

## Смысл расчетных показателей, основанных на соотношениях, в кардиологии

Конради А. О.<sup>1</sup>, Маслянский А. Л.<sup>1</sup>, Колесова Е. П.<sup>1</sup>, Шляхто Е. В.<sup>1</sup>, Peter L. M. Kerkhof<sup>2</sup>

В исследованиях сердечно-сосудистой системы зачастую проводится регистрация двух связанных параметров, определяющих одну физическую переменную. Интерпретация расчетных показателей в виде соотношений и разницы является сложной задачей в связи с тем, что они могут быть связаны с несколькими комбинациями первичных данных, дающих одно и то же значение.

**Цель.** Поиск метода преодоления этого ограничения и применения более комплексного подхода.

**Материал и методы.** Мы проанализировали показатели измерений объема левого желудочка и артериального давления (АД) у 275 пациентов (из них 207 женщин), полученных с помощью эхокардиографии и манжетного тонометра. Для вычисления вспомогательного значения (компаньона, с), основанного на разнице или безразмерном соотношении, мы применили теорему Пифагора. Недостающий компаньон определяется как гипотенуза в каждой исследуемой области. Так, для расчета компаньона пульсового давления (ПД) была использована формула:  $ПД(с) = \sqrt{САД^2 + ДАД^2}$ . Аналогичные методы применялись к фракции выброса (ФВ), давлению аугментации (ДА) и отношению ДА/ПД, таким образом, получив индекс аугментации (ИА).

**Результаты.** 1) Среднее АД (срАД) выступает в качестве «суррогата» для компаньона значения пульсового давления (ПДс), ( $R=0,970$ ,  $N=257$ ). 2) Нами были выявлены корреляции ПДс со скоростью распространения пульсовой волны (СРПВ) ( $R=0,397$ ,  $N=193$ ), и ДАс с ИАх75с ( $R=0,662$ ,  $N=198$ ). 3) ФВ имеет обратную связь с конечным диастолическим объемом (КДО) ( $R=-0,559$ ,  $N=187$ ), а вентрикуло-артериальное сопряжение (ВАС) коррелирует с конечным систолическим объемом ( $r=-0,627$ ,  $N=180$ ). 4) При сравнении значений КДО и ВАСс, был получен  $R=0,949$ .

**Заключение.** Рассчитанные на основе имеющихся данных компаньоны могут иметь существенное дополнительное диагностическое значение без необходимости производить дополнительные измерения. Важно отметить, что сочетание традиционных, основанных на соотношении (ratio-based), и предложенных компаньонов позволяет получить более точную характеристику отдельных пациентов.

**Ключевые слова:** фракция выброса, среднее артериальное давление, пульсовое давление, индекс аугментации, скорость распространения пульсовой волны, статистика.

**Отношения и деятельность.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-75-30052).

<sup>1</sup>ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; <sup>2</sup>Медицинский центр Амстердамского университета, VUmc, Dept. Радиология и Ядерная Медицина, Амстердам, Нидерланды.

Конради А. О.\* — д.м.н., профессор, член-корр. РАН, зам. генерального директора по научной работе, ORCID: 0000-0001-8169-7812, Маслянский А. Л. — д.м.н, зав. научно-исследовательской лабораторией ревматологии и иммунопатологии, ORCID: 0000-0003-2427-4148, Колесова Е. П. — к.м.н., врач-кардиолог, н.с. НИЛ Эпидемиологии неинфекционных заболеваний, ORCID: 0000-0002-1073-3844, Шляхто Е. В. — д.м.н., академик РАН, генеральный директор, ORCID: 0000-0003-2929-0980, Peter L. M. Kerkhof — BM, PhD, VUmc, Dept. Radiology & Nuclear Medicine, ORCID: 0000-0001-9488-633X.

\*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):  
konradi@almazovcentre.ru

ИАс — индекс аугментации (компаньон), ДАс — давление аугментации (компаньон), АД — артериальное давление, САД — систолическое артериальное давление, ДАД — диастолическое артериальное давление, ФВс — фракция выброса (компаньон), КДОi — конечный диастолический объем (индекс), КСОi — конечный систолический объем (индекс), ЛЖ — левый желудочек, срАД — среднее артериальное давление, ТП — точка перегиба, ПДс — пульсовое давление (компаньон), СРПВ — скорость распространения пульсовой волны, УОi — ударный объем (компаньон), ВАСс — вентрикуло-артериальное сопряжение (компаньон).

Рукопись получена 25.05.2020

Рецензия получена 06.06.2020

Принята к публикации 01.07.2020



**Для цитирования:** Конради А. О., Маслянский А. Л., Колесова Е. П., Шляхто Е. В., Peter L. M. Kerkhof. Смысл расчетных показателей, основанных на соотношениях, в кардиологии. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(10):3929. doi:10.15829/1560-4071-2020-3929

## Role of ratio-based metrics in cardiology

Konradi A. O.<sup>1</sup>, Maslyansky A. L.<sup>1</sup>, Kolesova E. P.<sup>1</sup>, Shlyakhto E. V.<sup>1</sup>, Peter L. M. Kerkhof<sup>2</sup>

In cardiovascular studies, two related parameters that determine the same physical variable are often recorded. Interpretation of the calculated indicators presented in the form of ratios and differences is difficult, since they can be associated with several combinations of primary data giving the same value.

**Aim.** To find a way to overcome this limitation and take a more comprehensive approach.

**Material and methods.** We analyzed the data on left ventricular volume and blood pressure (BP) in 275 patients (women — 207), obtained using echocardiography and BP monitor. To calculate a lost companion (c) value based on a difference or dimensionless ratio, we applied the Pythagorean theorem. The lost companion is defined as the hypotenuse in each study area. To calculate the pulse pressure companion (PP), the following formula was used:  $PP(c) = \sqrt{SBP^2 + DBP^2}$ . Similar methods were applied to ejection fraction (EF), augmentation pressure (AG) and AG/PP ratio, resulting in the ratio called augmentation index (AIx).

**Results.** 1. Mean blood pressure (MBP) acts as a surrogate for the PP companion (PPc) values ( $R=0,970$ ,  $N=257$ ). 2. We have identified correlations between PPc and pulse wave velocity ( $R=0,397$ ,  $N=193$ ), and AGc with AIx (75) ( $R=0,662$ ,  $N=198$ ). 3. EF has an inverse relationship with the end diastolic volume (EDV) ( $R=-0,559$ ,  $N=187$ ), and the ventricular-arterial coupling (VAC) correlates with ESV ( $r=-0,627$ ,  $N=180$ ). 4. Comparison of EDV and VACc revealed  $R$  of 0,949.

**Conclusion.** Companions calculated from the available data can have significant additional diagnostic value without the need for additional measurements. It is important to note that the combination of traditional ratio-based and suggested companions allows for more accurate data on individual patients.

