УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МОНИТОРИНГ СЕРДЕЧНОГО ИНДЕКСА ПОСЛЕ АОРТОКОРОНАРНОГО ШУНТИРОВАНИЯ НА РАБОТАЮЩЕМ СЕРДЦЕ

Н.Н. Изотова[1, 2], Я.Ю. Ильина[1, 2], Е.В. Фот[1, 2], А.А. Сметкин[1, 2], В.В. Кузьков[1, 2], М.Ю. Киров[1, 2]

[1] ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», Архангельск
[2] ГБУЗ АО «Первая городская клиническая больница им. Е.Е. Волосевич» г. Архангельска

Цель исследования. Оценка точности измерения сердечного индекса (СИ) с помощью монитора USCOM у пациентов после аортокоронарного шунтирования без искусственного кровообращения (АКШ без ИК). *Методы*. В исследование было включено 14 пациентов после АКШ без ИК. Измерения СИ аппаратом USCOM ($СИ_{USCOM}$) выполнялись на семи этапах в послеоперационном периоде. Статистический анализ включал оценку согласованности абсолютных значений СИ на всех этапах исследования, а также отдельно на этапах до и после экстубации трахеи. Для оценки согласованности использован анализ Бланда—Альтмана. *Результаты*. Всего было получено 98 пар данных. Значения $СИ_{USCOM}$ сравнивали с СИ, полученным методом препульмональной термодилюции ($СИ_{TD}$), используя катетер в легочной артерии. Согласно анализу Бланда—Альтмана среди всех пар данных средняя разница между $СИ_{USCOM}$ и $СИ_{TD}$ составила −1,09 л/мин/м^2 с границами согласованности ±1,18 л/мин/м^2 и процентной ошибкой 63 %. На этапах исследования до экстубации трахеи средняя разница между $СИ_{USCOM}$ и $СИ_{TD}$ составила −1,16 л/мин/м^2 с границей согласованности ±1,15 л/мин/м^2 и процентной ошибкой 67 %; после экстубации трахеи соответственно −1,00 л/мин/м^2 ±1,23 л/мин/м^2 и 59 %.

Выводы. USCOM демонстрирует низкую точность с недооценкой сердечного индекса как до, так и после экстубации трахеи, что не позволяет рекомендовать рутинное использование данного метода в кардиохирургии.

- ***Ключевые слова*:** сердечный индекс, гемодинамика, мониторинг гемодинамики, неинвазивный мониторинг, аортокоронарное шунтирование

Для корреспонденции: Киров Михаил Юрьевич — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой анестезиологии и реаниматологии ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» МЗ РФ, Архангельск; e-mail: mikhail_kirov@hotmail.com

Для цитирования: Изотова Н.Н., Ильина Я.Ю., Фот Е.В. и др. Ультразвуковой мониторинг сердечного индекса после аортокоронарного шунтирования на работающем сердце. Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова. 2018;2:57–60.

ULTRASOUND-BASED MONITORING OF CARDIAC OUTPUT AFTER OFF-PUMP CORONARY ARTERY BYPASS GRAFTING

N.N. Izotova[1, 2], Ya.Yu. Il'ina[1, 2], E.V. Fot[1, 2], A.A. Smetkin[1, 2], V.V. Kuzkov[1, 2], M.Yu. Kirov[1, 2]

[1] Northern State Medical University, Arkhangelsk
[2] Volosevich First City Clinical Hospital, Arkhangelsk

Aim of the study. To assess the accuracy of USCOM in patients after off-pump coronary artery bypass grafting (OPCAB). *Methods*. We enrolled 14 patients who underwent elective OPCAB into an ongoing prospective observational study. The measurements of cardiac index (CI) based on USCOM (CI_{USCOM}) in comparison with thermodilution CI (CI_{TD}) were performed at seven stages during postoperative period. Statistical analysis included assessment of agreement in absolute values of CI using Bland–Altman analysis. *Results*. Totally, 98 pairs of data were collected. According to Bland–Altman analysis of all pairs of data, mean bias between CI_{USCOM} and CI_{TD} was −1.09 L/min/m^2 with limits of agreement of ±1.18 L/min/m^2 and percentage error of 63 %. In a subgroup of stages with requirement of mechanical ventilation the intermethod bias was −1.16 L/min/m^2 with limits of agreement of ±1.15 L/min/m^2 and percentage error of 67 %, in a subgroup of stages after tracheal extubation the mean bias was −1.00 L/min/m^2 with limits of agreement of ±1.23 L/min/m^2 and percentage error of 59 %. *Conclusions*. USCOM demonstrates poor accuracy with underestimation of CI compared to thermodilution technique both before and after tracheal extubation. This method can not be recommended as an acceptable alternative in cardiac surgery.

- ***Keywords*:** cardiac index, hemodynamics, monitoring of hemodynamics, off-pump coronary artery bypass grafting

For correspondence: Kirov Mikhail Yu. — MD, PhD, professor, Head of the Department of Anesthesiology and Intensive care of Northern State Medical University, Arkhangelsk; e-mail: mikhail_kirov@hotmail.com

For citation: Izotova NN, Il'ina YaYu, Fot EV, et al. Ultrasound-based monitoring of cardiac output after off-pump coronary artery bypass grafting. Alexander Saltanov Intensive Care Herald. 2018;2:57–60.

DOI: 10.21320/1818-474X-2018-2-57-60

Контроль показателей гемодинамики является одной из важнейших составных частей комплексного мониторинга в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ). На современном этапе развитие новых систем гемодинамического мониторинга все больше смещается в сторону уменьшения инвазивности, что стало возможным благодаря достижениям математического анализа. В определенной степени применение малоинвазивных или неинвазивных устройств позволяет повысить безопасность пациента за счет избегания потенциально опасных инвазивных процедур [1]. В то же время снижение инвазивности не должно отражаться на точности и своевременности оценки мониторируемых показателей. Это особенно актуально в ситуациях с быстро изменяющейся гемодинамикой, как, например, в кардиохирургии [2–4]. Точность оценки гемодинамических показателей, включая сердечный индекс (СИ), имеет первостепенное значение при ведении пациентов как в операционной, так и в ОРИТ, что позволяет дифференцированно подходить к терапии.

Следуя современной тенденции снижения инвазивности, недавно в клинической практике стал доступным метод неинвазивного контроля гемодинамики, основанный на ультразвуковой допплерографии, реализованный в системе USCOM (Ultrasound Cardiac Output Monitor). Аппарат USCOM измеряет скорость аортального и легочного кровотока по мере изгнания крови из сердца. Далее с помощью утвержденных внутренних алгоритмов, основываясь на данных о росте и массе тела пациента, рассчитываются диаметры аортального клапана и клапана легочного ствола, а также площади их поперечного сечения. Используя рассчитанную площадь поперечного сечения сосуда и измеренную скорость кровотока, система определяет объем крови, перекачиваемый сердцем за минуту. Фактически методика основана на допплерографии с установкой миниатюрного ультразвукового датчика в проекции клапана легочной артерии [5]. На основании измеренной скорости кровотока производится расчет показателей центральной гемодинамики. Благодаря простоте управления датчиком методика позволяет врачу, не имеющему опыта проведения эхокардиографии, оценивать показатели гемодинамики у постели пациента в режиме реального времени.

Тем не менее клиническая эффективность данного метода измерения СИ требует проверки в различных гемодинамических условиях [6–9]. Целью нашего исследования явилась оценка точности измерения сердечного индекса с помощью неинвазивного ультразвукового монитора USCOM после аортокоронарного шунтирования (АКШ) на работающем сердце.

