

Применение ультразвукового мониторинга сердечного выброса во время операции на открытом сердце у детей

Н. А. Соловьев^{1,2*}, М. М. Рыбка¹, Д. Я. Хинчагов¹, С. М. Цой¹,
Г. Е. Горбунов¹, Д. А. Дибин¹, З. А. Кодзокова¹, М. Ю. Чомаева¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева Минздрава России, Россия, 121552, г. Москва, Рублевское шоссе, д. 135

² Детская городская клиническая больница № 9 им. Г. Н. Сперанского Департамента здравоохранения г. Москвы, Россия, 123317, г. Москва, Шмитовский пр., д. 29

Для цитирования: Н. А. Соловьев, М. М. Рыбка, Д. Я. Хинчагов, С. М. Цой, Г. Е. Горбунов, Д. А. Дибин, З. А. Кодзокова, М. Ю. Чомаева. Применение ультразвукового мониторинга сердечного выброса во время операции на открытом сердце у детей. *Общая реаниматология*. 2024; 20 (5): 37–43. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2024-5-37-43> [На русск. и англ.]

*Адрес для корреспонденции: Соловьев Николай Александрович, nasolovlev@bakulev.ru

Резюме

Цель работы. Оценить возможность применения технологии неинвазивного контроля гемодинамики, основанного на ультразвуковой доплерографии во время операции на открытом сердце у детей.

Материал и методы. В обсервационное, проспективное, одноцентровое исследование включили 20 пациентов в возрасте от 10 до 34 мес. с врожденными пороками сердца: 10 пациентам выполнили коррекцию дефекта межпредсердной перегородки (группа ДМПП), 10 пациентам — коррекцию дефекта межжелудочковой перегородки (группа ДМЖП). Всем пациентам проводили измерение сердечного выброса (СВ) для подбора кардиотонической и инфузионной терапии в 3-х контрольных точках: в операционной после интубации трахеи перед кожным разрезом (точка 1), на этапе разведенной грудной клетки после окончания искусственного кровообращения (ИК, точка 2) и после сведения грудины перед переводом пациента в ОРИТ (точка 3).

Результаты. В 1-й точке измерения СВ были в пределах возрастной нормы как у пациентов с ДМПП, так и с ДМЖП: 5,2 л/мин [4,7; 5,5] и 5,1 л/мин [4,6; 5,6], соответственно. В точке 2 оценку СВ удалось провести 15 пациентам из 20: в группе ДМЖП — у 8; в группе ДМПП — у 7. Охват составил 75% по причине невозможности провести замеры в виду особенности укладки 5 пациентов на операционном столе. После окончания ИК у двоих пациентов с ДМЖП (25%) отметили гипотонию со снижением СВ до 3,6 л/мин, что гемодинамически ниже возрастной нормы (5,1 л/мин). Этим пациентам произвели смену препарата кардиотонической поддержки (КТП) с допамина в дозе 7 мкг/кг/мин на адреналин в дозе 0,05 мкг/кг/мин. При повторном ультразвуковом измерении у указанных пациентов отметили стабилизацию показателей гемодинамики с повышением СВ до возрастных норм: 5,2 и 5,0 л/мин [4,1; 6,1]. После сведения грудины, в обеих группах показатели СВ статистически значимо не отличались от возрастных норм.

Заключение. Примененный для измерения СВ аппарат USCOM может использоваться для интраоперационной оценки гемодинамики и подбора КТП, в том числе на этапах с открытой грудной клеткой. Однако его рутинное применение на всех этапах операции со срединной стернотомией затруднительно, потому что требует времени на выведение проекции аортального клапана.

Ключевые слова: детская кардиохирургия, операции на открытом сердце у детей; мониторинг гемодинамики, интенсивная терапия, инфузионная терапия, аппарат USCOM

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Ultrasound-Based Cardiac Output Monitoring During Pediatric Open-Heart Surgery in Children

Nikolay A. Soloviev^{1,2*}, Mikhail M. Rybka¹, Jumber Ya. Khinchagov¹, Sofya M. Tsoi¹,
Gleb E. Gorbunov¹, Denis A. Dibin¹, Zera A. Kodzokova¹, Madina Yu. Chomaeva¹

¹ A. N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Russian Ministry of Health, 135 Rublevskoe shosse, 121552 Moscow, Russia

² G. N. Speransky Children's City Clinical Hospital No. 9, Moscow Health Department, 29 Shmitovskiy pr., 123317 Moscow, Russia

Summary

Aim of the study. To evaluate the feasibility of using non-invasive hemodynamic monitoring technology based on Doppler ultrasound during open-heart surgery in children.

Material and methods. Prospective, observational, single-center cohort study included 20 patients aged 10 to 34 months undergoing surgery for congenital heart defects. Ten patients underwent atrial septal defect

closure (ASD group), other 10 patients had ventricular septal defect closure (VSD group). Cardiac output (CO) was measured in all patients to guide inotropic and infusion therapy adjustments at three control time points: (1) after intubation and before skin incision, (2) during the immediate post-bypass period with the chest open after weaning from cardiopulmonary bypass (CPB), and (3) after sternal closure and before transfer to the intensive care unit (ICU).

Results. At time point 1, the CO values for both the ASD and VSD groups were within the normal reference range: 5.2 L/min [4.7; 5.5] and 5.1 L/min [4.6; 5.6], respectively. At time point 2, CO was measured in 15 of 20 patients, including 8 patients in the ASD group and 7 in the VSD group. Coverage was 75% because of the challenges of measuring 5 patients on the operating table. In the immediate post-bypass period, two patients with VSD (25%) developed hypotension with CO reduced to 3.6 L/min, which is lower than the age-related hemodynamic reference value (5.1 L/min). Inotropic support in these two patients was increased by switching from dopamine, 7 mcg/kg/min, to adrenaline at a dose of 0.05 mcg/kg/min, resulting in improvement of hemodynamic parameters and an increase in CO to 5.2 L/min and 5.0 L/min, respectively, compared to normal age-related reference values (4.1; 6.1 L/min). After sternal closure, CO values in both groups did not differ significantly from age-related reference values.

Conclusion. The USCOM cardiac output monitoring device can be used to manage intraoperative hemodynamics and adjust inotropic therapy even during open chest surgery. However, its routine use in all stages of surgery with median sternotomy is difficult because it requires more time to align the aortic valve projection.

Keywords: *pediatric cardiac surgery; open heart surgery in children; hemodynamic monitoring; intensive care; fluid therapy; USCOM device*

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Read the full-text English version at www.reanimatology.com

Введение

Во время кардиохирургических операций гемодинамика напрямую зависит от инфузионной и инотропной поддержки [1]. При этом требуется надежный метод определения потребности в волемической нагрузке. Использование инвазивных методик определения сердечного выброса (СВ) (препульмональной и транспульмональной термодилуции) у детей с врожденными пороками сердца (ВПС) ограничено в связи с сопряженностью кругов кровообращения (наличием внутрисердечных шунтов). Ряд исследователей подтверждают, что разница между инвазивными методами и ЭхоКГ составляет не менее 30% [2].

В Национальном медицинском исследовательском центре сердечно-сосудистой хирургии имени А. Н. Бакулева (НМИЦ ССХ им. А. Н. Бакулева) ультразвуковые методы исследования, особенно ЧП-ЭХО, выполняются квалифицированным УЗИ-специалистом, в том числе интраоперационно.

Австрийскому фармакологу Адольфу Яришу (1891–1965) принадлежит высказывание не утратившие актуальность в наше время: «Жаль, что измерение кровотока значительно труднее измерения давления. Это привело к чрезмерному интересу измерения давления. Большинство органов, однако, нуждается больше в кровотоке нежели в давлении».

В настоящее время диагностическая ценность измерения центрального венозного давления (ЦВД) снижается [3]. Справедливо заметить, что ЦВД зависит от внутрисосудистого объема, ОПСС, комплаенса правого желудочка, ОЛСС и внутригрудного давления. ЦВД может быть высоким и при гиповолемии вследствие правожелудочковой недостаточности, а также

при эмболии легочной артерии, тампонаде сердца, напряженном пневмотораксе и гиперволемии [4]. Таким образом его значения зависят от множественных факторов и не могут быть «золотым стандартом» диагностики степени волемии [5]. В кардиоторакальной хирургии после стернотомии существует возможность визуально оценивать объем заполнения камер сердца, а также их сократимость.

В настоящее время разработано множество тестов и индексов для определения зависимости сердечного выброса от преднагрузки и прогноза реакции на инфузионную терапию [6, 7]. Все эти тесты надежны только при строгих условиях, ограничивающих их использование во многих клинических ситуациях [8]. Неинвазивные методы мониторинга гемодинамики обычно более доступны и уменьшают количество потенциально опасных инвазивных процедур [9, 10]. Тем не менее для мониторинга артериального давления в кардиохирургии правильнее использовать инвазивный метод, который не «маскирует» гипотензию. Для интраоперационного измерения давления в левых отделах сердца, не применяя катетер Свана–Ганца, можно использовать левопредсердный катетер. У детей раннего возраста предпочтительно использование одноканальных 18-22 G катетеров, интраоперационно проведенных в левое предсердие через межпредсердное сообщение (МПС). Эта инвазивная процедура, которая в ряде случаев требует создания фенестрации в межпредсердной перегородке, поэтому она применяется при радикальной коррекции тяжелых ВПС, например, общего открытого атриовентрикулярного канала (ООАВК). При радикальной коррекции септальных пороков применение такой процедуры нецелесообразно [11, 12]. Во время проведения

операций на открытом сердце производится непрерывное измерение ЦВД, а для оценки давления в левом предсердии (ЛП) используется его прямое измерение. Прямым методом возможно измерить давления во всех камерах и крупных магистральных сосудах сердца. Прямое измерение также можно использовать у пациентов с высокой легочной гипертензией, которым диагноз был выставлен с помощью Эхо-КТ без проведения аортокоронарографии (АКГ).

Ультразвуковой метод исследования можно использовать для диагностики лево- или правожелудочковой недостаточности. Однако мы не обнаружили исследований о прикладной возможности и достоверности измерений, проводимых аппаратом USCOM в проекции правого желудочка. USCOM определяет скорость кровотока через аортальный клапан и клапан легочной артерии. С помощью заданных внутренних алгоритмов, основанных на данных о росте пациента, рассчитываются диаметры аортального клапана, клапана легочного ствола и площади их поперечного сечения. По данным площади поперечного сечения клапана и полученной скорости кровотока устройством USCOM определяется объем крови, перекачиваемый сердцем за 1 мин [13]. Так, N. Patel и соавт. [14] определили, что воспроизводимости показателей, полученных с помощью USCOM у новорожденных, достаточно высока. В исследовании А. У. Лекманова и соавт. [15] сделаны выводы о сопоставимости параметров центральной гемодинамики у детей с тяжелой ожоговой травмой, полученных инвазивными и неинвазивными методами. В исследовании И. В. Бороиной и соавт. [16] сделаны выводы, что для обучения практическим навыкам мониторинга USCOM достаточно обучения на рабочем месте под наблюдением инструктора, в среднем требуется 50 самостоятельных исследований, чтобы овладеть данной методикой. Статистическая значимость данных, полученных с помощью методики USCOM у детей, по сравнению со старшими возрастными группами, может быть объяснена более низкой частотой или отсутствием у детей таких признаков, как избыточная масса тела, увеличение толщины грудины, кальциноз аорты, сопровождающийся сужением просвета и утолщением стенки артерий, а также возрастных изменений сосудистого русла, которые влияют на качество сигнала и, соответственно, статистическую значимость полученных результатов [17].

В 2019 г. публикуется мета-анализ под авторством Yun Zhang [18] в котором анализируется 26 научных статей, включавших 772 пациента. В данном мета-анализе не было выявлено статистически значимой разницы между измерениями сердечного выброса (СВ) и сердечного

индекса (СИ) при помощи аппарата USCOM и транспульмональной термодилуции: средняя разница в измерении СВ составила $-0,06$ с доверительным интервалом $-0,17-0,05$, $p=0,31$; средняя разница в измерении СИ составила $-0,04$ с доверительным интервалом $-0,13-0,05$, $p=0,38$.

В 2018 г. публикуется работа Yu-wei Cheng [19], включившей в свое исследование 60 детей. Все измерения производились после кардиохирургических вмешательств по поводу ВПС. Сравнивались параметры (ЧСС, ЦВД, индекс ударного объема, сердечный индекс, изменение ударного объема), свидетельствующие о преднагрузке левого желудочка, полученные путем исследования гемодинамики с помощью катетера PiCCO, ЧП-ЭХО и USCOM. В результате данной работы оказалось, что чувствительность к волемической нагрузке лучше всего отражает изменение ударного объема, а измерения, полученные с помощью неинвазивного мониторинга гемодинамики, обладают чувствительностью 84,4% и специфичностью 60,7%. Это может говорить о том, что USCOM способен достоверно предсказать реакцию на проводимую волемическую терапию у детей после коррекции ВПС, что делает аппарат незаменимым при подборе индивидуальной инфузионной терапии. Исследования об интраоперационном применении аппарата USCOM в кардиохирургии не проводились. Интраоперационно метод ЧП-ЭХО является высокоинформативным, но на практике требует большего времени, чем прямые измерения. Интраоперационное измерение основных параметров гемодинамики аппаратом USCOM, вероятно, поможет инструментально оценить правильность подбора кардиотонической поддержки и инфузионной терапии.

Цель работы — оценка возможности применения технологии неинвазивного контроля гемодинамики, основанного на ультразвуковой доплерографии во время операции на открытом сердце у детей.

Материал и методы

После одобрения локального этического комитета НМИЦ ССХ им. А. Н. Бакулева (протокол № 002 28.04.2022) провели одноцентровое проспективное рандомизированное исследование. Предварительную регистрацию исследования на платформе Clinical Trials не проводили.

Критерии включения:

- Дети раннего возраста от 11 мес. до 3 лет.
- Наличие информированного согласия родителей или иного представителя, установленного законом, на участие в исследовании.
- Наличие септального порока сердца, требующего хирургической коррекции в условиях искусственного кровообращения срединным доступом.

- Отсутствие предшествующих операций на открытом сердце

Критерии исключения:

- Наличие тяжелой генетической патологии.
- Массивная кровопотеря.
- Тяжелые сопутствующие заболевания.
- Рестернотомия в раннем п/о периоде.

Из оперированных в период с марта по апрель 2022 г. детей раннего возраста с ВПС (41 чел.) в исследование включили 20 пациентов. Из них 10 пациентам выполнили коррекцию дефекта межпредсердной перегородки (группа ДМПП), 10 пациентам — коррекцию дефекта межжелудочковой перегородки (группа ДМЖП). В раннем послеоперационном периоде осложнений не наблюдали. У всех детей экстубировали трахею в течение 1-х послеоперационных суток. Всех пациентов перевели из ОРИТ в профильные отделения на следующие сутки. Структуру всех оперативных вмешательств представили в табл. 1, схему исследования привели в рис. 1.

Для исследования отобрали пациентов с септальными пороками, как наиболее гемодинамически стабильных и требующих наименьшего времени искусственного кровообращения.

Всем пациентам интраоперационно проводили трехкратное измерение СВ аппаратом USCOM, для анализа принимали среднее значение.

Выбрали 3 контрольные точки: при поступлении пациента в операционную, после окончания искусственного кровообращения (ИК) и перед переводом пациента в ОРИТ. В 1-й точке измерения проводили после интубации трахеи перед кожным разрезом, все измерения выполняли в состоянии глубокой седации (RASS — 5 баллов). Во 2-й точке измерения проводили при не сведенной грудине, после окончания ИК. На этом этапе не удалось выполнить замеры у 5 пациентов, ввиду особенности укладки пациента на операционном столе (рис. 1). В 3-й контрольной точке замеры производили после сведения грудины перед переводом пациента в ОРИТ.

Пациенты обеих групп имели 3 либо 4 группу риска по шкале ASA, I-II класс функциональной недостаточности кровообращения по NYHA. Группы были сопоставимы по времени искусственного кровообращения, времени пережатия аорты, сложности

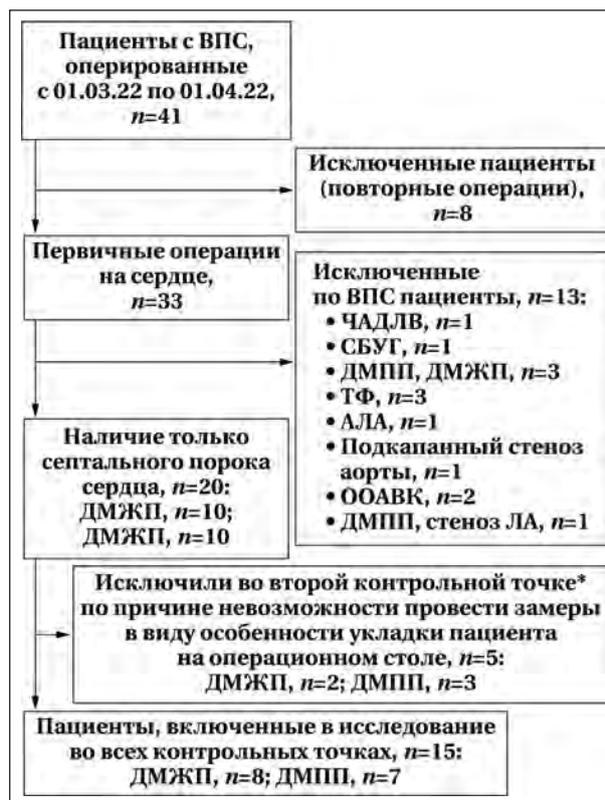


Рис. 1. Блок-схема включения пациентов в исследование. Примечание. * — контрольные точки приведены в тексте.

хирургического вмешательства, срокам восстановления сердечной деятельности в постперфузионном периоде. Краткую характеристику больных представили в табл. 2.

Для обработки данных применяли пакет прикладной статистики компании SPSS version 11.5 for Windows (SPSS Inc, Chicago, IL), а также аналитическое приложение к программе Excel 2016. Размер выборки предварительно не рассчитывали.

Нормальность распределения данных проверяли критерием Шапиро–Уилка. В случаях нормального распределения, вычисляли средние арифметические значения (*M*), ошибки средних величин (*m*), статистическую значимость отличий средних величин оценивали одновыборочным *t*-критерием Стьюдента. Также применяли непараметрические

Таблица 1. Структура оперативных вмешательств в выборке пациентов, *n*=41.

| Тип оперативного вмешательства | Частота встречаемости, <i>n</i> |
|---|---------------------------------|
| Пластика ДМЖП | 10 |
| Пластика ДМПП | 10 |
| Повторные вмешательства на открытом сердце | 8 |
| Одномоментная пластика дефекта межжелудочковой перегородки и дефекта межпредсердной перегородки (ДМЖП, ДМПП) | 3 |
| Радикальная коррекция тетрады Фалло (ТФ) | 3 |
| Иссечение подклапанного стеноза аорты | 2 |
| Пластика ДМПП с иссечением стеноза легочной артерии | 1 |
| Паллиативная операция при атрезии легочной артерии (АЛА) | 1 |
| Радикальная коррекция открытого общего атриовентрикулярного канала (ООАВК) | 1 |
| Коррекция при синдроме Бланда–Уайта–Гарланда (СБУТ) | 1 |
| Радикальная коррекция частичного аномального дренажа легочных вен и пластика дефекта межпредсердной перегородки (ЧАДЛВ, ДМПП) | 1 |

Таблица 2. Краткая характеристика больных.

| Показатели | Значения показателей в группах | | p* |
|----------------------------|--------------------------------|-----------|-----|
| | ДМЖП, n=8 | ДМПП, n=7 | |
| Возраст, мес. | 20,2±8,6 | 19,8±8,8 | 0,9 |
| Рост, см | 85,2±7,9 | 80,5±7 | 0,9 |
| Масса тела, кг | 11,17±1,9 | 10,7±2,1 | 0,5 |
| Время ИК, мин | 48±3 | 43±10 | 0,3 |
| Время пережатия аорты, мин | 23±8 | 21±8 | 0,4 |
| Объем кровопотери, мл | 140±27 | 150±1 | 0,2 |

Примечание. Результаты по возрасту представили в виде $Me \pm \sigma$, остальные — $M \pm m$. * — критерий Манна–Уитни.

методы описательной статистики. Использовали медиану (Me), критерий Манна–Уитни. Критическим двусторонним уровнем значимости принимали $p=0,05$.

Ограниченное число пациентов в исследовании было связано с количеством проведенных операций за анализируемый период.

Результаты

У 15 из 20 (75%) пациентов удалось провести измерения в проекции аортального клапана во время хирургического этапа, когда грудина была разведена (контрольная точка 2). СВ варьировал в пределах возрастной нормы: у пациентов с ДМПП СВ 5,2 л/мин [4,7; 5,5], и с ДМЖП СВ 5,1 л/мин [4,6; 5,6]. После ИК у двоих пациентов (17%) с ДМЖП отмечали гипотонию со снижением СВ до 3,6 л/мин, что ниже возрастной нормы (5,1 л/мин), $p=0,032$. Этим пациентам произвели смену КТП допамином в дозе 7 мкг/кг/мин, на адреналин в дозе 0,05 мкг/кг/мин. При повторном измерении отмечали стабилизацию показателей гемодинамики с повышением СВ до возрастных норм: 5,2 и 5,0 л/мин [4,1; 6,1]. После сведения грудины показатели СВ статистически значимо не отличались от возрастных норм.

Таким образом СВ в группе пациентов с ДМПП составил в среднем 4,9 л/мин [4,7; 5,0], $p=0,849$, а в группе пациентов с ДМЖП — 4,7 л/мин [4,6; 5,0] л/мин, $p=0,622$.

Клиническая картина соответствовала полученным значениям.

Стоит отметить, что на точность измерений оказывает влияние состояние пациента (в покое / «на крике») и позиционирование датчика.

Так у пациента 2 лет с массой тела 12,5 кг с диагнозом ВПС, дефект межпредсердной перегородки при исследовании в покое СИ составлял 5,1 л/мин/м² (рис. 2, а), при исследовании «на крике» — 4,1 л/мин/м² (рис 2, b), а при неправильном позиционировании датчика — 2,8 л/мин/м² (рис. 2, с).

Обсуждение

Проблема гиперволемии в детской кардиохирургии требует особого внимания. В исследовании L. Sinitsky и соавт. [20, 21] выявлена закономерность развития дисфункции органов и увеличении продолжительности ИВЛ при по-

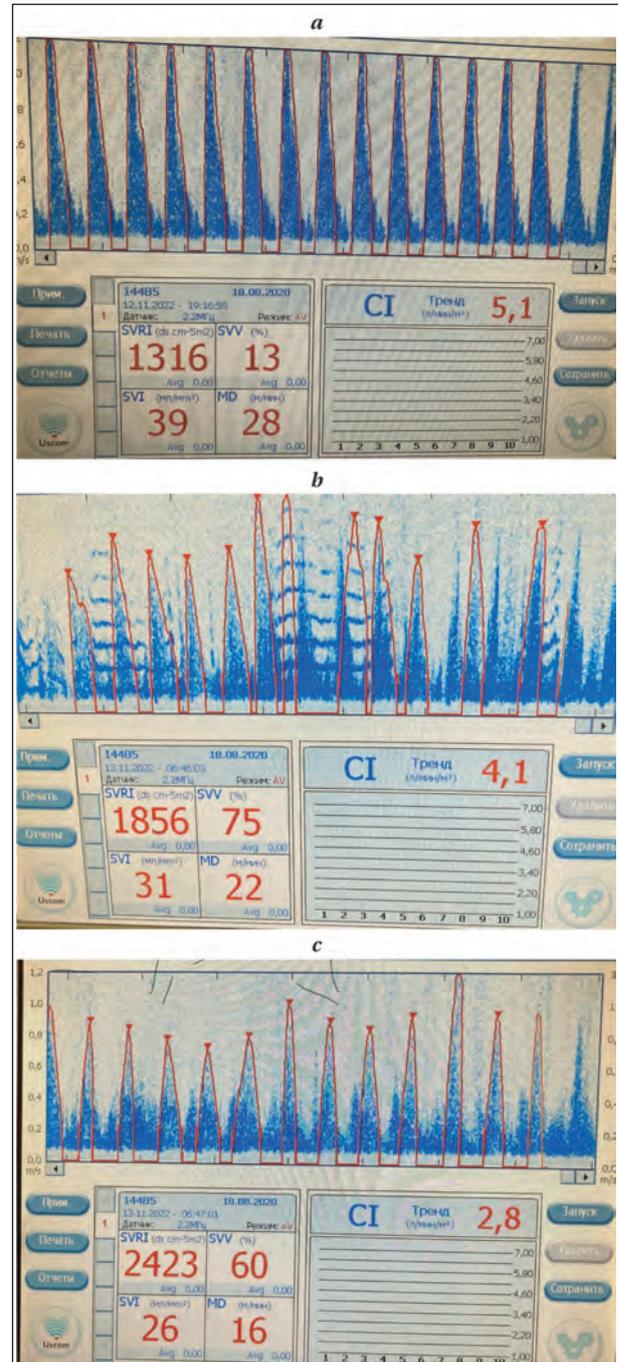


Рис. 2. Пример измерения СИ в покое (а), «на крике» (b) и при неправильном позиционировании датчика (с).

ложительном балансе жидкости, превышающем 13% от исходной массы тела.

Использование неинвазивных методик мониторинга СВ при правильном применении и интерпретации погрешностей измерений может заместить рутинное применение инвазивного мониторинга СВ [22, 23]. Применение аппарата USCOM интраоперационно достоверно показывает динамику сердечного выброса, но требует времени для правильного позиционирования датчика. Стоит отметить, что замеры выполняли после стабилизации системного давления и окончания ИК, т. к. выполнение измерений на предыдущих этапах являлось затруднительным.

Правильное позиционирование датчика, особенно в интраоперационных условиях, может быть выполнимо не всегда и не у всех пациентов. Кроме того, УЗ метод является оператор-зависимым.

Замеры в проекции клапана легочной артерии в настоящей работе не проводили по причине невозможности позиционирования датчика интраоперационно, т. к. при стернотомии смещается проекция клапана легочной артерии, которую и при обычных условиях затруднительно вывести для измерений.

В ходе исследования не удалось правильно позиционировать датчик у 5 пациентов (25%), тем не менее, у 15 пациентов (75%)

полученные данные соответствовали клинической картине.

Применение аппарата USCOM может быть полезно в детской кардиохирургии как дополнительный метод диагностики, либо вместо рутинного использования транспульмональной и препульмональной термодилуции. Эффективность его применения в отделениях интенсивной терапии и реанимации у детей подтверждается и ранее проведенными исследованиями [15, 24].

Обучение ультразвуковой методике занимает немного времени и может проводиться у постели больного, что позволяет освоить ее большему количеству сотрудников [16]. Аппаратом USCOM уже широко пользуются в педиатрии, так как применение неинвазивных методов мониторинга СВ у детей снижает риск осложнений [14–16].

Заключение

Аппарат USCOM может использоваться для интраоперационной оценки гемодинамики и подбора КТП, в том числе на этапах с открытой грудной клеткой. Однако его рутинное применение на всех этапах операции со срединной стернотомией затруднительно, потому что требует времени на выведение проекции аортального клапана.

Литература

1. Интенсивная терапия: национальное руководство в 2 т. Заболотских И. Б., Проценко Д. Н. (ред.). М.: ГЭОТАР-Медиа; 2021; I: 1152. (Серия «Национальные руководства»). ISBN 978-5-9704-6258-4. Intensive care: national guidelines in 2 vols. Zabolotskikh I. B., Protchenko D. N. (ed.). M.: GEOTAR-Media; 2021; I: 1152. (The «National Guidelines» series). (in Russ.). ISBN 978-5-9704-6258-4.
2. Кодзюкова З. А., Ломакин М. В., Рыбка М. М., Дибин Д. А. Интраоперационное измерение центральной гемодинамики методом холодной термодилуции при помощи катетера Свана-Ганца у пациента с корригированной транспозицией магистральных артерий. *Клиническая физиология кровообращения*. 2020; 17 (2): 142–147. Kodzokova Z. A., Lomakin M. V., Rybka M. M., Dibin D. A. Intraoperative measurement of central hemodynamics by cold thermomodulation using a Swan-Ganz catheter in a patient with corrected transposition of the great arteries. *Clinical Physiology of Blood Circulation = Klinicheskaya Fiziologiya Krovoobrashcheniya*. 2020; 17 (2): 142–147. (in Russ.). DOI: 10.24022/1814-6910-2020-17-2-142-147.
3. Хинчагов Д. Я., Рыбка М. М. Центральная гемодинамика при операциях реваскуляризации коронарных артерий без искусственного кровообращения. *Клиническая физиология кровообращения*. 2021; 3 (18): 201–211. Khinchagov D. Ya., Rybka M. M. Central hemodynamics in coronary artery revascularization surgery without cardiopulmonary bypass. *Clinical Physiology of Blood Circulation = Klinicheskaya Fiziologiya Krovoobrashcheniya*. 2021; 3 (18): 201–211. (in Russ.). DOI: 10.24022/1814-6910-2021-18-3-201-211.
4. Юдин Г. В., Айдашев Ю. Ю., Рыбка М. М., Хинчагов Д. Я., Мецанов Б. В., Гончаров А. А. Центральная гемодинамика, потребление кислорода и оксигенирующая функция легких при рестриктивной и либеральной периперационной инфузии у больных с приобретенными пороками сердца. *Клиническая физиология кровообращения*. 2021; 1 (18): 60–72. Yudin G. V., Aidashov Yu. Yu., Rybka M. M., Khinchagov D. Ya., Meshchanov B. V., Goncharov A. A. Central hemodynamics, oxygen consumption and oxygenating lung function in restrictive and liberal perioperative infusion in patients with acquired heart defects. *Clinical Physiology of Blood Circulation = Klinicheskaya Fiziologiya Krovoobrashcheniya*. 2021; 1 (18): 60–72. (in Russ.). DOI: 10.24022/1814-6910-2021-18-1-60-72.
5. Fu Y., He C., Bai Y., Zhang N., Zhao H. Value of the combination of renal resistive index and central venous pressure to predict septic shock induced acute kidney injury. *Zhonghua Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue*. 2020; 32 (4): 473–477. Chinese. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20191014-00062. PMID: 32527356.
6. Shostak E., Shochat T., Manor O., Nahum E., Dagan O., Schiller O. Fluid Responsiveness predictability in immediate postoperative pediatric cardiac surgery. Is the old slandered central venous pressure back again? *Shock*. 2021; 56 (6): 927–932. DOI: 10.1097/SHK.0000000000001786. PMID: 33882511.
7. De Backer D., Vincent J. L. Should we measure the central venous pressure to guide fluid management? Ten answers to 10 questions. *Crit Care*. 2018; 22 (1): 43. DOI: 10.1186/s13054-018-1959-3. PMID: 29471884.
8. Monnet X., Shi R., Teboul J. L. Prediction of fluid responsiveness. What's new? *Ann Intensive Care*. 2022; 12 (1): 46. DOI: 10.1186/s13613-022-01022-8. PMID: 35633423.
9. Jozwiak M., Monnet X., Teboul J. L. Prediction of fluid responsiveness in ventilated patients. *Ann Transl Med*. 2018; 6 (18): 352. DOI: 10.21037/atm.2018.05.03. PMID: 30370279.
10. См ткин А., Хуссейн А., Захаров В., Изотова Н., Кузьков В., Киров М. 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. Smyotkin A., Hussein A., Zakharov V., Izotova N., Kuzikov V., Kirov M. Accuracy of noninvasive measurement of cardiac output based on the estimation of pulse wave transit time during coronary artery bypass grafting on a beating heart. *Pathology of Blood Circulation and Cardiac Surgery = Patologiya Krovoobrashcheniya i Kardiokhirurgiya*. 2016; 20 (2): 104–110. (in Russ.). DOI: 10.21688/1681-3472-2016-2-104-110.
11. Lee J. H., Kim E. H., Jang Y. E., Kim H. S., Kim J. T. Fluid responsiveness in the pediatric population. *Korean J Anesthesiol*. 2019; 72 (5): 429–440. DOI: 10.4097/kja.19305. Erratum in: *Korean J Anesthesiol*. 2021; 74 (2): 188. PMID: 31591858.
12. Кузибаева Н. К. Распространенность врожденных пороков сердца у детей. *Лечащий Врач*. 2021; 9 (24): 48–52. Kuzibaeva N. K. Prevalence of congenital heart defects in children. *The Attending Physician = Lechashchiy Vrach*. 2021; 9 (24): 48–52. (in Russ.). DOI: 10.51793/OS.2021.24.9.009.
13. Изотова Н. Н., Ильина Я. Ю., Фот Е. В., Сметкин А. А., Кузьков В. В., Киров М. Ю. Оценка ультразвукового мониторинга сердечного выброса после реваскуляризации миокарда без искусственного кровообращения. *Анестезиология и реаниматология*. 2019; (2): 48–55. Izotova N. N., Ilyina Ya. Yu., Fot E. V., Smyotkin A. A., Kuzkov V. V., Kirov M. Yu. Ultrasound monitoring of cardiac output after off-pump coronary artery bypass grafting. *Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology / Anesteziology i Reanimatologiya*. 2019; (2): 48–55. (in Russ.). DOI: 10.17116/anaesthesiology201902148.

14. 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; 96 (3): F206–11. DOI: 10.1136/adc.2009.170704. PMID: 20605971.
15. Лекманов А. В., Азовский Д. К., Пилюттик С. Ф. Сравнение методов трансторакальной доплерографии и транспульмональной термодилуции при анализе гемодинамических показателей у детей с тяжелой термической травмой. *Вестник анестезиологии и реаниматологии.* 2017; 14 (1): 42–50. *Lektanov A. U., Azovsky D. K., Pilyutik S. F.* Comparison of Doppler ultrasonography and transpulmonary thermodilution when analyzing hemodynamics in the children with severe thermal injury. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation = Vestnik Anestheziologii i Reanimatologii.* 2017; 14 (1): 42–50. (in Russ.). DOI: 10.21292/2078-5658-2017-14-1-42-50.
16. Боронина И. В., Александрович Ю. С., Шмаков А. Н., Ошанова Л. С. Возможность использования ультразвукового монитора неинвазивного контроля гемодинамики у новорожденных. *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии.* 2017; 7 (3): 69–73. *Voronina I. V., Alexandrovich Y. S., Shmakov A. N., Oshanova L. S.* The possibility to use the ultrasound monitor of noninvasive control of hemodynamic in newborns. *Russian Bulletin of Pediatric Surgery, Anesthesiology and Intensive Care = Rossiyskiy Vestnik Detskoy Khirurgii Anestezologii i Reanimatologii.* 2017; 7 (3): 69–73. (in Russ.). <https://rps-journal.ru/jour/article/viewFile/336/335>.
17. Ruste M., Jacquet-Lagrèze M., Fellahi J.-L. Advantages and limitations of noninvasive devices for cardiac output monitoring: a literature review. *Curr Opin Crit Care.* 2023; 29 (3): 259–267. DOI: 10.1097/MCC.0000000000001045. PMID: 37078642.
18. Zhang Y., Wang Y., Ji D., Qian J., Xu J., Shi J. