

## ОБЪЕМНО-КОМПРЕССИОННАЯ ОСЦИЛЛОМЕТРИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕРДЦА

В.А. Мазурок 

ФГБУ «Северо-Западный федеральный медицинский исследовательский центр» МЗ РФ, Санкт-Петербург, Россия

**Актуальность.** В исторической перспективе рассматриваются различные методы, предложенные для оценки сердечного выброса (СВ). Объемно-компрессионная осциллометрия (ОКО) — один из них, основанный на неинвазивном анализе пульсовой волны посредством регистрации артериальных осциллограмм под наложенной на конечность раздуваемой манжетой. **Цель.** Сравнить воспроизводимость показателей сердечного выброса, измеренного с помощью классической технологии препульмональной термодилуции и рассчитанного посредством ОКО. **Материалы и методы.** В течение нескольких дней выполнили 200 параллельных измерений (по 100 каждым методом) у 7 кардиохирургических пациентов в раннем послеоперационном периоде. Для оценки СВ методом препульмональной термодилуции использовали катетер в легочной артерии и гемодинамический монитор «CareScape B850» (GE Healthcare). Расчет СВ посредством ОКО осуществляли с помощью многофункционального монитора МПР 6–03 (ООО «Тритон-электроникс», Россия). Математический анализ выполняли посредством определения средней ошибки. Данные представили в виде графиков Бланда—Альмана. **Результаты.** Средние значения СВ, измеренные методом термодилуции и ОКО, очень близки:  $5,41 \pm 0,12$  и  $5,33 \pm 0,13$  л·мин<sup>-1</sup> соответственно, а показатели сердечного индекса (СИ) —  $2,93 \pm 0,13$  и  $2,92 \pm 0,94$  л·мин<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup> соответственно. Расчет средней ошибки выявил, что по СВ и СИ она составила примерно 10%. Отклонение показателей ОКО в большую сторону по сравнению с термодилуцией составило  $11,1 \pm 1,2$  и  $9,6 \pm 1,1$  % для СВ и СИ соответственно, а в меньшую —  $10,8 \pm 1,3$  и  $12,1 \pm 1,3$  % соответственно. **Заключение.** Объемно-компрессионную осциллометрию можно использовать для расчета СВ у кардиохирургических пациентов. При интерпретации полученных показателей следует помнить об ограничении любого метода расчета СВ, основанного на оценке пульсовой волны.

- **Ключевые слова:** объемно-компрессионная осциллометрия, производительность сердца

**Для корреспонденции:** Мазурок Вадим Альбертович — д. м. н., профессор, заведующий кафедрой анестезиологии и реаниматологии ФГБУ «Северо-Западный федеральный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» МЗ РФ, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: vmazurok@mail.ru

**Для цитирования:** Мазурок В.А. Объемно-компрессионная осциллометрия для оценки производительности сердца. Вестник интенсивной терапии. 2017;2:55–60. DOI: 10.21320/1818-474X-2017-2-55-60

**Поступила:** 01.04.2017

## VOLUMETRIC COMPRESSIVE OSCILLOMETRY FOR CARDIAC OUTPUT EVALUATION

V.A. Mazurok 

Almazov North-West Federal Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

**Introduction.** The study discusses different techniques proposed for cardiac output assessment. One of them is a non-invasive volumetric compressive oscillometry (VCO). VCO bases on measurements of the blood volume change under an inflatable cuff around an extremity. VCO determines blood pressure by recording the volumetric arterial oscillograms allowing speed and character of pulse-wave increase and decrease evaluation, and judgment about heart pump condition and vascular walls elasticity. **Objective.** To compare the heart pump capacity determined by two different techniques: classical pre-pulmonary thermodilution and VCO. **Materials and methods.** Seven intensive care unit patients in early postoperative periods after open-heart surgery were included. Two hundreds parallel measurements of cardiac output (CO) performed during several days. One hundred by the pre-pulmonary thermodilution techniques with catheter Swan-Ganz in pulmonary artery (CareScape monitor B850, GE Healthcare), and one hundred by the VCO (Multimodal monitor 6–03, Triton, Russia). The data showed as CO and cardiac index (CI) — CO divided by the body surface area. For statistical analysis calculated mean error, received data displayed by Bland—Altman plot. **Results.** CO and CI figures were found to be comparable:  $5.41 \pm 0.12$  &  $5.33 \pm 0.13$  l·min<sup>-1</sup>, and  $2.93 \pm 0.13$  &  $2.92 \pm 0.94$  l·min<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>, correspondingly. Mean error for CO and CI was about 10%. VCO overvaluation of CO and CI relatively to thermodilution was  $11.1 \pm 1.2$  &  $9.6 \pm 1.1$  %; undervaluation —  $10.8 \pm 1.3$  &  $12.1 \pm 1.3$  %, correspondingly. **Conclusion.** Volumetric compressive oscillometry can be safely used for CO measurement in cardio-surgical patients. Researcher should keep in mind limitations of any technique based on the pulse-wave analysis.