Материалы и методы. Исследование выполнено в соответствии с этическими принципами проведения биомедицинских исследований на людях; протокол и форма информированного согласия одобрены этическим комитетом Северного государственного медицинского университета (СГМУ). Исследование проведено на базе отделения кардиохирургической реанимации Первой городской клинической больницы им Е.Е. Волосевич г. Архангельска и кафедры анестезиологии и реаниматологии СГМУ. В проспективном порядке было включено 14 пациентов с ишемической болезнью сердца, требующей хирургической реваскуляризации миокарда на работающем сердце. Из исследования исключали пациентов, имевших следующие критерии: отсутствие письменного информированного согласия, возраст пациентов < 18 лет или > 80 лет, предоперационная фракция изгнания < 35 %, постоянная форма фибрилляции предсердий или другие значимые аритмии, тяжелая дисфункция клапанного аппарата сердца, выраженное поражение периферических артерий и проведение симультанных хирургических вмешательств (например, каротидная эндартерэктомия, коррекция аневризмы желудочка и др.).

В операционной после индукции анестезии выполняли катетеризацию внутренней яремной вены и легочной артерии с установкой катетера Свана—Ганца. В послеоперационном периоде термодилюционные измерения проводили путем троекратного ведения 10 мл 5 % раствора глюкозы комнатной температуры через центральный венозный катетер. Среднее значение трех измерений с вариациями СИ менее 10 % использовали для последующего анализа данных. Одновременно проводили регистрацию СИ с помощью ультразвукового монитора USCOM при расположении датчика на уровне яремной вырезки. Измерения выполняли на следующих этапах: после поступления в ОРИТ, после теста с подъемом ног, после маневра рекрутмента альвеол, после теста с инфузионной нагрузкой, через 4, 6 и 24 часа после окончания оперативного вмешательства.

В течение одного часа после перевода в ОРИТ для предотвращения пробуждения и возбуждения до восстановления эффективного самостоятельного дыхания пациенты получали седацию пропофолом в дозе 2 мг/кг/ч. В этот период респираторную поддержку осуществляли в режиме вентиляции, контролируемой по давлению, с давлением на вдохе, обеспечивающим дыхательный объем 8 мл/кг предсказанной массы тела, FiO_2 50 %, ПДКВ (положительное давление в конце выдоха) 5 см вод. ст. и частотой дыхания 10–18 в мин с целевым поддержанием $EtCO_2$ в пределах 30–35 мм рт. ст. Для имитации различных гемодинамических ситуаций использовали тест с поднятием ног, маневр рекрутмента альвеол и тест с инфузионной нагрузкой. Во время теста с подъемом ног пациенту придавали положение с поднятыми на 35–45° ногами на период в 60 секунд, по истечении которого выполнялось измерение СИ. Маневр рекрутмента альвеол осуществляли путем увеличения ПДКВ до 20 см вод. ст. на период 60 секунд, в конце которого измеряли СИ, с последующим снижением ПДКВ до исходного уровня. Инфузионную нагрузку осуществляли раствором Стерофундина изотонического в объеме 7 мл/кг реальной массы тела в течение 5 минут с последующей оценкой СИ. После завершения тестов, прекращения седации и восстановления спонтанного дыхания проводили экстубацию трахеи.

Все данные были оценены в проспективном порядке, используя индивидуальную регистрационную форму. Статистическая обработка данных осуществлялась

с использованием методов параметрического и непараметрического анализа посредством электронных таблиц Microsoft Excel и пакета прикладных программ SPSS 15.0 for Windows с использованием соответствующих формул и критериев достоверности. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

В зависимости от типа распределения данных для оценки корреляции между неинвазивным и термодилюционным СИ вычисляли коэффициент корреляции *r* Пирсона или *rho* Спирмана. С целью определения согласованности между методами для всех пар данных, взятых вместе, а также для подгрупп данных, полученных до и после экстубации трахеи, использовали анализ Бланда—Альтмана с оценкой средней разницы двух методов и границы согласованности (±1,96 среднеквадратичного отклонения средней разницы). Расчет процентной ошибки выполнялся следующим образом: 1,96 × среднеквадратичное отклонение средней разницы методов / среднее значение СИ по данным двух методов × 100 %.

