

DOI 10.21292/2078-5658-2018-15-4-42-47

ОЦЕНКА СЕРДЕЧНОГО ВЫБРОСА У ДЕТЕЙ ПОСЛЕ КАРДИОХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ: СРАВНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МОНИТОРА СЕРДЕЧНОГО ВЫБРОСА И ЭХОКАРДИОГРАФИИ

Н. П. ЛЕОНОВ, О. В. СТРУНИН, Н. В. ПОЛЕТАЕВА, В. В. ЛОМИВОРОТОВ, А. М. КАРАСЬКОВ

ФГБУ «НМИЦ им. акад. Е. Н. Мешалкина» МЗ РФ, г. Новосибирск, Россия

Цель: оценка точности измерения сердечного выброса (СВ) с помощью устройства ультразвукового мониторинга сердечного выброса (USCOM) по сравнению с эхокардиографией (ЕЧО) у детей после кардиохирургических операций.

Материалы и методы: проспективное наблюдательное исследование (оценивались на приемлемость 288 пациентов, подвергнуты анализу данные 88 пациентов). СВ измеряли с помощью USCOM и ЕЧО.

Результаты. Возраст пациентов составил 305 ± 177 дней. СВ, измеренный на устройстве USCOM, составлял $1,310 \pm 0,605$ [1,182; 1,438] л/мин, а с помощью ЕЧО – $1,298 \pm 0,608$ [1,169; 1,427] л/мин. ANOVA не показал статистически значимых различий ($p = 0,89$). Обнаружена сильная положительная корреляция между показателями СВ двух методов измерений ($r = 0,945$ [0,918, 0,964], $p < 0,0001$). Метод Блэнда – Алтмана показал смещение $0,012 \pm 0,200$ л/мин и пределы согласования от $-0,38$ до $0,4$ л/мин. Не было корреляции между смещением и средними значениями СВ ($r = -0,015$ [-0,224, 0,195], $p = 0,89$).

Выводы. USCOM достоверно определяет значения СВ по сравнению с эталонным методом ЕЧО. Несмотря на известные ограничения, оба метода могут использоваться у детей после кардиохирургических операций: USCOM – для скрининга, ЕЧО – для расширенных исследований.

Ключевые слова: сердечный выброс, дети, мониторинг, USCOM

Для цитирования: Леонов Н. П., Струнин О. В., Поletaeva Н. В., Ломиворотов В. В., Караськов А. М. Оценка сердечного выброса у детей после кардиохирургических операций: сравнение измерений ультразвукового монитора сердечного выброса и эхокардиографии // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 42-47. DOI: 10.21292/2078-5658-2018-15-4-42-47

CARDIAC OUTPUT MEASUREMENT IN THE CHILDREN AFTER CARDIAC SURGERY: COMPARISON OF ULTRASOUND MONITORING OF CARDIAC OUTPUT AND ECHOCARDIOGRAPHY

N. P. LEONOV, O. V. STRUNIN, N. V. POLETAEVA, V. V. LOMIVOROTOV, A. M. KARASKOV

E. N. Meshalkin Research Institute of Blood Circulation Pathology, Novosibirsk, Russia

The objective: to assess the accuracy of cardiac output measurement by ultrasonic cardiac output monitor (USCOM) versus echocardiography (ECHO) in the children after cardiac surgery.

Subjects and methods: A prospective observational trial was conducted (288 patients were assessed for eligibility, and data from 88 patients were analyzed). Cardiac output was measured by USCOM and ECHO.

Results. The age of the patients was 305 ± 177 days. Cardiac output measured by USCOM, was 1.310 ± 0.605 [1.182; 1.438] L/min, while the one measured by ECHO made 1.298 ± 0.608 [1.169; 1.427] L/min. ANOVA demonstrated no statistically significant difference ($p = 0.89$). A significant positive correlation was found between cardiac output rates measured by two methods ($r = 0.945$ [0.918, 0.964], $p < 0.0001$). The Bland-Altman plot demonstrated the shift of 0.012 ± 0.200 L/min. and agreement limits from -0.38 to 0.4 L/min. There was no correlation between the shift and median values of cardiac output ($r = -0.015$ [-0.224, 0.195], $p = 0.89$).

Conclusions. USCOM credibly measures the cardiac output versus the reference method of ECHO. Despite the known limitations, both methods can be used in children after cardiac surgery: USCOM – for screening, ECHO – for deeper examination.