- **Keywords:** volumetric compressive oscillometry, cardiac output

**For correspondence:** Vadim A. Mazurok — D. Sci. Med., professor, head of Department of anesthesiology and reanimatology, Almazov North-West Federal Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia; e-mail: vmazurok@mail.ru

**For citation:** Mazurok VA. Volumetric Compressive Oscillometry for Cardiac Output Evaluation. Intensive Care Herald. 2017;2:55–60. DOI: 10.21320/1818-474X-2017-2-55-60

**Received:** 01.04.2017



Производительность сердца — важнейший параметр, используемый для диагностики и терапии широчайшего спектра заболеваний и состояний. При этом ударный объем сердца — один из ключевых показателей минутного объема кровообращения (МОК), иначе называемого сердечным выбросом (СВ).

В настоящее время известно множество способов оценки МОК — как прямых, так и расчетных. Среди них: метод Фика и его модификации (1870); реографические методы (в том числе А.А. Кедрова [1, 2], М.И. Тищенко [3, 4], Н.Н. Савицкого [5], Кубичека [6]). Кроме того, расчет СВ возможен по многочисленным формулам (Старра [7]; Бремзера и Ранке, 1930; Вецлера и Богера; Агресса и соавт. [8] и др. [9]).

Среди описанных наиболее точными признаны методы разведения индикаторов (изотопов,  $t^\circ$  жидкости, красителей и пр.), основанных на принципе Стюарта—Гамильтона; прямой кислородный метод Фика, а также имеющие скорее научно-исследовательское значение ацетиленовый метод Грольмана и метод электромагнитной флоуметрии.

### Почему не стоит забывать о «старых» методах оценки сердечного выброса

Принцип Стюарта—Гамильтона, реализуемый посредством температурного анализа разведения холодного раствора, стал «золотым стандартом» в кардиоторакальной и сосудистой хирургии. При этом, согласно данным J.R.C. Jansen et al. [10, 11], C.W. Stetz et al. [12] и J.H. Stevens et al. [13], дискретные измерения СВ дают 15 % ошибку, тогда как осреднение трех последовательных измерений позволяет уменьшить эту ошибку до 10 %. С учетом необходимости проводить не менее трех измерений, время на такое исследование занимает около 3 мин, что вызывает вопрос, возможно ли такую оценку считать инструментом мониторинга.

В качестве контраргументов А.Ф. Connors [14] указывает и на повышенный риск летального исхода при катетеризации правого сердца, что заставило J.E. Dalen и R.C. Wope еще 20 лет назад [15] поставить вопрос перед FDA (Управление по контролю за качеством пищевых продуктов и лекарственных препаратов, США) о запрете на использование катетеров Свана—Ганса...

Использование катетеров Свана—Ганса позволяет измерять давление заклинивания легочных капилляров (ДЗЛК), не имеющего в клинике практической альтернативы, свидетельствующего о преднагрузке левого сердца

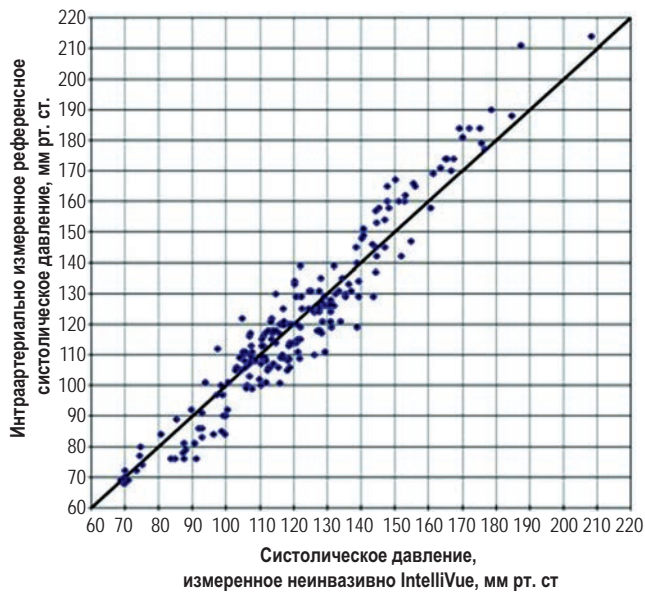
(гидростатическом давлении) и позволяющего рассчитать сопротивление легочных сосудов. Тех параметров, которые традиционно используются для диагностики нарушений системы кровообращения и лечения отека легких и левожелудочковой (ЛЖ) недостаточности.