Результаты. В целом в исследовании получено 98 пар измерений СИ. Следует отметить, что при оценке СИ аппаратом USCOM у 5 пациентов в связи с анатомическими особенностями (большая толщина грудины, избыток массы тела) не удавалось быстро получить сигнал хорошего качества.

Корреляция между $СИ_{USCOM}$ и $СИ_{TD}$ выявлена при общем анализе всех пар данных (*rho* = 0,524; $p < 0,01$) и в ходе искусственной вентиляции легких (*rho* = 0,683; $p < 0,01$), тогда как после экстубации трахеи взаимосвязь между показателями СИ, полученными разными методами, не отмечалась (*rho* = 0,043; $p = 0,79$). Анализ Бланда—Альтмана по всем парам данных показал, что система USCOM занижала значение СИ в сравнении с термодилюционным методом в среднем на −1,09 л/мин/м² с пределами согласованности ±1,18 л/мин/м² и процентной ошибкой 63 %. При проведении ИВЛ средняя разница между методами составила −1,16 л/мин/м² с пределами согласованности ±1,15 л/мин/м² и процентной ошибкой 67 % (рис. 1), а после экстубации трахеи эти показатели составили соответственно −1,00 л/мин/м² ± 1,23 л/мин/м² и 59 % (рис. 2).

Обсуждение. В настоящий момент, несмотря на технологический прогресс систем для мониторинга, «золотым стандартом» измерения сердечного индекса при критических состояниях остается препульмональная или транспульмональная термодилюция [2], однако менее инвазивные методы мониторинга сердечного выброса обладают определенным потенциалом для их применения в периоперационном периоде [3–4].

В нашем исследовании показано, что в послеоперационном периоде АКШ на работающем сердце неинвазивная методика оценки СИ, основанная на ультразвуковой регистрации эффекта Допплера (USCOM), несмотря на наличие взаимосвязи с термодилюционным сердечным выбросом, демонстрирует недостаточную точность с существенными различиями (> 1 л/мин/м²) значений СИ, полученных с помощью исследуемых методик, на всех основных этапах измерений. Кроме того, методика USCOM показывает высокую процентную ошибку измерений, которая выходит за рамки рекомендованных для измерения СИ пределов (до 30 %). Это может быть связано как с определенной зависимостью измерений от навыков оператора, проводящего исследование, так и с внутренним алгоритмом расчета показателей, не включающим особенности геометрии сердца и возрастные особенности пациента [10–12].

Технология USCOM использует идею, что благодаря простоте управления датчиком методика позволяет врачу, не имеющему опыта проведения допплерографии, оценивать показатели гемодинамики у постели пациента в режиме реального времени. Однако, по данным ряда авторов, для уверенного использования аппарата USCOM и достижения базового уровня необходимо провести минимум 15–20 исследований под наблюдением опытного оператора [5]. Данная технология заключается в том, что-

