент давления при отражении тяжести аортального стеноза [37]. Результаты нашего исследования согласуются с данными исследования С.-S. Yang и соавт. (которые использовали аналогичный метод катетеризации), где было продемонстрировано, что средний градиент, полученный с помощью доплера, лучше всего согласуется с градиентами, полученными при катетеризации [13]. Учитывая результаты нашего исследования, нужно помнить, что параметры, полученные при эхокардиографии (в частности, показатели G_{max} и площадь отверстия ЕОА), плохо коррелируют с данными катетеризации при малых размерах диаметра аорты. Поэтому для получения приближенных к катетеризации показателей необходимо прово-



дить перерасчет с поправкой на коэффициент восстановления давления. При расчете тяжести стеноза АК необходимо отдавать предпочтение показателям среднего трансортального градиента, так как они лучше согласуются с данными катетеризации.

Выводы

1. Показатели максимального доплеровского градиента (G_{max}) и площадь эффективного отверстия (ЕОА) имеют низкую согласованность и слабую корреляционную связь с данными катетеризации, в отличие от показателей среднего доплеровского градиента (G_{mean}), который имеет высокую согласованность с данными катетеризации.

2. После коррекции на коэффициент восстановления давления значительно улучшается согласованность между показателями G_{max} и ЕОА с данными катетеризации.

3. Диаметр синотобулярного соединения является значимым фактором, влияющим на согласованность данных эхокардиографии и катетеризации, который необходимо учитывать при оценке тяжести стеноза аорты.

Участие авторов

Базылев В.В. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

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

Бартош Ф.Л. – участие в научном дизайне, сбор и обработка данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Лёвина А.В. – сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста.

Authors' participation

Bazylev V.V. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Babukov R.M. – concept and design of the study, statistical analysis, writing text, responsibility for the integrity of all parts of the article preparation and creation of the published work analysis and interpretation of the obtained data.

Bartosh F.L. – participation in scientific design, collection and analysis of data, approval of the final version of the article.

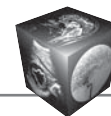
Levina A.V. – collection and analysis of data, text preparation and editing.

Список литературы [References]

1. 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>
2. Nishimura R.A., Otto C.M., Bonow R.O. et al. 2017 AHA/ACC Focused Update of the 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017; 70 (2): 252–289. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.03.011>
3. Baumgartner H., Falk V., Bax J.J. et al. Guidelines for the Management of Valvular Heart Disease: The Task Force for the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur. Heart J.* 2017; 38 (36): 2739–2791. <http://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx391>
4. Zoghbi W.A., Farmer K.L., Soto J.G. et al. Accurate noninvasive quantification of stenotic aortic valve area by Doppler echocardiography. *Circulation.* 1986; 73: 452–459. <http://doi.org/10.1161/01.cir.73.3.452>
5. Currie P.J., Seward J.B., Reeder G.S. et al. Continuous-wave Doppler echocardiographic assessment of severity of calcific aortic stenosis: a simultaneous Doppler-catheter correlative study in 100 adult patients. *Circulation.* 1985; 71: 1162–1169. <http://doi.org/10.1161/01.cir.71.6.1162>
6. Jaffe W.M., Roche A.H., Coverdale H.A. et al. Clinical evaluation versus Doppler echocardiography in the quantitative assessment of valvular heart disease. *Circulation.* 1988; 78: 267–275. <http://doi.org/10.1161/01.cir.78.2.267>
7. Oh J.K., Taliencio C.P., Holmes D.R. Jr. et al. Prediction of the severity of aortic stenosis by Doppler aortic valve area determination: prospective Doppler-catheterization correlation in 100 patients. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1988; 11: 1227–1234. [http://doi.org/10.1016/0735-1097\(88\)90286-0](http://doi.org/10.1016/0735-1097(88)90286-0)
8. Skjaerpe T., Hegrenaes L., Hatle L. Noninvasive estimation of valve area in patients with aortic stenosis by Doppler ultrasound and two-dimensional echocardiography. *Circulation.* 1985; 72: 810–818. <http://doi.org/10.1161/01.cir.72.4.810>
9. 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: 1463–1468. <http://doi.org/10.1136/hrt.2009.181982>
10. Fischer J.L., Haberer T., Dickson D., Henselmann L. Comparison of Doppler echocardiographic methods with heart catheterisation in assessing aortic valve area in 100 patients with aortic stenosis. *Br. Heart J.* 1995; 73: 293–298. <http://dx.doi.org/10.1136/hrt.73.3.293>
11. 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; 8: 985–992. PMID: 10978934



12. 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: 1655–1661. [http://doi.org/10.1016/s0735-1097\(99\)00066-2](http://doi.org/10.1016/s0735-1097(99)00066-2)
13. 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>
14. Gertz Z.M., Raina A., O'Donnell W. et al. Comparison of invasive and noninvasive assessment of aortic stenosis severity in the elderly. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2012; 5 (3): 406–414. <http://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.111.967836>
15. Schlingmann T.R., Gauvreau K., Colan S.D., Powell A.J. Correction of Doppler Gradients for Pressure Recovery Improves Agreement with Subsequent Catheterization Gradients in Congenital Aortic Stenosis. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28 (12): 1410–1417. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2015.08.016>
16. Singh G.K., Mowers K.L., Marino C. et al. Effect of Pressure Recovery on Pressure Gradients in Congenital Stenotic Outflow Lesions in Pediatric Patients-Clinical Implications of Lesion Severity and Geometry: A Simultaneous Doppler Echocardiography and Cardiac Catheter Correlative Study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020; 33 (2): 207–217. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2019.09.001>
17. Kume T., Okura H., Kawamoto T. et al. Clinical implication of energy loss coefficient in patients with severe aortic stenosis diagnosed by Doppler echocardiography. *Circ. J.* 2008; 72 (8): 1265–1269. <http://doi.org/10.1253/circj.72.1265>. Erratum in: *Circ. J.* 2008; 72 (10): 1723.
18. 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. *JACC.* 1999; 33: 1655–1661.
19. Garcia D., Pibarot P., Dumesnil J.G. et al. Assessment of aortic valve stenosis severity: A new index based on the energy loss concept. *Circulation.* 2000; 101: 765–771. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.101.7.765>
20. Villavicencio R.E., Forbes T.J., Thomas R.L., Humes R.A. Pressure recovery in pediatric aortic valve stenosis. *Pediatr. Cardiol.* 2003; 24 (5): 457–462. <http://doi.org/10.1007/s00246-002-0361-7>
21. Singh G.K., Mowers K.L., Marino C. et al. Effect of Pressure Recovery on Pressure Gradients in Congenital Stenotic Outflow Lesions in Pediatric Patients – Clinical Implications of Lesion Severity and Geometry: A Simultaneous Doppler Echocardiography and Cardiac Catheter Correlative Study. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2020, 33 (2), 207–217. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2019.09.001>
22. Kume T., Okura H., Kawamoto T. et al. Clinical implication of energy loss coefficient in patients with severe aortic stenosis diagnosed by Doppler echocardiography. *Circ. J.* 2008; 72 (8): 1265–1269. <http://doi.org/10.1253/circj.72.1265>
23. 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>
24. 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>
25. Smith M.D., Kwan O.L., DeMaria A.N. Value and limitations of continuous-wave Doppler echocardiography in estimating severity of valvular stenosis. *JAMA.* 1986; 255: 3145–3151. PMID: 3702026
26. Gorlin R., Gorlin S.G. Hydraulic formula for calculation of the area of the stenotic mitral valve, other cardiac valves, and central circulatory shunts. I. *Am. Heart J.* 1951; 41 (1): 1–29. [http://doi.org/10.1016/0002-8703\(51\)90002-6](http://doi.org/10.1016/0002-8703(51)90002-6)
27. Gjørtsson P., Caidahl K., Svensson G. et al. Important pressure recovery in patients with aortic stenosis and high Doppler gradients. *Am. J. Cardiol.* 2001; 88 (2): 139–144. [http://doi.org/10.1016/s0002-9149\(01\)01608-3](http://doi.org/10.1016/s0002-9149(01)01608-3)
28. Pibarot P., Dumesnil J.G. New concepts in valvular hemodynamics: implications for diagnosis and treatment of aortic stenosis. *Can. J. Cardiol.* 2007; 23 (Suppl B): 40B–47B. [http://doi.org/10.1016/s0828-282x\(07\)71009-7](http://doi.org/10.1016/s0828-282x(07)71009-7)
29. Garcia D., Kadem L. What do you mean by aortic valve area: geometric orifice area, effective orifice area, or gorlin area? *J. Heart Valve Dis.* 2006; 15 (5): 601–608. PMID: 17044363
30. Garcia D., Dumesnil J.G., Durand L.G. et al. Discrepancies between catheter and Doppler estimates of valve effective orifice area can be predicted from the pressure recovery phenomenon: practical implications with regard to quantification of aortic stenosis severity. *JACC.* 2003; 41: 435–442. [http://doi.org/10.1016/s0735-1097\(02\)02764-x](http://doi.org/10.1016/s0735-1097(02)02764-x)
31. Bach D.S. Echo/Doppler evaluation of hemodynamics after aortic valve replacement: principles of interrogation and evaluation of high gradients. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2010; 3: 296–304. <http://doi.org/10.1016/j.jcmg.2009.11.009>
32. Bahlmann E., Cramariuc D., Gerds E. et al. Impact of pressure recovery on echocardiographic assessment of asymptomatic aortic stenosis: a SEAS substudy. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2010; 3: 555–562. <http://doi.org/10.1016/j.jcmg.2009.11.019>
33. Bahlmann E., Gerds E., Cramariuc D. et al. Prognostic value of energy loss index in asymptomatic aortic stenosis. *Circulation.* 2013; 127: 1149–1156. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.112.078857>
34. Razzolini R., Manica A., Tarantini G. et al. Discrepancies between catheter and Doppler estimates of aortic stenosis: the role of pressure recovery evaluated 'in vivo'. *J. Heart Valve Dis.* 2007; 16: 225–229. [http://doi.org/10.1016/s0735-1097\(02\)02764-x](http://doi.org/10.1016/s0735-1097(02)02764-x)
35. Spevack D.M., Almuti K., Ostfeld R. et al. Routine adjustment of Doppler echocardiographically derived aortic valve area using a previously derived equation to account for the effect of pressure recovery. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008; 21: 34–37. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2007.04.031>
36. Dumesnil J.G., Pibarot P., Akins C. New approaches to quantifying aortic stenosis severity. *Curr. Cardiol. Rep.* 2008; 10: 91–97. <http://doi.org/10.1007/s11886-008-0017-1>
37. Otto C.M. Valvular aortic stenosis: disease severity and timing of intervention. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2006; 47: 2141–2151 <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2006.03.002>



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>

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; ruslan.babukov@mail.ru

Vladlen V. Bazylev – Doct. of Sci. (Med.), Chief doctor of the Federal Centre for Cardiovascular Surger, Penza. <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. <https://orcid.org/0000-0001-5482-3211>

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

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