Измерение ДЗЛК, однако, имеет и существенные ограничения, связанные с риском осложнений и трудностями интерпретации получаемых значений, например, вследствие влияния дыхательного цикла, уровня конечно-экспираторного давления (PEEP и auto-PEEP), места расположения катетера в зоне West. Кроме того, существуют свидетельства, что при терапии острого респираторного дистресса, основанной на использовании катетера Свана—Ганса или измерении центрального венозного давления (ЦВД), клинический исход не меняется [16].

ЦВД — хорошо известный показатель, принимаемый во внимание для суждения о преднагрузке правого желудочка, оптимизации функций системы кровообращения и оценки волемического наполнения, также имеет ряд ограничений. В частности, H. Ishihara et al. [17], F. Michard et al. [18], S.G. Sakka et al. [19], H. Brock [20] и O. Godje et al. [21] отмечают, что ЦВД — неидеальный показатель преднагрузки, плохо коррелирующий с сердечным выбросом и не отражающий состояние левого сердца. Кроме того, по мнению J.I. Sznajder et al. [22], его измерение чревато связанными с доступом к центральной вене осложнениями (до 6 % даже в опытных руках) и летальностью.

Повышение ЦВД может быть результатом как гиперволемии, так и недостаточности правого желудочка в случае тромбоэмболии легочной артерии или легочной гипертензии, а также при тампонаде и пороках сердца. Кроме того, его рост может быть обусловлен повышением внутригрудного (ИВЛ, гемо-/пневмоторакс, хроническая обструктивная болезнь легких) или внутрибрюшного (беременность, асцит и др.) давления, повышением сосудистого тонуса в ответ на симпатическую стимуляцию или введение вазопрессоров. Напротив, снижение ЦВД — возможный результат гиповолемии (кровотечение, полиурия и др.) или вазодилатации (септический шок, передозировка вазодилататоров, дисфункция симпатической нервной системы, регионарная анестезия).

С учетом изложенного, согласительные рекомендации нескольких медицинских сообществ Германии не использовать ЦВД ни в операционной, ни в ОРИТ для диагностики гиповолемии у пациентов со спонтанным дыханием или находящихся на ИВЛ [23] не выглядят необоснованными. Аналогичной точки зрения придерживаются и авторы Европейских рекомендаций по лечению массивной интраоперационной кровопотери [24], которые также



**РИС. 1.** Тесная корреляция между показателями систолического артериального давления, измеренными инвазивным (артериальная канюля) и неинвазивным (осциллометрическим) методами (по E. Pereira, 1985)

не рекомендуют использовать ЦВД или ДЗЛК как единственные критерии функционирования системы кровообращения, — вместо них следует осуществлять динамическую оценку... и НЕИНВАЗИВНЫЙ анализ сердечного выброса (степень доказательности — 1B).

Все вместе взятое знаменует в известной степени поворотный процесс в подходах к комплексной оценке системы кровообращения в целом и сердечного выброса в частности.

## Вперед в прошлое

Еще 3000 лет назад в Китае во время правления Желтого Императора знали более 80 разновидностей пульса, а также, что «пульс, который трудно пережать, связан с развитием инсульта» [25]. Измерили артериальное давление (АД) только через 2500 лет... Таким образом, динамическая оценка СВ посредством анализа пульсовой волны — весьма древняя технология, в современном развитии берущая свое начало с классической модели Windkessel — так называемой компрессионной, или воздушной, камеры, описанной O. Frank (1899), основанной на расчете отношения АД или его изменения ( $\Delta$ ) к потоку или изменению объема крови ( $V$ ).