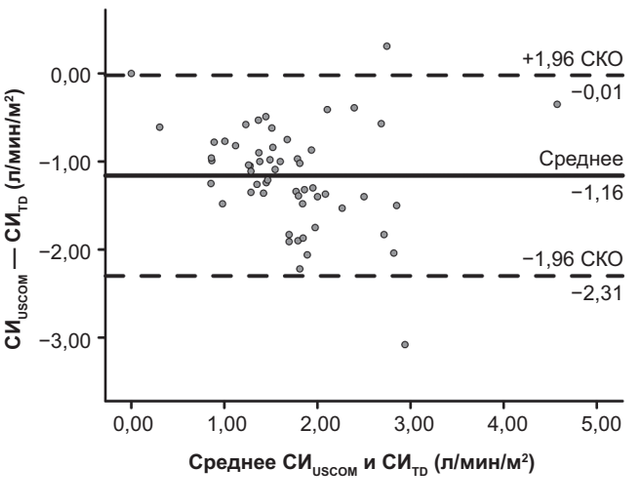


РИС. 1. Анализ Бланда—Альтмана показателей сердечного индекса при проведении ИВЛ

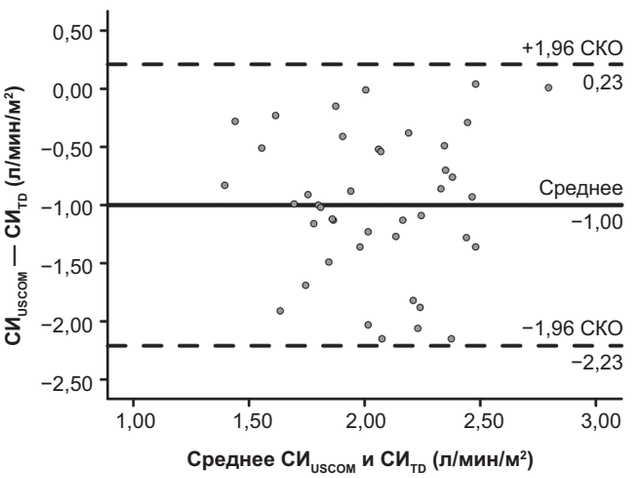


РИС. 2. Анализ Бланда—Альтмана показателей сердечного индекса после экстубации трахеи

бы оператор, выполняющий исследование, с помощью датчика зарегистрировал на экране монитора допплеровскую кривую максимального уровня кровотока, которая имеет четкие очертания, остроконечную форму и отчетливый звуковой сигнал. У ряда наших пациентов мы регистрировали низкое качество сигнала, что не позволяло нам достаточно быстро получить данные СИ и также могло сказаться на точности измерений. Кроме анатомических особенностей ряда больных (избыточная масса тела, увеличение толщины грудины), затрудняющих визуализацию, низкое качество ультразвукового сигнала может быть связано с тем, что у пациентов с ишемической болезнью сердца атеросклероз сопровождается сужением просвета и утолщением стенки артерий, а также возрастными изменениями сосудистого русла [10].

Наряду с наличием взаимосвязи показателей $СИ_{USCOM}$ и $СИ_{TD}$ при проведении ИВЛ нами было выявлено отсутствие корреляции между исследуемыми параметрами после экстубации трахеи. Это может быть связано с тем, что при спонтанном дыхании изменяются кардиореспираторные взаимодействия. Так, возникающие при спонтанном дыхании эпизоды отрицательного давления в грудной клетке на вдохе в большей степени влияют на возврат крови в грудную клетку и на диаметр сосудов, что может отражаться на форме кривой потока и затруднять корректную регистрацию СИ аппаратом USCOM.

Вместе с тем методика ультразвукового мониторинга аппаратом USCOM нашла широкое применение в педиатрии. Так, Patel N. et al. определили, что воспроизводимость показателей, полученных на аппарате USCOM у новорожденных, достаточно высока [11]. Однако, согласно работе Thom et al., при сравнении результатов трансторакальной допплерографии с показателями, полученными с помощью катетера в легочной артерии, было показано, что ультразвуковые данные не соответствовали параметрам, полученным инвазивным путем [8].

Ограничением нашего исследования является использование группы кардиальных пациентов с относительно узким разбросом значений СИ, что не позволяет переносить наши результаты на более широкий диапазон показателей СИ. В связи с этим требуются дальнейшие исследования для оценки точности системы USCOM в других гемодинамических условиях у различных категорий больных.

Заключение. Низкая точность неинвазивного ультразвукового монитора USCOM с недооценкой сердечного индекса на основных этапах послеоперационного периода после АКШ на работающем сердце не позволяет рекомендовать его рутинное использование в данной области кардиохирургии.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Изотова Н.Н., Сметкин А.А.— набор и обработка материала, написание статьи; Ильина Я.Ю., Фот Е.В. — набор и обработка материала; Кузьков В.В., Киров М.Ю. — научное руководство, редактирование статьи.

ORCID авторов
Изотова Н.Н. — 0000-0001-9274-7336
Ильина Я.Ю. — 0000-0003-2538-4656
Фот Е.В. — 0000-0003-0052-8086
Сметкин А.А. — 0000-0003-4133-4173
Кузьков В.В. — 0000-0002-8191-1185
Киров М.Ю. — 0000-0002-4375-3374

Литература/References

1. *Сметкин А.А.*, *Хуссейн А.*, *Захаров В.И.*, *Изотова Н.Н. и др*. Точность неинвазивного измерения сердечного выброса на основе оценки времени транзита пульсовой волны при аортокоронарном шунтировании на работающем сердце. Патология кровообращения и кардиохирургия. 2016; 20(2): 104–110. [*Smetkin A.A.*, *Hussain A.*, *Zakharov V.I.*, *Izotova N.N.*, *et al*. Reliability of non-invasive cardiac output monitoring based on pulse wave transit time in off-pump coronary artery bypass grafting. Pathology of blood circulation and heart surgery. 2016; 20(2): 104–110. (In Russ)].
2. *Сметкин А.А.*, *Хуссейн А.*, *Фот Е.В.*, *Изотова Н.Н. и др*. Инвазивный мониторинг сердечного выброса по времени транзита пульсовой волны после аортокоронарного шунтирования на работающем сердце. Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2016; 13(5): 4–10. [*Smetkin A.A.*, *Hussain A.*, *Fot E.V.*, *Izotova N.N.*, *et al*. Invasive monitoring of cardiac output by pulse wave transit time after aortocoronary bypass on the beating heart. Messenger of anesthesiology and resuscitation. 2016; 13(5): 4–10. (In Russ)].
3. *Smetkin A.*, *Hussain A.*, *Fot E.*, *Izotova N.*, *et al*. Estimated continuous cardiac output based on pulse wave transit time in off-pump coronary artery bypass grafting: a comparison with transpulmonary thermodilution. Journal of Clinical Monitoring and Computing. 2017; 31(2): 361–370.
4. *Fot E.*, *Kuzkov V.*, *Gromova J.*, *Izotova N.*, *et al*. Mini-fluid challenge and PEEP-test can predict fluid responsiveness after off-pump coronary surgery. European Journal of Anaesthesiology. 2015; 32(e-Suppl. 53): 215.
5. *Dey I.*, *Sprivuls P*. Emergency physicians can reliably assess emergency department patient cardiac output using the USCOM continuous wave Doppler cardiac output monitor. Emergency Medicine Australasia. 2005; 17: 193–199.
6. *Stewart G.M.*, *Nguyen H.B.*, *Kim T.Y.*, *et al*. Inter-Rater Reliability for Noninvasive Measurement of Cardiac Function in Children. Pediatric Emergency Care. 2008; 24(7): 433–437.
7. *Kager C.C.M.*, *Dekker G.A.*, *Stam M.C*. Measurement of cardiac output in normal pregnancy by a non-invasive two-dimensional independent Doppler device. Australian and New Zealand Journal of Obstetrics and Gynecology. 2009; 49: 142–144.
8. *Thom O.*, *Taylor D.*, *Wolfe R.*, *et al*. Comparison of a supra-sternal cardiac output monitor (USCOM) with the pulmonary artery catheter. British Journal of Anaesthesia. 2009; 103(6): 800–804.
9. *Meyer S.*, *Todd D.A.*, *Shadboldt B*. Assessment of portable continuous wave Doppler ultrasound (ultrasonic cardiac output monitor) for cardiac output measurements in neonates. Journal of Pediatrics and Child Health. 2009; 45(7–8): 464–468.
10. *Wentland A.L.*, *Grist T.M.*, *Wieben O*. Review of MRI-based measurements of pulse wave velocity: a biomarker of arterial stiffness. Cardiovasc. Diagn. Ther. 2014; 4: 193–206.
11. *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. Archives of Disease in Childhood — Fetal and Neonatal Edition. 2010; 96(3): 206–211.
12. *Nguyen H.B.*, *Banta D.*, *Stewart G. et al*. Cardiac index measurements by transcutaneous doppler ultrasound and transthoracic echocardiography in adult and pediatric emergency patients. Journal of Clinical Monitoring and Computing. 2010; 24(3): 237–247.

Поступила 31.03.2018