Key words: cardiac output, children, monitoring, USCOM

For citations: Leonov N.P., Strunin O.V., Poletaeva N.V., Lomivorotov V.V., Karaskov A.M. Cardiac output measurement in the children after cardiac surgery: comparison of ultrasound monitoring of cardiac output and echocardiography. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2018, Vol. 15, no. 4, P. 42-47. (In Russ.) DOI: 10.21292/2078-5658-2018-15-4-42-47

Одним из важнейших показателей, позволяющих производить адекватное управление гемодинамикой у кардиохирургических пациентов, является сердечный выброс (СВ) [1]. Следует отметить, что инвазивные методы оценки гемодинамических показателей, в том числе и СВ, являются трудоемкими, дорогими и небезопасными, особенно у детей раннего возраста. Идеальная система мониторинга СВ должна быть неинвазивной, простой в использовании и надежной [11]. Неинвазивный мониторинг СВ является предметом большого интереса в терапии неотложных и критических состояний [2, 5].

Эхокардиография (ЕЧО) является золотым стандартом среди неинвазивных методов мониторинга СВ, поскольку этот метод обеспечивает высокую эффективность диагностики с низким риском осложнений, особенно у пациентов раннего детского возраста [15]. Метод основан на измерении интеграла линейной скорости (VTI) кровотока через выходящий тракт левого желудочка (ВТЛЖ) и площади поперечного сечения ВТЛЖ. Ограничениями метода ЕЧО являются необходимость обучения врача ультразвуковой диагностике и его сертификация по данной специальности. Устройство USCOM (уль-

тразвуковой монитор СВ) является аналогичным методом неинвазивного мониторинга СВ, который также использует ультразвуковой датчик, применяемый снаружи грудной клетки. Этот метод основан на измерении VTI кровотока через ВТЛЖ и площади поперечного сечения ВТЛЖ, определяемой исходя из табличных значений в зависимости от массы, роста и поверхности тела пациента [7, 14]. Использование устройства USCOM не требует специальных сертификаций и может быть доверено даже среднему медицинскому персоналу после одностороннего обучающего курса. Имеющиеся данные научных исследований устройств USCOM дают противоречивую оценку его эффективности при оценке СВ [8, 13, 19–21]. По мнению некоторых исследователей, существуют следующие недостатки измерения СВ на устройстве USCOM: во-первых, неправильная оценка VTI из-за невозможности точного расположения датчика относительно ВТЛЖ; во-вторых, использование табличных значений площади поперечного сечения ВТЛЖ [9]. По данным поиска в англоязычной текстовой базе данных медицинских и биологических публикаций PubMed (Национальным центром биотехнологической информации) нами найдено только три ссылки на исследования по сравнению применения USCOM и классической эхокардиографии в мониторинге СВ у детей [17, 22, 23]. Эти исследования включали от 20 до 56 детей раннего возраста, а результаты исследований были противоречивы: в одном эффективность устройства USCOM подтверждалась, в другом опровергалась, в третьем авторы не делали однозначного вывода.

Цель исследования: оценка точности измерения СВ посредством устройства USCOM по сравнению с ЭХО у детей после кардиохирургических операций.

Материалы и методы

В период с октября 2017 г. по январь 2018 г. в ФГБУ «НМИЦ им. акад. Е. Н. Мешалкина» Минздрава России в детском отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) проведено проспективное наблюдательное исследование, которое одобрено этическим комитетом организации. Письменное согласие родителей пациентов на измерение СВ получено для каждого ребенка, включенного в исследование.

Критерии включения в исследование: возраст ребенка до 5 лет, нахождение в ОРИТ после хирургической коррекции врожденного порока сердца в первые 24 ч после операции, проведение пациенту искусственной вентиляции легких (ИВЛ) во время измерения СВ.

Критерии исключения: наличие трахеостомы, подкожная эмфизема, отек тканей грудной клетки, хирургический диастаз грудины, высокие дозы кардиотоников ($VIS > 25$), синдром гетеротаксии, неустранимый стеноз ВТЛЖ и аортального клапа-

на ($PG_{max} > 15$ мм рт. ст.). Сразу после операции в детском ОРИТ два врача проводили измерение СВ: один с использованием устройства USCOM, а другой – при помощи эхокардиографии (УЗИ-аппарат PHILIPS CX50).

На приемлемость к включению в исследование оценены 288 пациентов, проходящих лечение в центре; 199 – исключены до оценки СВ. Один пациент был исключен после оценки СВ, поскольку при исследовании с помощью ЭХО выявили стеноз ВТЛЖ ($PG_{max} = 30$ мм рт. ст.). Схема отбора пациентов представлена на рис. 1.

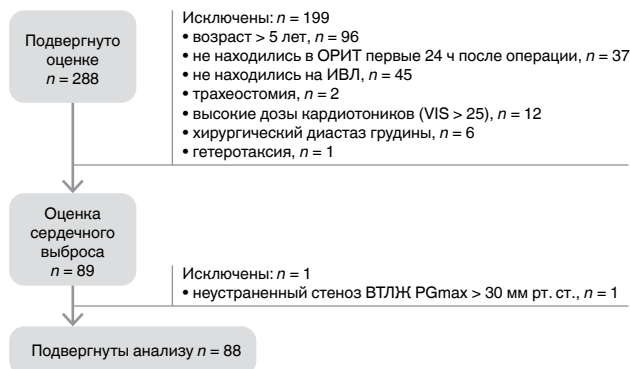


Рис. 1. Схема отбора пациентов. ВТЛЖ – выходной тракт левого желудочка; PG_{max} , максимальный пиковый градиент; VIS – вазоинотропный балл

Fig. 1. Patients' selection chart. LVOT – left ventricular outflow tract; PG_{max} , maximum peak gradient; VIS – vasoinotropic score

Нозологическая характеристика когорты, ее демографические и послеоперационные показатели представлены в табл.

Техника оценки СВ на устройстве USCOM (USCOM Ltd, Сидней, Австралия). Измерения проводились одним исследователем. После запуска устройства USCOM вводили данные пациента (включая массу тела, рост, пол, ЧСС, АД, ЦВД, показатели гемоглобина крови и сатурации). Допплер-датчик аппарата USCOM располагался в зоне яремной ямки, чтобы получить оптимальный сигнал трансортального потока на аортальном клапане. На дисплее монитора получали ряд оптимальных доплеровских кривых, после фиксации которых аппарат производил автоматический расчет гемодинамических показателей, в том числе и СВ. Значения СВ фиксировали в карте исследования.

Техника оценки СВ посредством ЭХО. Измерения проводились другим исследователем, который имеет сертификат врача ультразвуковой диагностики. Расчеты фиксировали в карте исследования. Производили расчет ударного объема, метод вычисления которого основан на измерении VTI кровотока через ВТЛЖ и площади поперечного сечения ВТЛЖ [4, 16]. После производили расчет СВ.

Статистические методы. Демографические характеристики представлены описательной статистикой, непрерывные данные – как средние и стандартные отклонения или как медианные и

Таблица. Характеристика пациентов

Table. Description of the patients

Показатели (n = 88)	Значения
Базовые характеристики:	
Возраст, дни	305 ± 177
Пол, м/ж (%)	48/40 (54,5/45,5)
Масса тела, кг	8 ± 3
Рост, см	70 ± 19
Показатели после операции в ОРИТ:	
АДсист., мм рт. ст.	95 ± 10
АДдиаст., мм рт. ст.	55 ± 9
ЧСС, уд./мин	139 ± 15
ЦВД, мм рт. ст.	8 ± 3
Гемоглобин крови, г/л	146 ± 26
SpO ₂ , %	100 (97; 100)*
Вазоинотропный балл (VIS), баллы	7 ± 6
Нозология врожденных пороков когорты	
Транспозиция магистральных сосудов	4
Стеноз легочной артерии	4
Дефект межжелудочковой перегородки	16
Аортальная болезнь сердца	8
Аномальный дренаж легочных вен	8
Атриоventрикулярный канал	4
Тетрада Фалло	12
Дефект межпредсердной перегородки	20
Дефект межпредсердной и межжелудочковой перегородки	12

Примечание: данные представлены как среднее ± стандартное отклонение, * – медиана (перцентили: 25-й, 75-й) или N (%)

межквартильные диапазоны. Качественные характеристики представлены как частоты и проценты. Проверку нормальности распределения количественных признаков проводили с использованием критерия Колмогорова – Смирнова (с поправкой Лиллиефорса). Мы использовали для анализа СВ тест Левена, чтобы проверить предположение об однородности дисперсий перед запуском теста ANOVA. Также использовали корреляционный анализ для установления взаимосвязи между количественными признаками. Их данные представлены на двухмерной диаграмме рассеяния. Статистические гипотезы считались подтвержденными при уровне значимости $p < 0,05$. Метод Блэнда – Альтмана применяли для оценки смещения и пределов согласия между двумя методами оценки СВ. Для каждой пары измерений, выполненных одним и другим методами, вычисляли их разность. Вычисляли также среднюю разность и стандартное отклонение разности. Средняя разность характеризует систематическое расхождение, а стандартное отклонение – степень разброса результатов. Данные представлены в виде диаграммы Блэнда – Альтмана. Статистический анализ осуществляли с использованием пакетов EXCEL 7.0.