Известно несколько коммерческих вариантов реализации этой технологии: метод Wesseling (в том числе расширенный Wesseling), Modelflow, PiCCO, LidCO, а также неинвазивный вариант, когда нужные параметры снимаются посредством неинвазивной оценки АД (НИАД) с пальца, описанной M.M. Hirschl et al. [26], и в последующем отражаются виде сердечного индекса (СИ), т. е. МОК, отнесенного к площади поверхности тела пациента. При-

чем, согласно опубликованным K.H. Wesseling et al. [27], J.R.C. Jansen et al. [28] и W.T. Jellema et al. [29] данным, результаты применения этих технологий оказываются сопоставимы.

Не секрет, однако, что анализ пульсовой волны имеет свои ограничения. В частности, эта технология дает серьезную ошибку при аортальной регургитации, наличии аневризмы аорты или во время ее пережатия, при использовании внутриаортальной баллонной контрпульсации, в течение операции орто- и маммарокоронарного шунтирования (АКШ, МКШ), при изменении положения тела, оказывающем влияние на свойства аорты. Кроме того, метод чувствителен собственно к качеству пульсовой волны. Как бы то ни было, в настоящее время ни один из перечисленных выше вариантов оценки системы кровообращения (в том числе и термодилуционный!) не может считаться идеальным, причем чем тяжелее пациент — тем больше ошибка любого метода.

В итоге выбор метода мониторинга в значительной степени определяется предпочтением врача и доступностью оборудования, а широкое распространение неинвазивной оценки АД не выглядит анахронизмом, хотя точность такого метода и вызывает известные опасения (особенно при низком АД).

На практике используется два метода регистрации НИАД: аускультативный и осциллометрический, причем последний, согласно опубликованным более 30 лет назад данным [30], хорошо коррелирует с инвазивной оценкой (рис. 1).

## Объемно-компрессионная осциллометрия

Методика осциллометрического метода НИАД, предложенная Etienne Jules Marey (1880), предполагает регистрацию объемных артериальных осциллограмм — оценку изменения объема ( $\Delta V$ ) участка тканей под компрессионной манжетой (объемная осциллометрия), или скорости  $\Delta V$  участка тканей (скоростная объемная осциллометрия). Для этого, в частности, используется формула Бремзера—Ранке в редакции академика Н.Н. Савицкого:

$$CB = \frac{z \cdot Q \cdot D_p \cdot S \cdot T \cdot 1333}{(T - S) \cdot C_\gamma}$$

где:  $z$  — фактор поправки;  $D_p$  — истинная пульсовая амплитуда (разность между боковым систолическим и минимальным давлением);  $S$  — время изгнания;  $T$  — время полной сердечной инволюции (длительность сердечного цикла); 1333 — множитель для перевода миллиметров ртутного столба в динь;  $(T - S)$  — время диастолического периода в секундах;  $C_\gamma$  — скорость распространения пульсовой волны по артериям эластического типа;  $Q$  — площадь поперечного сечения аорты.

Объемно-компрессионная осциллограмма (ОКО) плечевой артерии (рис. 2) позволяет различить несколько участков, отражающих фазы сокращения сердца

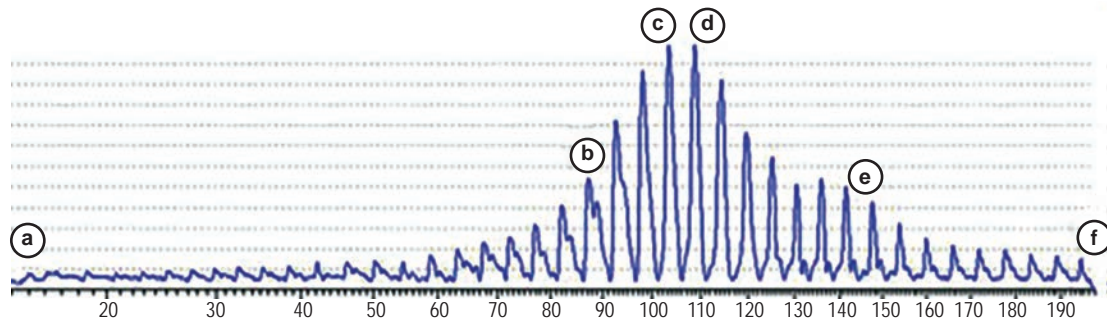


РИС. 2. Объемно-компрессионная осциллограмма плечевой артерии, позволяющая различить несколько участков, отражающих фазы сокращения сердца (объяснение в тексте)

(<http://gemodinamika.ru/metod-obъемnoj-kompressionnoj-oscillometrii.html>). Точка b — диастолическое артериальное давление (ДАД); отрезок bc — увеличение давления в артерии вследствие поступления крови из левого желудочка в начале систолы; точка c — среднее артериальное давление (СрАД); точка d — так называемое боковое систолическое артериальное давление (БАД); тогда как весь отрезок cd отражает примерное равенство между притоком крови в магистральные артерии и ее оттоком в периферические; отрезок de — фаза медленного изгнания; ef — равномерный отток крови из центральных артерий в периферические во время диастолы.

В итоге компьютерной обработки, включающей математические и графические методики определения точек перегибов осциллографической кривой, определяются: систолическое АД (САД) — последний наиболее выраженный зубец перед резким падением амплитуды осцилляций; ДАД — первый наиболее выраженный зубец;

СрАД — первый максимальный зубец (максимальная амплитуда осцилляции); БАД — определяется по последнему максимальному зубцу.

Объемно-компрессионная осциллометрия позволяет измерять СВ (МОК) и ударный объем сердца (УО), а также получать расчетные показатели [СИ, ударный индекс (УИ), общее периферическое сосудистое сопротивление (ОПСС) и его индекс (ИОППС)].

**Цель исследования.** Сравнить воспроизводимость показателей сердечного выброса, измеренного с помощью классической технологии препульмональной термодилуции и рассчитанного посредством объемно-компрессионной осциллометрии.

**Материалы и методы.** В открытом проспективном сравнительном исследовании выполнили 200 параллельных измерений (по 100 каждым методом) у 7 пациентов кар-

Таблица 1

**Диагнозы включенных в исследование пациентов и выполненные им оперативные вмешательства**

Диагноз	Операция (дата, название)
1. Миксоматозная дегенерация створок митрального клапана (МК). Пролапс МК. Митральная недостаточность (МН) IV степени. Отек легких. Кардиогенный шок	27.05.2011 Протезирование МК, пластика трикуспидального клапана (ТК). Ушивание ушка левого предсердия
2. ИБС, стабильная стенокардия напряжения II функционального класса, постинфарктный (июнь 2010, переднеперегородочной и верхушечной областей ЛЖ) кардиосклероз (ПИКС). Аневризма верхушки ЛЖ. Постинфарктная МН IV степени	08.06.2011 Линейная пластика аневризмы ЛЖ. Протезирование МК. МКШ + АКШ в условиях искусственного кровообращения (ИК)
3. ИБС, стенокардия напряжения III функционального класса. ПИКС (ОИМ 1998, 2006, 2009) переднеперегородочной и верхушечной областей ЛЖ	16.06.2011 МКШ + АКШ (5 шунтов) на работающем сердце
4. Склеродегенеративное поражение аортального клапана (АК). Критический аортальный стеноз. Аортальная недостаточность (АН) II степени. МН I степени	17.06.2011 Протезирование АК
5. ИБС, стенокардия напряжения III функционального класса, ПИКС переднебоковой и верхушечной областей ЛЖ (2010). Постинфарктная МН III степени	21.06.2011 МКШ, пластика МК в условиях ИК
6. Хроническая ревматическая болезнь. Критический митральный стеноз (МС). Трикуспидальная недостаточность (ТН) III степени	22.06.2011 Протезирование МК, пластика ТК в условиях ИК
7. Хроническая ревматическая болезнь. Критический МС. Закрытая митральная баллонная пластика (1989, 1994). ТН II степени. Постоянная форма фибрилляции предсердий (ФП)	24.06.2011 Протезирование МК, удаление тромба из левого предсердия в условиях ИК



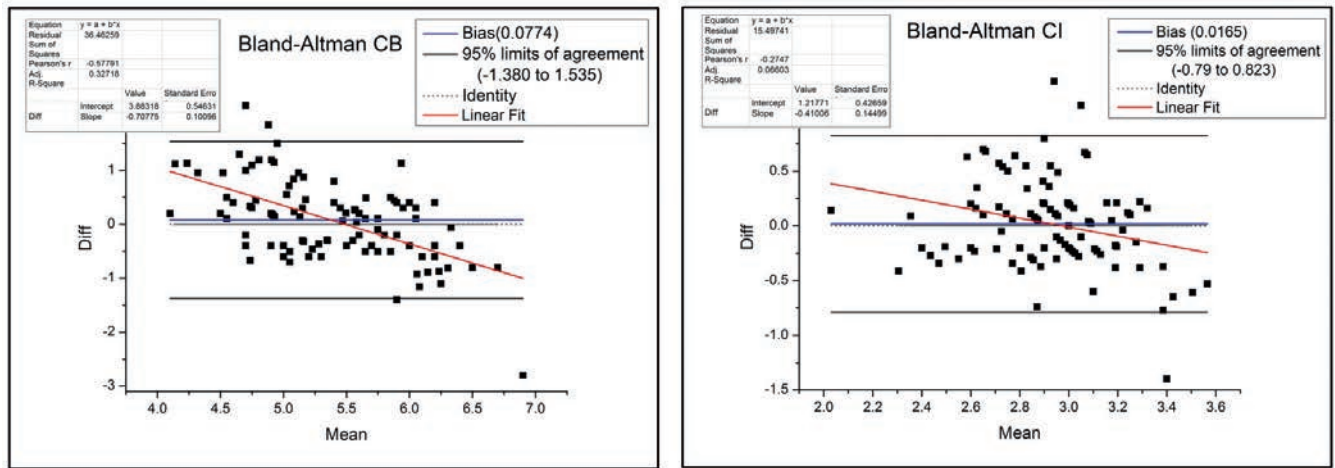


РИС. 3. Согласованность измерений СВ и СИ методами термодилуции и ОКО на основе оценки систематического расхождения и степень разброса результатов (объяснение в тексте)

диохирургического ОРИТ в течение нескольких дней. Диагнозы включенных в исследование пациентов и выполненные им оперативные вмешательства представлены в табл. 1.

Критериями невключения пациентов в исследование служили следующие состояния, диагностированные на момент выполнения сравнительных измерений: наличие сохраняющегося клапанного дефекта, нарушение ритма сердца, использование устройств механической поддержки кровообращения, синдром малого сердечного выброса (кардиогенный шок), высокие дозы вазопрессоров.

На момент выполнения параллельных измерений пациенты были достаточно стабильны, хотя имели сниженную фракцию выброса (см. далее). Четверо получали умеренные дозы инотропов [допамин  $\leq 9$  мкг/(кг·мин)].

Для оценки сердечного выброса методом препульмональной термодилуции использовали катетер в легочной артерии (Свана—Ганса) и гемодинамический монитор «CareScare B850» (GE Healthcare). Расчет СВ посредством ОКО осуществляли с помощью многофункционального монитора МПР 6-03 (ООО «Тритон-электроникс», Россия).

Для интерпретации полученных данных определяли среднюю ошибку. Результаты представили в виде графиков, отражающих описательный метод оценки согласованности измерений, предложенный D.G. Altman и J.M. Bland (1983). В нашем случае для каждой пары измерений СВ и СИ методами термодилуции и ОКО вычисляли их разность, после чего находили среднюю величину и стандартное отклонение разности. Средняя разность характеризует систематическое расхождение, тогда как стандартное отклонение — степень разброса результатов.

**Результаты.** После обработки первичных данных оказалось, что средние значения СВ, измеренные методом термодилуции и ОКО, очень близки:  $5,41 \pm 0,12$  и  $5,33 \pm 0,13$  л·мин<sup>-1</sup> соответственно, а показатели СИ —  $2,93 \pm 0,13$  и  $2,92 \pm 0,94$  л·мин<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup> соответственно. Расчет средней ошибки выявил, что как по СВ, так и по СИ она состави-

ла примерно 10%. Отклонение показателей ОКО в большую сторону по сравнению с термодилуцией составило  $11,1 \pm 1,2$  и  $9,6 \pm 1,1$  % для СВ и СИ соответственно, а в меньшую —  $10,8 \pm 1,3$  и  $12,1 \pm 1,3$  % соответственно. Хорошая сходимость полученных результатов по СВ и СИ, выполненных двумя способами измерения, видна и на диаграммах (рис. 3).

**Обсуждение.** Современный мониторинг гемодинамики — ценный ориентир, который, если используется одновременно с целенаправленной терапией, может приводить к улучшению клинических исходов. Причем чем тяжелее пациент, тем более комплексным должен быть мониторинг.

В представленном небольшом исследовании, задача которого состояла прежде всего в демонстрации потенциальной возможности применения такого старого метода, как ОКО, нежели подробном описании и анализе клинического течения раннего послеоперационного периода у изученных пациентов, показана хорошая сходимость результатов параллельных исследований производительности сердца двумя методами, один из которых считается эталонным для кардиохирургических пациентов.

Полученные результаты позволяют считать, что техническое совершенствование технологий мониторинга ни в коей мере не умаляет значимости простых (в том числе самых простых) и очень информативных методов глобальной оценки системы кровообращения: наблюдения за клинической картиной (осмотр кожных покровов, пальпация, перкуссия, аускультация), определения разницы температур между ядром тела и периферией, учета темпа диуреза и т. п.

**Заключение.** Оценка гемодинамики методом ОКО приноси очевидные достоинства: исключительная простота использования метода, абсолютная безопасность, отсутствие дополнительных датчиков и расходных материалов. Следует, однако, помнить, что у объемно-компрессионной

осциллометрии есть ограничения, свойственные любому методу, основанному на анализе пульсовой волны.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Информация о получении согласия на участие в исследовании.** В статье не приводятся индивидуальные данные пациентов. Все пациенты подписали информированное согласие на лечение, включающее выполнение инвазивных процедур и кардиохирургического вмешательства.