**Key words:** ejection fraction, mean blood pressure, pulse pressure, augmentation index, pulse wave velocity, statistics.

**Relationships and Activities.** The study was supported by the Russian Science Foundation (project № 17-75-30052).

\*Corresponding author:  
konradi@almazovcentre.ru

<sup>1</sup>Almazov National Medical Research, St. Petersburg, Russia; <sup>2</sup>Department of Radiology and Nuclear Medicine, Amsterdam Cardiovascular Sciences, Amsterdam University Medical Centers, VUmc, Amsterdam, The Netherlands.

Konradi A. O.\* ORCID: 0000-0001-8169-7812, Maslyansky A. L. ORCID: 0000-0003-2427-4148, Kolesova E. P. ORCID: 0000-0002-1073-3844, Shlyakhto E. V. ORCID: 0000-0003-2929-0980, Peter L. M. Kerkhof ORCID: 0000-0001-9488-633X.

**Received:** 25.05.2020 **Revision Received:** 06.06.2020 **Accepted:** 01.07.2020

**For citation:** Konradi A. O., Maslyansky A. L., Kolesova E. P., Shlyakhto E. V., Peter L. M. Kerkhof. Role of ratio-based metrics in cardiology. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(10):3929. (In Russ.) doi:10.15829/1560-4071-2020-3929

Измерение артериального давления (АД) и оценка размера левого желудочка (ЛЖ) являются стандартной процедурой обследования пациентов с подозрением на сердечно-сосудистую патологию, а также для оценки динамики данных показателей у пациентов с уже известным сердечно-сосудистым заболеванием. Стадийность оценки объема ЛЖ и измерения артериального давления (АД) привела к разработке усовершенствованных методов анализа, включая концепцию эластичности, меняющейся во времени [1].

Однако для повседневной практики были разработаны более простые способы. Так, значения систолического (САД) и диастолического артериального давления (ДАД) были объединены для получения дополнительных показателей, таких как пульсовое давление (ПД), индекс аугментации (ИА) и среднее артериальное давление (срАД). Аналогично, конечный систолический объем (КСО) и конечный диастолический объем (КДО) ЛЖ используются для определения значений ударного объема (УО) и фракции выброса (ФВ) ЛЖ.

Все чаще признается, что полученные показатели, основанные на разнице или безразмерном соотношении, на самом деле не являются новой характеристикой, а получены путем простых математических манипуляций с исходными данными. Однако это означает, что преобразованные данные в лучшем случае предоставляют ту же информацию, что и исходные, и могут даже вводить в заблуждение. Для того, чтобы прояснить этот момент, категорию показателей, основанных на соотношении, таких как ИА, вентрикуло-артериальное сопряжение (ВАС) и ФВ, лучше всего представить в виде полярных координат для давления [2], эластичности и объема, соответственно [3]. То же самое относится и к разностям, таким как ПД или УО. Знание основ трансформации не только помогает понять ограничения разностей и безразмерных соотношений, но также проясняет связь между различными показателями, которые обычно используются. В следующем разделе будут изложены свойства преобразования полярных координат, а также будут представлены иллюстрированные примеры, полученные из клинических исследований.

## Материал и методы

**Теоретическое обоснование.** Чтобы понять, как две переменные могут описать две связанные стороны био-

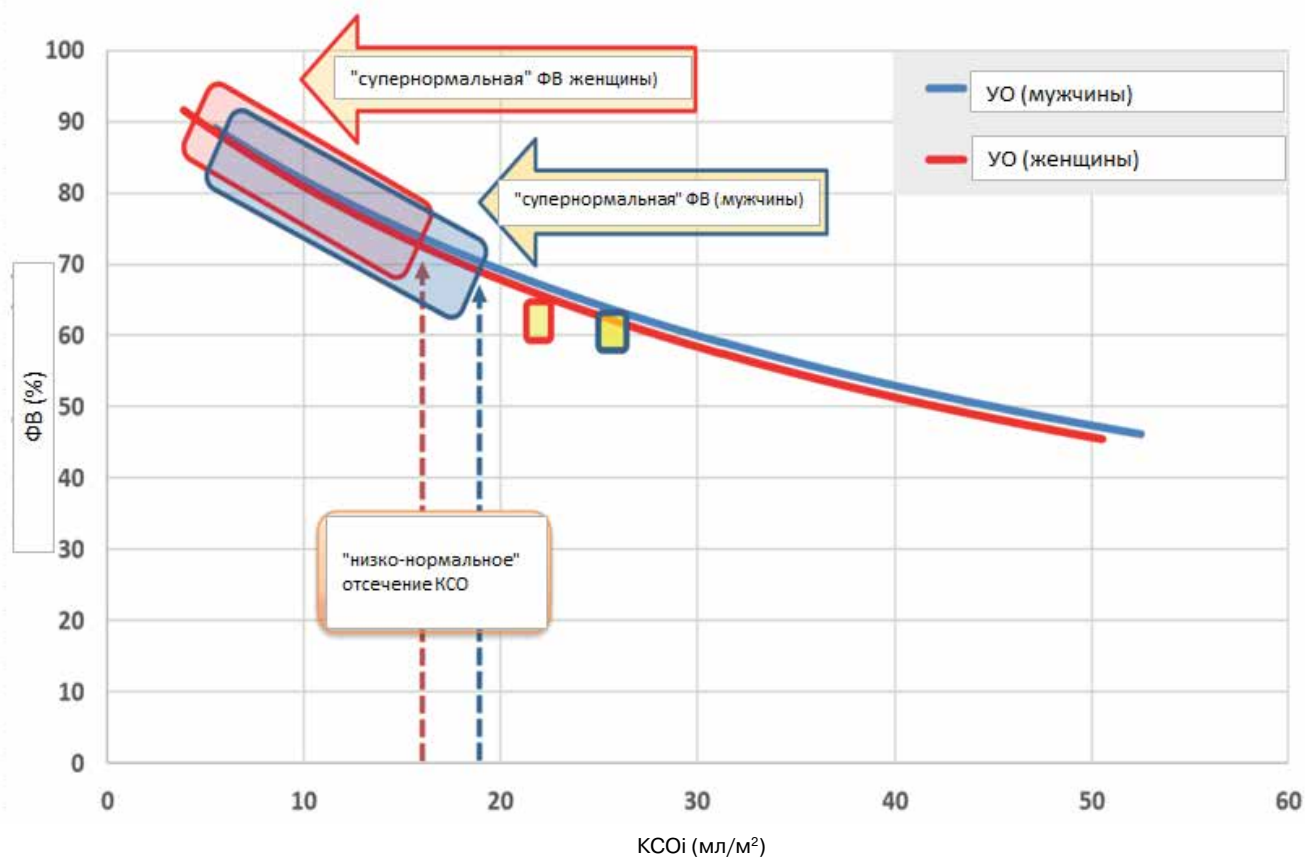
логического процесса, можно использовать сопоставление компонентов в графическом представлении. Известным примером является петля давление-объем ЛЖ, где давление (как зависимая переменная) связано с объемом (причиной, вызывающей изменения давления). Отношение каждой пары координат на таком графике выражается в мм рт.ст./мл и относится к эластичности желудочка, зависящей от времени [4].

Особый тип отношения виден, когда переменные по двум осям имеют одинаковый физический размер (рис. 1), и тогда соотношение является безразмерным, что может повлиять на дальнейшие результаты [5]. Та же проблема появляется при рассмотрении разницы между двумя измерениями, например, УО (=КДО-КСО) или ПД (=САД-ДАД). Эти ситуации могут появляться при изучении традиционных величин, таких как ФВ и ИА, где простой подход кажется привлекательным, но не лишенным недостатков, что будет продемонстрировано ниже. Немаловажно, что разница также может иметь определенную размерность, например, объем для УО (мл), или давление (мм рт.ст.) для ПД.

При оценке ФВ [6] целесообразно определить относительный вклад каждого компонента в соотношение, как это было сделано для КСО и КДО (рис. 2). Часто соотношение в большей степени связано с одним из компонентов. Так, например, ФВ обратно (и нелинейно) связана с КСО [6], и не связана с КДО [4, 6].

В другом исследовании более детально была изучена связь между давлением, объемом и величиной потока, а также связанные с ними безразмерные соотношения [5].

Немаловажно, что при четком распределении любого набора точек  $\{X, Y\}$ , возможно определение связи между отношением и входящим в него компонентом (X или Y) (рис. 1) [5]. Например, ФВ определяется как  $(\text{КДО}_i - \text{КСО}_i) / \text{КДО}_i$ , где  $i$  обозначается как поправка на площадь поверхности тела. Это выражение может быть выражено формулой:  $\text{ФВ} = (1 - \text{КСО}_i / \text{КДО}_i) = (1 - \text{КСО} / \text{КДО})$ , подразумевая, что наклон линии равен  $1 - \text{ФВ}$ . Таким образом, все точки данных на красной линии со стрелкой (рис. 2) имеют одинаковое значение для ФВ (здесь 60%). Однако все они имеют разные комбинации  $\{X, Y\}$ , в соответствии со значениями  $\text{УО}_i$  (см. коричневые и синие стрелки, желтые и синие треугольные области). (Цветное изо-



**Рис. 1.** Схематическая диаграмма, показывающая, как две переменные (обозначенные как X и Y) могут быть преобразованы так, чтобы получить соотношение или разницу. В зависимости от конкретного распределения X и Y, будут получены различные схемы отношения (Y/X); см. шесть теоретических моделей. Таким образом, интерпретация безразмерного соотношения может быть довольно сложной, если не усвоены базовые принципы.

**Примечание:** цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

**Сокращения:** УО — ударный объем, ФВ — фракция выброса, КСО — конечно-систолический объем, КСОi — конечно-систолический объем (индекс).

бражение доступно в электронной версии журнала.) Важно отметить, что каждую точку на такой линии “iso-ФВ” можно различить, рассчитав расстояние от начала координат {0, 0} до конкретной точки {X, Y}. Длина этого отрезка прямой определяется как гипотенуза соответствующего треугольника и может быть вычислена с использованием теоремы Пифагора [2, 3, 5]. Значение компаньона ФВ (выраженное в мл) рассчитывается с использованием известной формулы на основе гипотенузы (C) [3]:

$$\text{ФВс} = \sqrt{(\text{КСО}^2 + \text{КДО}^2)}.$$

Очевидно, что гипотенуза соответствует соотношению, в нашем случае это ФВ. Каждая пара данных (КДО, КСО), первоначально описанная в области объема (рис. 3), теперь определяется альтернативным способом, в котором используются полученные компоненты (ФВ и ФВс) (рис. 4). С технической точки зрения, комбинация соотношения и компаньона относится к представлению “полярной координаты” (включая направление и расстояние), которое эквивалентно традиционному декартовому формату с использованием (X, Y) [2].

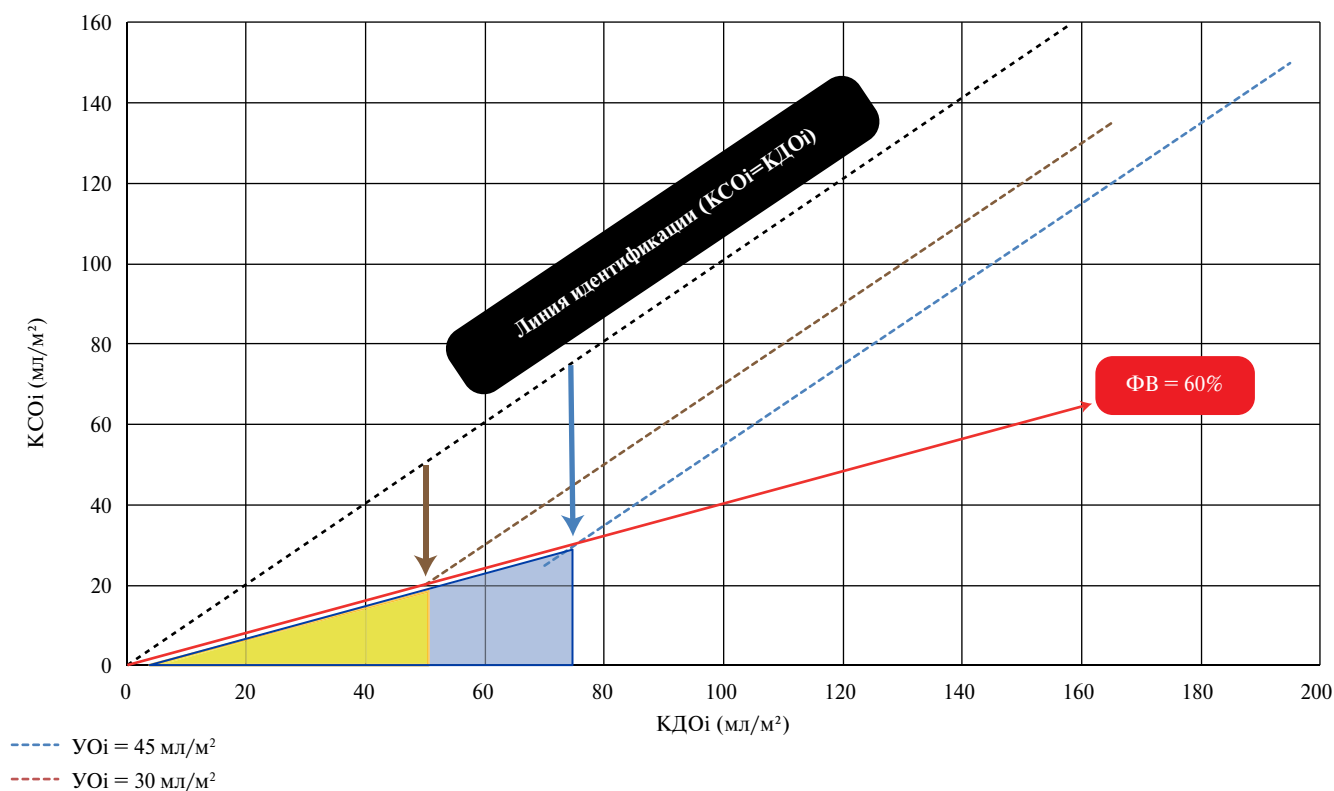
Обратите внимание, что любые две переменные, очевидно, могут быть получены из двух других для каждого набора данных [5]. Интересно, что пациенты в определенной подгруппе могут иметь аналогичное значение ФВ, хотя три другие переменные (т.е. УО, КСО и КДО) различаются (рис. 2).

Подобный метод гипотенузы может применяться для вычисления пары для соотношения, например:  $\text{ПДс} = \sqrt{(\text{ДАД}^2 + \text{САД}^2)}$ .

В данном исследовании мы также будем определять дополнительные показатели, в т.ч. давление аугментации (ДА), точку перегиба (ТП), ИА и ВАС. Основное внимание будет уделено влиянию компаньонов и их связи с клиническими показателями, такими как срАД и скорость распространения пульсовой волны (СРПВ).

ИА — это довольно сложный показатель, представляющий собой отношение двух разностей и выраженный в процентах:  $100 \cdot (\text{САД} - \text{ТП}) / (\text{САД} - \text{ДАД})$ . Поскольку ИА, ФВ и ВАС не имеют единиц измерения, калибровка не обязательна [5]. Однако для расчета соответствующих компаньонов ИАс, ФВс и ВАСс требуются калиброванные величины.

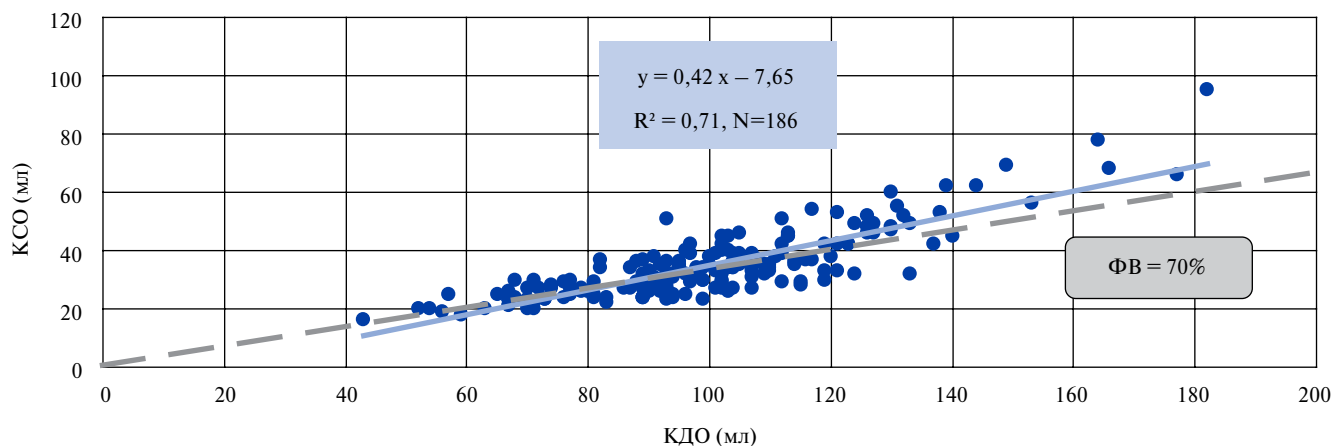
Сектор объёма левого желудочка



**Рис. 2.** Схематическая диаграмма, показывающая отношение индекса КСО (КСОi) к индексу КДО (КДОi). Пунктирная черная линия отображает точку, в которой значения абсцисс и ординат принимают равные значения, соответствующие изоволюмическому сокращению. Индекс УО (УОi) обозначен двумя стрелками, идущими вниз: коричневой (30 мл/м²) и синей (45 мл/м²), с соответствующими синей и желтой треугольными областями, необходимыми для применения теоремы Пифагора (см. текст). ФВ изображена в виде красной линии со стрелкой и соответствует постоянному значению в 60%.

**Примечание:** цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

**Сокращения:** КСО — конечно-систолический объём, КДО — конечно-диастолический объём, УО — ударный объём, УОi — ударный объём (индекс), КСОi — конечно-систолический объём (индекс), КДОi — конечно-диастолический объём (индекс).



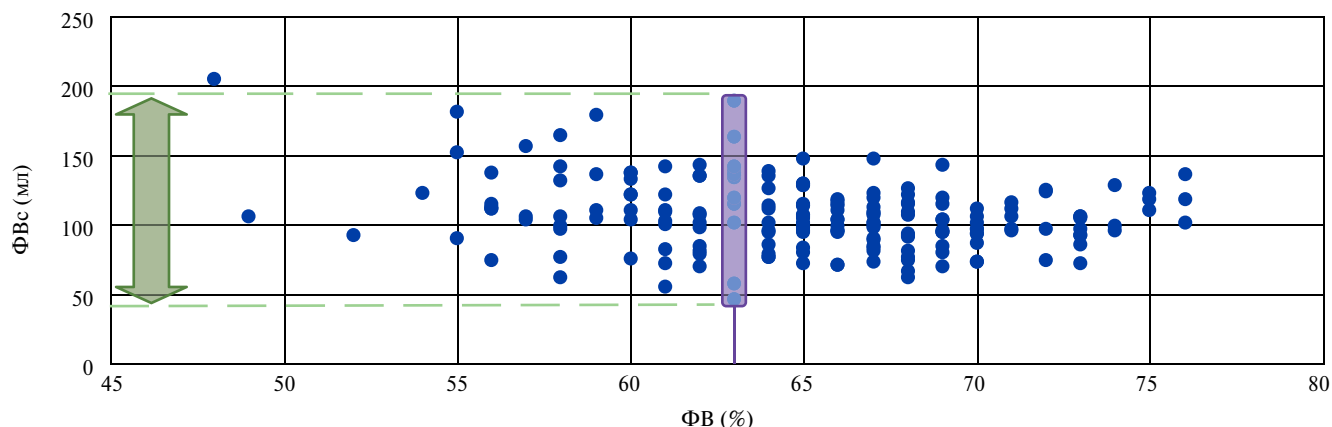
**Рис. 3.** График регулирования объема, показывающий КСО в зависимости от КДО. Пунктирная серая линия обозначает траекторию с постоянным значением 70% ФВ. Точки данных ниже этой линии имеют ФВ >70%. Обратите внимание, что синяя линия регрессии имеет точку пересечения по оси Y со значением -7,65 мл, что означает, что эта линия не пересекает начало системы координат.

**Примечание:** цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

**Сокращения:** КСО — конечно-систолический объём, КДО — конечно-диастолический объём.

**Материал.** В исследование было включено 275 пациентов (207 женщин, возраст 18 до 80 лет), из них 126 пациентов с артериальной гипертензией. У всех пациентов были определены показатели АД и объема ЛЖ.

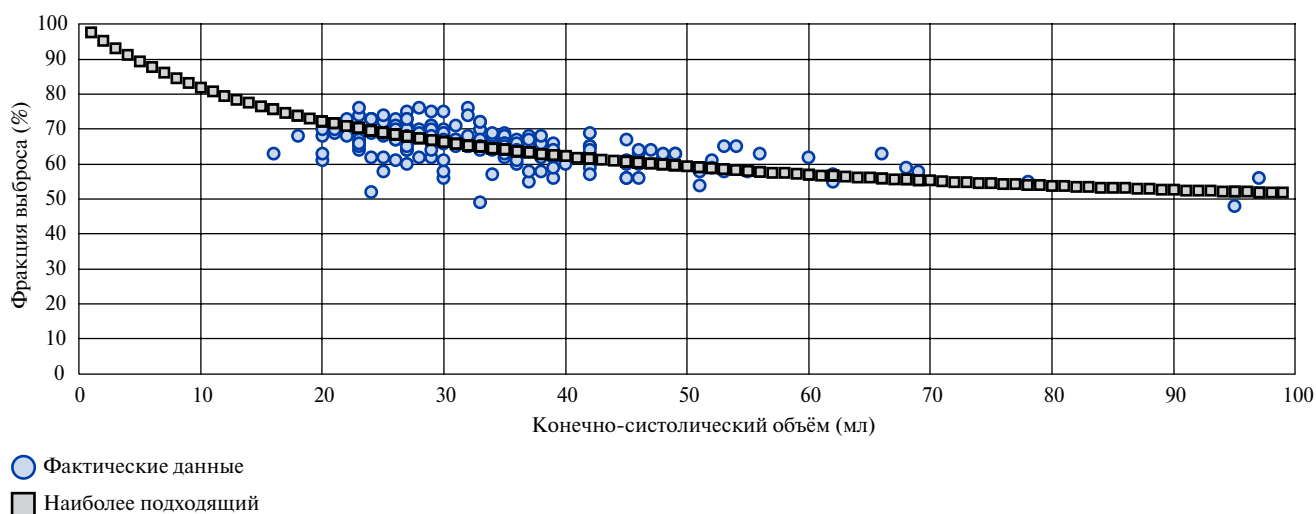
АД измеряли в положении сидя на правой руке, трижды, после 5-минутного отдыха (автоматический тонометр OMRON M3 Expert, Япония) [7]. Определение срАД было выполнено на аппарате AC1200ST.



**Рис. 4.** Компонент (с) ФВ охватывает широкий диапазон для любого фиксированного значения ФВ, основываясь на данных, которые использовали для рисунка 3. В качестве примера продемонстрирована выделенная фиолетовым цветом область, которая относится к  $ФВ = 63\%$ . Эта цифра показывает, что ФВ не является единственной характеристикой систолической функции ЛЖ. Комплексный анализ требует учета как ФВ, так и ФВс, подобно двум декартовым координатам, изображенным на рисунке 3.

**Примечание:** цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

**Сокращения:** ФВ — фракция выброса, ФВс — фракция выброса (компаньон).



**Рис. 5.** ФВ в зависимости от КСО, иллюстрирующая, что у относительно здоровых лиц ( $N=186$ ) с известными факторами риска без ИБС, ФВ снижается лишь незначительно, если рассматривать широкий диапазон значений КСО. Оптимальным коэффициентом корреляции, подтверждающим нулевую гипотезу о том, что ФВ достигает 100%, когда КСО достигает минимального значения, является  $R=-0,560$ , тогда как коэффициент корреляции  $R=-0,559$  оптимален для линеаризующего преобразования (не показано).

**Сокращения:** КСО — конечно-систолический объём, КДО — конечно-диастолический объём, ФВ — фракция выброса.

Эхокардиография выполнена на УЗИ-аппарате Vivid-7 (GE Medical, Германия). Внутренние размеры ЛЖ были получены путем усреднения измерений в М-режиме, полученных в течение по меньшей мере трех сердечных циклов. Внутрисердечные объемы ЛЖ оценивались по формуле Симпсона. СРПВ была оценена с помощью аппарата SphygmoCor (Atcor, Австралия) с использованием непрямого расстояния на отрезке сонная-бедренная артерия. ИА определяли также на приборе SphygmoCor (Atcor, Австралия), а также дополнительно рассчитывали ИАх75 (скорректированный индекс аугментации по частоте сердечных сокращений = 75 уд./мин).

Все пациенты подписали информированное согласие на исследование и использование персональных данных. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ НМИЦ им. В.А. Алмазова.

**Характеристика выборки.** Все пациенты имели одно из воспалительных заболеваний: 67 пациентов с системной склеродермией, 63 пациента с атеросклерозом, 45 пациентов с анкилозирующим спондилитом, 51 — с системной красной волчанкой и 49 — с ревматоидным артритом. Часто наблюдалось сочетание вышеуказанных заболеваний с артериальной гипертензией, что повышало кардиоваскулярный риск



**Таблица 1**  
**Основные данные пациентов (N=275)**

Показатель	Значение	sd	Количество	% выборки
<b>Демография</b>				
Мужчины			68	25
Возраст (лет)	46,8	13,3		
ИМТ (кг/м <sup>2</sup> )	26,3	5,4		
ОТ/ОБ	0,85	0,08		
<b>Факторы риска ССС</b>				
Курение			73	27
АГ			126	46
СД			8	3
Холестерин	5,28	1,31		
Триглицериды	1,28	0,61		
ЛВП	1,37	0,36		
ЛНП	3,35	1,27		
<b>Анамнез ССЗ</b>				
ИБС			25	9
ИМ			2	1
ОНМК			4	2
<b>АД</b>				
САД (мм рт.ст.)	128,1	17,1		
ДАД (мм рт.ст.)	79,0	10,8		
<b>ЛЖ</b>				
КСР (мм)	29,8	8,7		
КДР (мм)	46,7	5,0		
КСО (мл)	35,3	13,1		
КДО (мл)	99,9	23,4		
<b>Производные показатели</b>				
УО (мл)	65,0	14,5		
ФВ (%)	65,0	5,3		
ПД (мм рт.ст.)	49,7	12,7		
ИА (%)	23,8	14,1		
СРПВ (м/сек)	7,8	1,9		

**Сокращения:** ИМТ — индекс массы тела, ОТ/ОБ — объем талии/объем бедер, ССС — сердечно-сосудистая система, АГ — артериальная гипертензия, СД — сахарный диабет, ЛВП — липопротеиды высокой плотности, ЛНП — липопротеиды низкой плотности, ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания, ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИМ — инфаркт миокарда, ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения, АД — артериальное давление, САД — систолическое артериальное давление, ДАД — диастолическое артериальное давление, КСР — конечно-систолический размер, КДР — конечно-диастолический размер, КСО — конечно-систолический объем, КДО — конечно-диастолический объем, УО — ударный объем, ПД — пульсовое давление, ИА — индекс аугментации, СРПВ — скорость распространения пульсовой волны, ФВ — фракция выброса, ЛЖ — левый желудочек.

у этих пациентов [8]. Исходные данные по всем пациентам представлены в таблице 1. В следующих разделах представлены результаты по производным показателям и их компаньонам (УО, ФВ, ПД, ИА, СРПВ).

**Статистическая обработка данных.** Для анализа полученных данных использовался пакет программного обеспечения IBM SPSS, версия 22 (IBM Corporation, Armonk NY). Для сравнения данных использовали t-критерий, при сравнении корреляций применялся

критерий Вильямса или z-преобразования Фишера. Достоверными считались различия при коэффициенте корреляции  $P < 0,05$ .

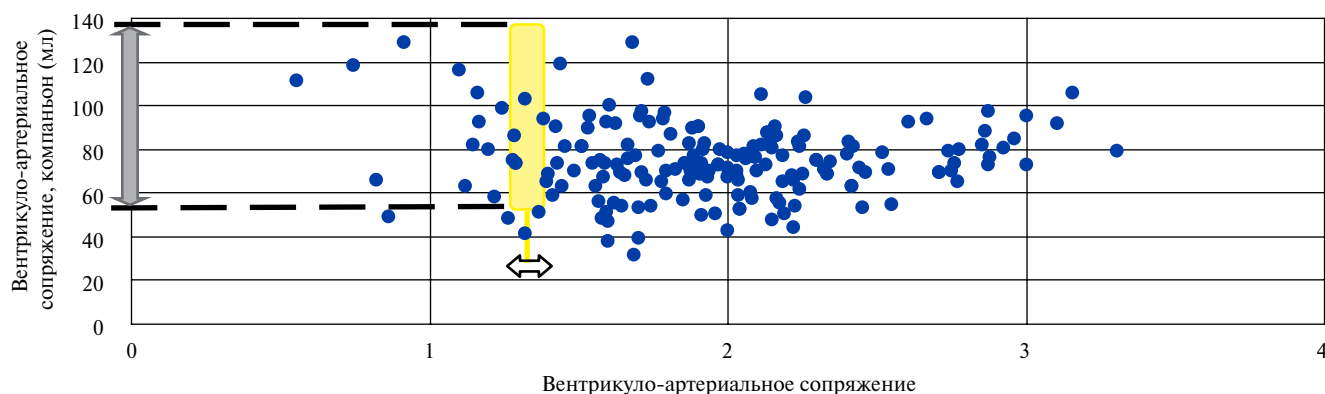
## Результаты

**Объем ЛЖ.** Любопытная корреляция ( $R=0,844$ ,  $N=186$ ) найдена для КСО по сравнению с КДО (рис. 3), что позволяет предположить, что в общей популяции КСО имеет тенденцию к увеличению при большем значении КДО [1, 4, 9]. На этом графике имеются строки, где ФВ имеет фиксированное значение. В качестве примера показана линия для  $ФВ=70\%$ , иллюстрирующая, что на большой траектории значений КСО и КДО у нескольких пациентов имеет место одинаковая ФВ. Их индивидуальность, с точки зрения размера ЛЖ, может быть определена также с учетом соответствующего ФВс (рис. 4), как представлено в этой статье. Более расширенный анализ, отображенный на нижней части рисунка 1, уточняет, что отношение ФВ преимущественно определяется меньшим компонентом (т.е. КСО), показывая обратную нелинейную зависимость [6] с получением  $R=-0,560$  (рис. 5). Этот результат почти идентичен  $R=-0,559$ , который был продемонстрирован для линеаризующего преобразования в ограниченном диапазоне, наблюдаемом в этом исследовании. Напротив, различие ФВ по сравнению с КДО не является значимым ( $R=0,057$ ).

**ВАС.** Это показатель, основанный на соотношении систолической эластичности желудочков к эффективной эластичности артерий (каждая из которых выражается в мм рт.ст./мл). ВАС — это безразмерное число, тесно связанное с ФВ, если пренебречь объемным соотношением эластичности ЛЖ [1, 4, 5]. В исследуемой группе ВАС коррелирует с КСО ( $R=-0,627$ ,  $N=180$ ). Кроме того, при сравнении ВАСс и КДО получен коэффициент корреляции  $R=0,949$ . ВАС показывает широкое распределение связанного с ним ВАСс, что означает, что каждый компонент несет в основном независимую информацию (рис. 6).

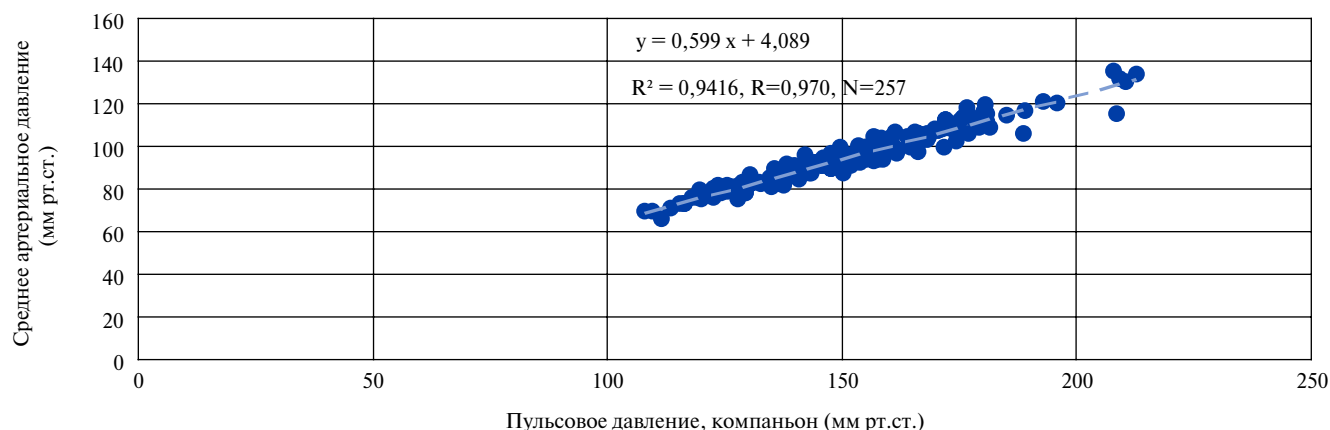
**ПД.** САД хорошо коррелирует с ДАД ( $R=0,661$ ,  $N=257$ ), что указывает на то, что их разница (ПД) занимает довольно четко определенный диапазон. Восходящий фланг сигнала АД показывает ТП, которая определяет ДА как разницу (САД-ТП) [1, 2]. Соотношение ДА и ПД позволяет получить ИА. Как показано в этом исследовании, ДА и ПД имеют дополнительные параметры, что требует идентификации.

Благодаря высокой корреляции сРАД может выступать в качестве суррогата ( $R=0,970$ ,  $N=257$ ) для гипотетически определяемого ПДс (рис. 7). Примечательно, что это наблюдение проясняет, почему эпидемиологические исследования показывают, что сРАД предоставляет важную информацию, которая является дополнительной к ПД [2], в то время как сРАД



**Рис. 6.** Индекс ВАС показывает широкий диапазон для соответствующего компаньона (диапазон, отмеченный черной стрелкой), и для любого ограниченного диапазона ВАС (желтая заштрихованная область), что подразумевает, что ВАС не является уникальной величиной и предпочтительно должен анализироваться совместно с соответствующим компаньоном.

**Примечание:** цветное изображение доступно в электронной версии журнала.



**Рис. 7.** СрАД в сравнении с компаньоном (С) ПД. Наличие значимой корреляции ( $R=0,970$ ,  $N=257$ ) свидетельствует о том, что гемодинамически релевантная переменная СрАД соответствует компаньону клинического показателя ПД.

(отражающее сопротивление времени потока) следует рассматривать как гемодинамический эквивалент ПДс.

**ИА.** Мы обнаружили, что ИА, нормализованный по частоте сердечных сокращений (ИАх75) и соответствующий компаньон (ИАх75с) существенно не связаны ( $R=0,153$ ,  $N=203$ ), что означает, они предоставляют дополнительную информацию.

Обратите внимание, что ИАх75 фиксирует информацию, основанную на трех измерениях давления, а именно САД, ТП и ДАД. Кроме того, эти два компаньона ДАс и ИАх75с коррелируют ( $R=0,662$ ,  $N=198$ ).

**СРПВ.** Как показано на рисунке 8, данные СРПВ были проанализированы по отношению к ПДс ( $R=0,397$ ,  $N=193$ ), и оказались ожидаемо сходны с тем, что было найдено для срАД и СРПВ ( $R=0,322$ ). Интересно, что СРПВ хорошо коррелирует с САД ( $R=0,439$ ), ИА ( $R=0,332$ ) и ПД ( $R=0,430$ ), что позволяет предположить, что СРПВ является результатом рассчитанной комбинации САД, ДАД и ТП.

## Обсуждение

Это исследование подтверждает существование компаньона для каждого из нескольких традиционных показателей сердечно-сосудистой системы, в т.ч. ФВ, ПД, ИА.

Использование фактических данных о пациентах указывает на их клиническую значимость. Важно отметить, что компаньоны на самом деле не являются “новыми”: фактически они существуют с тех пор, как было получено соотношение или разница. К сожалению, компаньоны были упущены из виду, поскольку основное внимание было направлено на показатели, основанные на соотношениях. Кроме того, следует иметь в виду, что они не заменяют собой первичные показатели, основанные на соотношениях, поскольку они представляют собой связанную пару. Например, ПДс дополняет ПД, и оба нуждаются в уточнении, чтобы получить полную характеристику. Только так они предоставляют информацию, эквивалентную исходной паре данных (САД, ДАД). Этот ключевой тезис подтверждается более ранними эксперименталь-

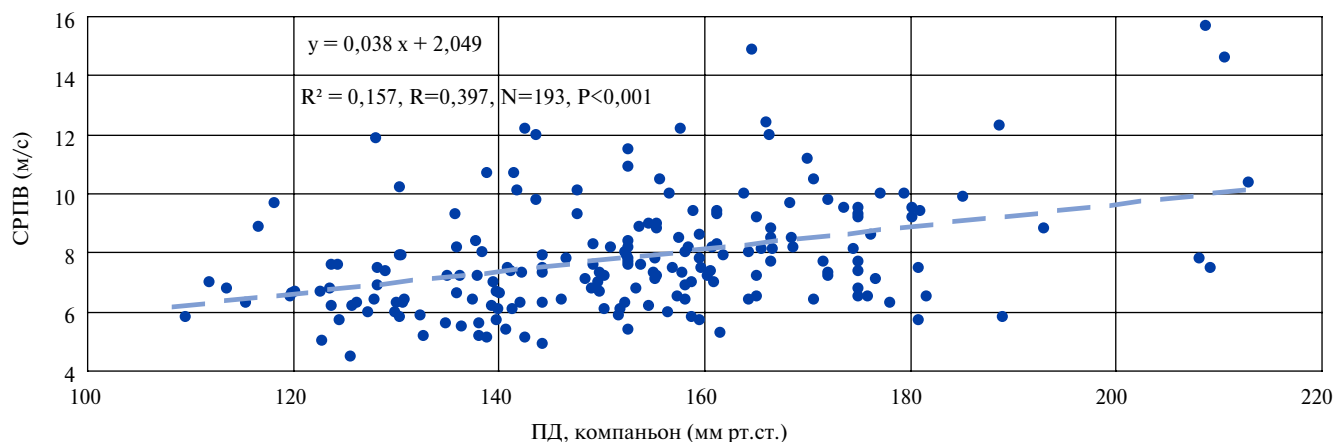


Рис. 8. Связь между СРПВ и компаньоном ПД (ПДс).

Сокращения: СРПВ — скорость распространения пульсовой волны, ПД — пульсовое давление.

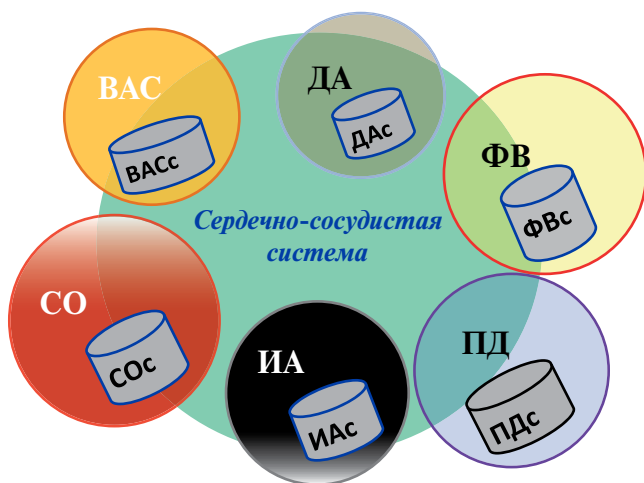


Рис. 9. Обобщение универсальных показателей и связанных с ними компаньонов, используемых для изучения сердечно-сосудистой системы.

Примечание: основными элементами являются САД и ДАД, а также КСО и КДО. Соотношения и разницы показаны в виде окружностей, в то время как каждый связанный компаньон (с) обозначен цилиндром.

Сокращения: ИАс — индекс аугментации (компаньон), ДАс — давление аугментации (компаньон), ФВс — фракция выброса (компаньон), ПДс — пульсовое давление (компаньон), УОс — ударный объем (компаньон), ВАСс — вентрикуло-артериальное сопряжение (компаньон).

ными исследованиями, в которых сообщалось, что одного ПД недостаточно для того, чтобы охватить все факторы риска, связанные с АД. Основным направлением нашего исследования является широко распространенный метод использования безразмерных соотношений и различий в качестве предпочтительных клинически значимых показателей. Как правило, разница или безразмерное соотношение двух чисел позволяют получить один ответ, который может лишь частично охарактеризовать исходную позицию.

Необходимо выявить недостающий элемент, который обозначается здесь как компаньон (с) и получаемый с математической точки зрения путем примене-

ния графических изображений (рис. 2) в сочетании с теоремой Пифагора [2, 3, 5].

**Влияние компаньона.** Численное значение компаньона для каждого рассматриваемого нами показателя может быть вычислено с помощью теоремы Пифагора. Результирующее число в основном определяется более крупным из двух участников. Остальные аспекты касаются физиологической интерпретации как показателя, основанного на соотношении, так и связанного с ним компаньона. Относительно ФВ установлено, что ФВс (рис. 5) образует первичный детерминант [9]. Из этого логически вытекает, что ФВс определяется КДО, что отражает преднагрузку [4]. Наиболее часто используемые показатели, такие как ПД, сРАД, оказались связаны с факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний [8]. Допустимые интерпретации дополнительных показателей для расчета соотношений и связанных с ними компаньонов представлены в других работах [5, 10], в т.ч. для оценки состояния сердечно-сосудистой системы.

**Ограничения для исследования.** Значительные недостатки, типичные для анализа разницы (УО, ПД, ДА) или безразмерного соотношения (ФВ, ВАС или ИА), в данном исследовании были устранены включением соответствующего компаньона. Однако эти соотношения требуют дальнейшей оценки и анализа характерных пороговых уровней с тем, чтобы более точно обозначить их применение. Такой подход оправдывает проведение соответствующих клинических исследований, но с учётом того, что исходные пары данных (такие как КСО и КДО) по-прежнему имеют первостепенное значение и часто даже являются наиболее предпочтительными.

### Заключение

Показатели, основанные на разнице или соотношении параметров АД или размеров желудочков, следует интерпретировать с осторожностью. Как уточняется в настоящем исследовании, комплексная оценка



требует одновременного рассмотрения конкретной переменной-компаньона, связанной с любым традиционным показателем. Однако по-прежнему предпочтительнее проводить анализ основных компонентов ДАД и САД, КСО и КДО. Очевидно, что аналогичные параметры применимы и для анализа миокардиального фракционного резерва кровотока [5]. Используемые показатели и подходы схематически обобщены на рисунке 9, где большой центральный круг отражает абстрактную информацию о состоя-

нии сердечно-сосудистой системы. Каждый показатель отражает только частичную информацию, как это схематически показано различными детализированными кругами и вновь добавленными цилиндрами, символизирующими соответствующих компаньонов.

**Отношения и деятельность.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-75-30052).

### Литература/References

1. Kerkhof PLM, Kuznetsova T, Kresh JY, Handly N. Cardiophysiology illustrated by comparing ventricular volumes in healthy adult males and females. *Adv Exp Med Biol.* 2018;1065:123-38. doi:10.1007/978-3-319-77932-4\_8.
2. Kerkhof PLM, Konradi AO, Shlyakhto EV, et al. Polar coordinate description of blood pressure measurements and implications for sex-specific and personalized analysis. *Conf Proc IEEE. Eng Med Biol Soc.* 2019;2019:502-5. doi:10.1109/EMBC.2019.8857346.
3. Kerkhof PLM, Mérillon JP, Yoo BW, et al. The Pythagorean theorem reveals the inherent companion of cardiac ejection fraction. *Int J Cardiol* 2018;270:237-43. doi:10.1016/j.ijcard.2018.06.074.
4. Kerkhof PLM, Kuznetsova T, Ali R, Handly N. Left ventricular volume analysis as a basic tool to describe cardiac function. *Adv Physiol Educ.* 2018;42:130-9. doi:10.1152/advan.00140.2017.
5. Kerkhof PLM, Peace RA, Handly N. Ratiology and a complementary class of metrics for cardiovascular investigations. *Physiology (Bethesda).* 2019;34:250-63. doi:10.1152/physiol.00056.2018.
6. Kerkhof PLM, van de Ven PM, Yoo B, et al. Ejection fraction as related to basic components in the left and right ventricular volume domains. *Int J Cardiol.* 2018;255:105-110. doi:10.1016/j.ijcard.2017.09.019.
7. Rotar O, Moguchai E, Boyarinova M, et al. Seventy years after the siege of Leningrad: does early life famine still affect cardiovascular risk and aging? *J Hypertens.* 2015;33:1772-9. doi:10.1097/HJH.0000000000000640.
8. Chazova IE, Zhernakova IuV, Oshchepkova EV, et al. Prevalence of cardiovascular risk factors in Russian population of patients with arterial hypertension. *Kardiologiya.* 2014;54(10):4-12. (In Russ.) Чазова И.Е., Жернакова Ю.В., Ощепкова Е.В. и др. Распространенность факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний в российской популяции больных артериальной гипертензией. *Кардиология.* 2014;54(10):4-12. doi:10.18565/cardio.2014.10.4-12.
9. Kerkhof PLM. Importance of endsystolic volume for the evaluation of cardiac pump performance, in: *Cardiology, An International Perspective*, E.I. Chazov, V.N. Smirnov and R.G. Oganov (Eds.). Plenum Press. New York. 1984:133952. ISBN: 978-1-4757-1826-3, doi: 10.1007/978-1-4757-1824-9.
10. Kerkhof PLM, Mérillon JP, Handly N. What the current arterial-ventricular coupling index fails to tell us. *FASEB J* 32 Suppl. 2018. doi:10.1096/fasebj.2018.32.1\_supplement.848.3.