Результаты

Показатели СВ, измеренные на устройстве USCOM, составили $1,310 \pm 0,605$ [1,182; 1,438] л/мин, а методом ЕСНО – $1,298 \pm 0,608$ [1,169; 1,427] л/мин. При нормативных значениях СВ у пациентов возрастной группы от 0 до 2 лет, равных 2,5–3,5 л/мин, полученные нами данные свидетельствуют о низком СВ у большинства пациентов после кардиохирургических операций. Так, при измерении на устройстве USCOM только у одного пациента СВ соответствовал нормальным референтным значениям (1,14%), а при измерении при помощи ЕСНО СВ – только у 3 (3,4%) пациентов. Для оценки различий показателей СВ между методами измерения использован однофакторный дисперсионный анализ, который не показал статистически значимых различий, $p = 0,89$. Кроме того, корреляционный анализ показал тесную взаимосвязь показателей СВ, измеренного двумя методами ($r = 0,945$ [0,918; 0,964]; $p < 0,0001$). Сравнение СВ, измеренного на устройстве USCOM (СВ USCOM) и методом эхокардиографии (СВ ЕСНО), представлено на диаграмме рассеяния с линией наилучшего соответствия (рис. 2).

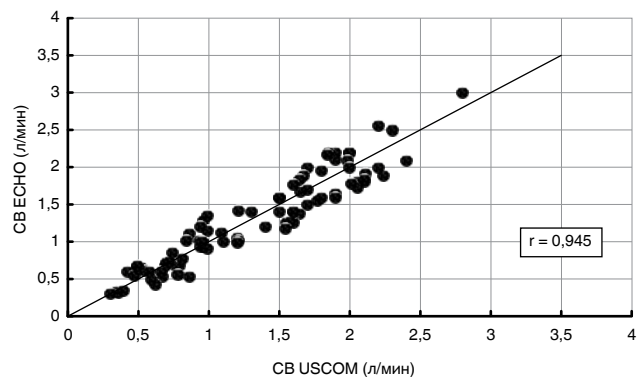


Рис. 2. Диаграмма рассеяния измерений сердечного выброса (СВ) с линией наилучшего соответствия; r – коэффициент корреляции

Fig. 2. Chart of measurement spread of cardiac output with the line of the best fit; r – correlation co-efficient

Таким образом, показатели СВ, измеренные на устройстве USCOM и ЕСНО, могут быть вполне сравнимы. Однако для оценки меры согласия этого недостаточно, поэтому мы использовали метод Блэнда – Альтмана (рис. 3).

Среднее значение разности СВ (Bias), измеренного с помощью этих двух методов, составило $0,012 \pm 0,200$ [-0,38; 0,4] л/мин. Низкий показатель средней разности свидетельствует об отсутствии систематического расхождения измерений, полученных двумя методами. Стандартное отклонение разностей не слишком велико по сравнению с самими значениями, т. е. степень разброса показателей не велика. Согласно диаграмме Блэнда – Альтмана, при измерении СВ на устройстве USCOM и мето-

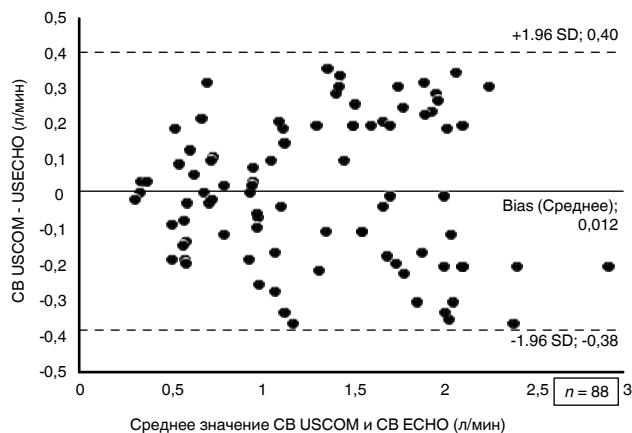


Рис. 3. Диаграмма Блэнда – Альтмана; Bias – значение средней разницы между СВ, измеренным на аппарате USCUM (CB USCUM), и СВ, измеренным на ECHO (CB ECHO); $\pm 1,96$ SD – верхняя и нижняя 95%-ная граница согласованности

Fig. 3. The Bland-Altman plot; Bias – the value of medium difference between the cardiac output measured by USCUM (CO USCUM) tool and cardiac output measured by ECHO (CO ECHO); ± 1.96 SD – upper and lower 95% agreement limits

дом ECHO значения разницы показателей при парных измерениях попали в интервал $\pm 1,96$ SD 95%, а коэффициент корреляции показал отсутствие корреляционной связи между разностью измерений (bias) и средними значениями СВ ($r = -0,015$ [-0,224; 0,195]; $p = 0,89$). Таким образом, измерения, полученные обоими способами, хорошо согласовались друг с другом.

Обсуждение

Обнаружили, что подавляющее большинство детей после операции, как по данным ECHO, так и по данным USCUM, имеют низкий СВ несмотря на хорошие гемодинамические показатели (ЧСС, АД, ЦВД). Учитывая это, мы видим, что у детей после кардиохирургической операции имеются сниженный ударный объем (УО) сердца и высокое общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС). В дальнейшем при прогрессировании сердечной недостаточности, т. е. при дальнейшем падении УО, наблюдается повышение ЧСС как механизм компенсации, но при этом отмечают снижение АД и увеличение уровня лактата. Увеличение кардиотонической поддержки на данном этапе может быть запоздалой мерой. Гемодинамический менеджмент должен быть своевременным и производиться до срыва компенсаторных физиологических механизмов, т. е. до угрозы гипоксии на фоне низкого СВ. Очевидно, что гемодинамический менеджмент на основе рутинных данных гемодинамики, таких как ЧСС, АД и ЦВД, не является идеальным. Данное исследование показывает, что у детей после кардиохирургических операций необходимо проводить мониторинг дополнительных гемодинамических показателей, одним из которых является

мониторинг СВ, а цель-ориентированный гемодинамический менеджмент должен проводиться с учетом показателей УО и ОПСС, т. е. показателей мониторинга СВ. Учитывая эти и другие показатели гемодинамики, P. Pölonen et al. показали, что гемодинамический цель-ориентированный менеджмент с расширенным мониторингом показателей гемодинамики методом чреспищеводного доплер-исследования способен снизить сроки госпитализации и частоту осложнений у кардиохирургических больных [18]. M. S. Goepfert et al. не выявили влияния на исход заболевания при использовании алгоритма гемодинамической терапии на основе расширенного гемодинамического мониторинга с использованием PICCO у кардиохирургических больных, но обнаружили влияние на уменьшение сроков ИВЛ и пребывания в ОРИТ, а также уменьшение VIS [12]. Также многие авторы указывают на уменьшение тяжести и частоты прогрессирования полиорганной дисфункции [3, 6, 10].

Наше исследование показало очень хорошее согласие между СВ, измеренным на устройстве USCUM, и СВ, определенным ECHO. Преимуществом ECHO является возможность точной оценки СВ, визуализации анатомии сердца и сосудов, а также получения других важных диагностических данных и показателей. Однако для ее рутинного использования необходим врач, имеющий сертификат специалиста ультразвуковой диагностики, прошедший длительное дорогостоящее обучение, а также имеющий всесторонний практический опыт использования аппарата ультразвуковой диагностики. Преимуществом устройства USCUM является возможность его повседневного и рутинного использования врачами и средним медицинским персоналом без сертификации после прохождения короткого обучающего курса на рабочем месте. Мы считаем, что как аппарат эхокардиографии (для расширенной диагностики), так и устройство USCUM (для скрининговых исследований) должны быть востребованы для мониторинга показателей гемодинамики в ОРИТ, а также для создания и использования цель-ориентированного протокола терапии гемодинамических нарушений после кардиохирургических операций у детей.

Выводы

1. У детей до двух лет после кардиохирургических операций отмечается сниженный СВ, несмотря на достижение адекватных показателей стандартного гемодинамического мониторинга (ЧСС, АД, ЦВД).
2. Мониторинг СВ, измеренного при помощи эхокардиографии или устройства USCUM, необходим для адекватной цель-ориентированной гемодинамической терапии, которая, по данным литературы, способна улучшить состояние больных и снизить количество осложнений.

3. Показатели СВ, измеренного на устройстве USCOM и при помощи эхокардиографии, хорошо согласуются друг с другом. Несмотря на известные ограничения, обе методики могут применяться у кардиохирургических больных: USCOM – для скрининга, эхокардиография – для расширенных исследований.

4. Преимуществом устройства USCOM является возможность его использования медицинским персоналом без сертификации по специальности «Ультразвуковая диагностика» после короткого обучающего курса на рабочем месте.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Conflict of Interests. The authors state that they have no conflict of interests.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьков В. В., Киров М. Ю. Инвазивный мониторинг гемодинамики в интенсивной терапии и анестезиологии: монография – Изд-е второе, перераб. и доп. – Архангельск: Северный государственный медицинский университет, 2015. – 392 с.
2. Лекманов А. У., Азовский Д. К., Пилотик С. Ф. Сравнение методов трансторакальной доплерографии и транспульмональной термодилуции при анализе гемодинамических показателей у детей с тяжелой термической травмой // Вестн. анестезиологии и реаниматологии. – 2017. – 14, № 1. – С. 42–50.
3. Паромов К. В., Ленкин А. И., Кузьков В. В. и др. Целенаправленная оптимизация гемодинамики в периоперационном периоде: возможности и перспективы // Патология кровообращения и кардиохирургия. – 2014. – № 3. – С. 59–66.
4. Armstrong W. F., Ryan T. Feigenbaum's Echocardiography – 7th ed. – Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2010. – 816 p.
5. Bernard S. The patient with shock: is there any role for the non-invasive monitoring of cardiac output? // Emerg. Med. Australas. – 2005. – Vol. 17, № 3. – P. 189–190.
6. Brienza N., Giglio M. T., Marucci M. et al. Does perioperative hemodynamic optimization protect renal function in surgical patients? A meta-analytic study // Crit. Care Med. – 2009. – Vol. 37, № 6. – P. 2079–2090.
7. Cattermole G. N., Leung P. Y., Ho G. Y. et al. The normal ranges of cardiovascular parameters measured using the Ultrasonic Cardiac Output Monitor // Physiol. Rep. – 2017. – Vol. 5, № 6. – P. e13195.
8. Chong S. W., Peyton P. J. A meta-analysis of the accuracy and precision of the ultrasonic cardiac output monitor (USCOM) // Anaesthesia. – 2012. – Vol. 67, № 11. – P. 1266–1271.
9. Critchley L. A., Lee A., Ho A. M. A critical review of the ability of continuous cardiac output monitors to measure trends in cardiac output // Anesth. Analg. – 2010. – Vol. 111, № 5. – P. 1180–1192.
10. Donati A., Loggi S., Preiser J. C. et al. Goal-directed intraoperative therapy reduces morbidity and length of hospital stay in high-risk surgical patients // Chest. – 2007. – Vol. 132, № 6. – P. 1817–1824.
11. Drummond K. E., Murphy E. Minimally invasive cardiac output monitors // Contin. Educ. Anaesth. Crit. Care Pain. – 2012. – Vol. 12, № 1. – P. 5–10. URL: <https://doi.org/10.1093/bjaceaccp/mkr044>
12. Goepfert M. S., Reuter D. A., Akyol D., Lamm P. et al. Goal-directed fluid management reduces vasopressor and catecholamine use in cardiac surgery patients // Int. Care Med. – 2007. – Vol. 33, № 1. – P. 96–103.
13. Horster S., Stemmler H. J., Strecker N. et al. Cardiac output measurements in septic patients: comparing the accuracy of USCOM to PiCCO // Crit. Care Res. Pract. – 2012. – URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/270631>
14. Lichtenthal P. R., Phillips R. A., Sloniger J. A. et al. USCOM – non invasive doppler – are cardiac output measurements accurate in both infants and adults? // Anesthesiology. – 2006. – Vol. 105. – P. A466.
15. Meyer S., Todd D., Wright I. et al. Review article: Non-invasive assessment of cardiac output with portable continuous-wave Doppler ultrasound // Emerg. Med. Australas. – 2008. – Vol. 20, № 3. – P. 201–208.
16. Otto C. M. Textbook of Clinical Echocardiography. – 5th ed. – Philadelphia, PA: Elsevier Saunders, 2013. – 552 p.
17. Patel N., Dodsworth M., Mills J. F. Cardiac output measurement in newborn infants using the ultrasonic cardiac output monitor: an assessment of agreement with conventional echocardiography, repeatability and new user experience // Arch. Dis. Child Fetal. Neonatal Ed. – 2011. – Vol. 96, № 3. – P. 206–211.

REFERENCES

1. Kuzkov V.V., Kirov M.Yu. *Invasivny monitoring hemodinamiki v intensivnoy treapi i anesteziologii*. [Invasive monitoring of hemodynamics in intensive therapy and anesthesiology]. 2nd Edition, reviewed and supplemented, Arkhangelsk, Northern State Medical University Publ., 2015, 392 p.
2. Lekmanov A.U., Azovskiy D.K., Pilyutik S.F. Comparison of Doppler ultrasonography and transpulmonary thermodilution when analyzing hemodynamic rates in the children with severe thermal injury. *Vestn. Anesteziologii i Reanimatologii*, 2017, 14, no. 1, pp. 42-50. (In Russ.)
3. Paromov K.V., Lenkin A.I., Kuzkov V.V. et al. Targeted optimization of hemodynamics in the peri-operative period: opportunities and perspectives. *Patologiya Krovoobrascheniya i Kardiokirurgiya*, 2014, no. 3, pp. 59-66. (In Russ.)
4. Armstrong W.F., Ryan T. Feigenbaum's Echocardiography, 7th ed. Philadelphia, PA, Lippincott Williams & Wilkins, 2010, 816 p.
5. Bernard S. The patient with shock: is there any role for the non-invasive monitoring of cardiac output? *Emerg. Med. Australas*, 2005, vol. 17, no. 3, pp. 189-190.
6. Brienza N., Giglio M.T., Marucci M. et al. Does perioperative hemodynamic optimization protect renal function in surgical patients? A meta-analytic study. *Crit. Care Med.*, 2009, vol. 37, no. 6, pp. 2079-2090.
7. Cattermole G.N., Leung P.Y., Ho G.Y. et al. The normal ranges of cardiovascular parameters measured using the Ultrasonic Cardiac Output Monitor. *Physiol. Rep.*, 2017, vol. 5, no. 6, pp. e13195.
8. Chong S.W., Peyton P.J. A meta-analysis of the accuracy and precision of the ultrasonic cardiac output monitor (USCOM). *Anaesthesia*, 2012, vol. 67, no. 11, pp. 1266-1271.
9. Critchley L.A., Lee A., Ho A.M. A critical review of the ability of continuous cardiac output monitors to measure trends in cardiac output. *Anesth. Analg.*, 2010, vol. 111, no. 5, pp. 1180-1192.
10. Donati A., Loggi S., Preiser J.C. et al. Goal-directed intraoperative therapy reduces morbidity and length of hospital stay in high-risk surgical patients. *Chest*, 2007, vol. 132, no. 6, pp. 1817-1824.
11. Drummond K.E., Murphy E. Minimally invasive cardiac output monitors. *Contin. Educ. Anaesth. Crit. Care Pain*, 2012, vol. 12, no. 1, pp. 5-10. URL: <https://doi.org/10.1093/bjaceaccp/mkr044>
12. Goepfert M.S., Reuter D.A., Akyol D., Lamm P. et al. Goal-directed fluid management reduces vasopressor and catecholamine use in cardiac surgery patients. *Int. Care Med.*, 2007, vol. 33, no. 1, pp. 96-103.
13. Horster S., Stemmler H.J., Strecker N. et al. Cardiac output measurements in septic patients: comparing the accuracy of USCOM to PiCCO. *Crit. Care Res. Pract.*, 2012, URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/270631>
14. Lichtenthal P.R., Phillips R.A., Sloniger J.A. et al. USCOM – non invasive doppler – are cardiac output measurements accurate in both infants and adults? *Anesthesiology*, 2006, vol. 105, pp. A466.
15. Meyer S., Todd D., Wright I. et al. Review article: Non-invasive assessment of cardiac output with portable continuous-wave Doppler ultrasound. *Emerg. Med. Australas*, 2008, vol. 20, no. 3, pp. 201-208.
16. Otto C.M. Textbook of Clinical Echocardiography. 5th ed., Philadelphia, PA, Elsevier Saunders, 2013, 552 p.
17. Patel N., Dodsworth M., Mills J.F. Cardiac output measurement in newborn infants using the ultrasonic cardiac output monitor: an assessment of agreement with conventional echocardiography, repeatability and new user experience. *Arch. Dis. Child Fetal. Neonatal Ed.*, 2011, vol. 96, no. 3, pp. 206-211.

18. Pölonen P, Ruokonen E., Hippeläinen M. et al. A prospective, randomized study of goal-oriented hemodynamic therapy in cardiac surgical patients // *Anesth. Analg.* – 2000. – Vol. 90, № 5. – P. 1052–1059.
19. Thom O., Taylor D. M., Wolfe R. E. et al. Comparison of a supra-sternal cardiac output monitor (USCOM) with the pulmonary artery catheter // *Br. J. Anaesth.* – 2009. – Vol. 103, № 6. – P. 800–804.
20. Van Lelyveld-Haas L. E., van Zanten A. R., Borm G. F. et al. Clinical validation of the non-invasive cardiac output monitor USCOM-1A in critically ill patients // *Eur. J. Anaesthesiol.* – 2008. – Vol. 25, № 11. – P. 917–924.
21. Van den Oever H. L., Murphy E. J., Christie-Taylor G. A. USCOM (Ultrasonic Cardiac Output Monitors) lacks agreement with thermodilution cardiac output and transoesophageal echocardiography valve measurements // *Anaesth. Intens. Care.* – 2007. – Vol. 35, № 6. – P. 903–910.
22. Wongsirimetheekul T., Khositseth A., Lertbunriam R. Non-invasive cardiac output assessment in critically ill paediatric patients // *Acta Cardiol.* – 2014. – Vol. 69, № 2. – P. 167–173.
23. Zheng M. L., Sun X., Zhong J. et al. Clinical study of neonatal cardiac output measurement methods // *Zhonghua Er Ke Za Zhi.* – 2013. – Vol. 51, № 1. – P. 58–63.
18. Pölonen P, Ruokonen E., Hippeläinen M. et al. A prospective, randomized study of goal-oriented hemodynamic therapy in cardiac surgical patients. *Anesth. Analg.*, 2000, vol. 90, no. 5, pp. 1052-1059.
19. Thom O., Taylor D.M., Wolfe R.E. et al. Comparison of a supra-sternal cardiac output monitor (USCOM) with the pulmonary artery catheter. *Br. J. Anaesth.*, 2009, vol. 103, no. 6, pp. 800-804.
20. Van Lelyveld-Haas L.E., van Zanten A.R., Borm G.F. et al. Clinical validation of the non-invasive cardiac output monitor USCOM-1A in critically ill patients. *Eur. J. Anaesthesiol.*, 2008, vol. 25, no. 11, pp. 917-924.
21. Van den Oever H.L., Murphy E.J., Christie-Taylor G.A. USCOM (Ultrasonic Cardiac Output Monitors) lacks agreement with thermodilution cardiac output and transoesophageal echocardiography valve measurements. *Anaesth. Intens. Care*, 2007, vol. 35, no. 6, pp. 903-910.
22. Wongsirimetheekul T., Khositseth A., Lertbunriam R. Non-invasive cardiac output assessment in critically ill paediatric patients. *Acta Cardiol.*, 2014, vol. 69, no. 2, pp. 167-173.
23. Zheng M.L., Sun X., Zhong J. et al. Clinical study of neonatal cardiac output measurement methods. *Zhonghua Er Ke Za Zhi*, 2013, vol. 51, no. 1, pp. 58-63.

ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:

ФГБУ «НМИЦ им. акад. Е. Н. Мешалкина» МЗ РФ,
630055, г. Новосибирск,
ул. Речкуновская, д. 15.

Леонов Николай Петрович

кандидат медицинских наук, врач
анестезиолог-реаниматолог отделения
анестезиологии-реанимации, младший научный сотрудник
центра анестезиологии и реаниматологии.
E-mail: NikoLeonov@ya.ru

Струнин Олег Всеволодович

доктор медицинских наук,
заведующий отделением анестезиологии-реанимации.
E-mail: struninov@mail.ru

Поletaева Наталья Витальевна

врач анестезиолог-реаниматолог отделения
анестезиологии-реанимации.
E-mail: poletaeva_natalja@rambler.ru

Ломиворотов Владимир Владимирович

член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук,
профессор, заместитель директора по научной работе,
руководитель центра анестезиологии и реаниматологии.
Тел.: 8 (383) 347-60-54, 8 (383) 332-24-37.
E-mail: vlom@mail.ru

Караськов Александр Михайлович

академик РАН, доктор медицинских наук,
профессор, директор.
Тел.: 8 (383) 332-47-58, 8 (383) 347-60-58.
E-mail: karaskov_am@mail.ru

FOR CORRESPONDENCE:

E.N. Meshalkin Research Institute
of Blood Circulation Pathology,
15, Rechkunovskaya St., Novosibirsk, 630055

Nikolay P. Leonov

Candidate of Medical Sciences,
Anesthesiologist and Emergency Physician of Anesthesiology
and Intensive Care Unit,
Junior Researcher of Anesthesiology and Intensive Care Center.
E-mail: NikoLeonov@ya.ru

Oleg V. Strunin

Doctor of Medical Sciences,
Head of Anesthesiology and Intensive Care Unit.
E-mail: struninov@mail.ru

Natalya V. Poletaeva

Anesthesiologist and Emergency Physician of Anesthesiology
and Intensive Care Unit.
E-mail: poletaeva_natalja@rambler.ru

Vladimir V. Lomivorotov

Correspondent Member of RAS, Doctor of Medical Sciences,
Professor, Deputy Director for Research,
Head of Anesthesiology and Intensive Care Center.
Phone: +7 (383) 347-60-54; +7 (383) 332-24-37.
E-mail: vlom@mail.ru

Aleksandr M. Karaskov

Academician of RAS, Doctor of Medical Sciences,
Professor, Director.
Phone: +7 (383) 332-47-58; +7 (383) 347-60-58.
E-mail: karaskov_am@mail.ru