#### ORCID автора

Мазурок В.А. — 0000-0003-3917-0771

#### Литература/References

1. Кедров А.А. Попытка количественной оценки центрального и периферического кровообращения электрометрическим путем. Клиническая медицина. 1948; 26(5): 32. [Kedrov A.A. Popytka kolichestvennoy otsenki central'nogo i perifericheskogo krovoobrashcheniya elektrometricheskim putem. Klinicheskaya medicina. 1948; 26(5): 32. (In Russ)]
2. Кедров А.А. Электроплетизмография как метод объективной оценки кровообращения: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Л., 1949. [Kedrov A.A. Elektropletizmografiya kak metod ob'ektivnoy otsenki krovoobrashcheniya [avtoref. dissertation]. Leningrad, 1949. (In Russ)]
3. Тищенко М.И. Биофизические и метрологические основы интегральных методов определения ударного объема крови человека: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 1971. [Tishhenko M.I. Biofizicheskie i metrologicheskie osnovy integral'nyh metodov opredeleniya udarnogo ob'ema krovi cheloveka [avtoref. dissertation]. Moscow, 1971. (In Russ)]
4. Тищенко М.И., Сеплен М.А., Судакова З.В. Дыхательные изменения ударного объема левого желудочка здорового человека. Физиол. журн. СССР. 1973; 59(3): 459. [Tishhenko M.I., Seplen M.A., Sudakova Z.V. Dyhatel'nye izmeneniya udarnogo ob'ema levogo zheludochka zdorovogo cheloveka. Fiziol. zhurn. SSSR. 1973; 59(3): 459. (In Russ)]
5. Савицкий Н.Н. Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики. Л., 1974. [Savitskii N.N. Biofizicheskie osnovy krovoobrashcheniya i klinicheskie metody izucheniya gemodinamiki. Leningrad, 1974. (In Russ)]
6. Kubicek W.G., Patterson R.P., Witsoe D.A. Impedance cardiography as a noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system. Ann. N. Y. Acad. Sci. 1970; 170: 724.
7. Starr I. Studies made by simulating systole at necropsy. Circulation. 1954; 9: 648.
8. Agress C.M., Wegner S., Fremont R.P., Mori I., Day D.J. Measurement of the stroke volume by the vibrocardiogram. Aerospace Med. 1967; 38: 1248.
9. Брин В.Б., Зонис Б.Я. Физиология системного кровообращения. Формулы и расчеты. Изд-во Ростовского ун-та, 1984. [Brin V.B., Zonis B.Ya. Fiziologiya sistemnogo krovoobrashcheniya. Formuly i raschety. Izd-vo Rostovskogo un-ta, 1984. (In Russ)]
10. Jansen J.R.C., Schreuder J.J., Bogaard J.M., Rooyen W., Versprille A. The thermodilution technique for the measurement of cardiac output during artificial ventilation. J. Appl. Physiol. 1981; 51: 584–591.
11. Jansen J.R.C., Schreuder J.J., Settels J.J. et al. An adequate strategy for the thermodilution technique in patients during mechanical ventilation Intensive Care Med. 1990; 16: 422.
12. Stetz C.W., Miller R.G., Kelly G.E. Reliability of the thermodilution method in the determination of cardiac output in clinical practice. Am. Rev. Respir. Dis. 1982; 125: 1001–1004.
13. Stevens J.H., Raffin T.A., Mihm F.G., Rosenthal M.H., Stetz C.W. Thermodilution cardiac output measurement. Effect of the respiratory cycle on its reproducibility. JAMA. 1985; 253: 2240–2242.
14. Connors A.F. Jr, Speroff T., Dawson N.V. et al. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. SUPPORT Investigators. JAMA. 1996; 276(11): 889–897.
15. Dalen J.E., Bone R.C. Is It Time to Pull the Pulmonary Artery Catheter? JAMA. 1996; 276(11): 916–918.
16. Wheeler A.P., Bernard G.R., Thompson B.T. et al. Pulmonary-artery versus central venous catheter to guide treatment of acute lung injury. N. Engl. J. Med. 2006; 354(21): 2213–2224.
17. Ishihara H., Suzuki A., Okawa H. et al. The initial distribution volume of glucose rather than indocyanine green derived plasma volume is correlated with cardiac output following major surgery. Intensive Care Med. 2000; 26: 1441–1448.
18. Michard F., Alaya S., Zarka V. et al. Global end diastolic function as an indicator of cardiac preload in patients with septic shock. Chest. 2003; 124: 1900–1908.
19. Sakka S.G., Bredle D.L., Reinhart K. et al. Comparison between intrathoracic blood volume and cardiac filling pressures in the early phase of hemodynamic instability of patients with sepsis or septic shock. J. Crit. Care. 1999; 14: 78–83.
20. Brock H., Gabriel C., Bibl D. et al. Monitoring intravascular volumes for postoperative volume therapy. Eur. J. Anaesthesiol. 2002; 19: 288–294.
21. Godje O., Peyerl M., Seebauer T. et al. Central venous pressure, pulmonary capillary wedge pressure and intrathoracic blood volume as preload indicators in cardiac surgery patients. Eur. J. Cardiothorac. Surg. 1998; 13: 533–540.
22. Szanajder J.I., Zveibil F.R., Bitterman H. et al. Failure and complication rates by three percutaneous approaches. Arch. Intern. Med. 1986; 146: 259–261.
23. Marx G., Schindler A.W., Mosch C. et al. Intravascular volume therapy in adults: Guidelines from the Association of the Scientific Medical Societies in Germany. European Journal of Anaesthesiology. 2016; 33(7): 488–521. doi: 10.1097/EJA.0000000000000447.
24. Kozek-Langenecker S.A., Afshari A., Albaladejo P. et al. Management of severe perioperative bleeding: guidelines from the European Society of Anaesthesiology. Eur. J. Anaesthesiol. 2013; 30(6): 270–382. doi: 10.1097/EJA.0b013e32835f4d5b.
25. Трактат Желтого Императора о внутреннем. М.: Профит Стайл, 2015. [Traktat Zheltogo Imperatora o vnutrennem. Moscow: Profit Stail, 2015. (In Russ)]
26. Hirschl M.M., Binder M., Gwechenberger M. et al. Noninvasive assessment of cardiac output in critically ill patients by analysis of the finger blood pressure waveform. Crit. Care Med. 1997; 25(11): 1909–1914.
27. Wesseling K.H., Jansen J.R., Settels J.J. et al. Computation of aortic flow from pressure in humans using a nonlinear, three-element model. J. Appl. Physiol. 1993; 74(5): 2566–2573.
28. Jansen J.R.C., Schreuder J.J., Mulier J.P. et al. A comparison of cardiac output derived from the arterial pressure wave against thermodilution in cardiac surgery patients. Br. J. Anaesth. 2001; 87(2): 212–222.
29. Jellema W.T., Imholz B.P., van Goudoever J. et al. Finger arterial versus intrabrachial pressure and continuous cardiac output during head-up tilt testing in healthy subjects. Clin. Sci. (Lond.). 1996; 91(2): 193–200.
30. Pereira E., Prys-Roberts C., Dagnino J. et al. Auscultatory measurement of arterial pressure during anaesthesia: a reassessment of Korotkoff sounds. Eur. J. Anaesthesiol. 1985; 2: 11–20.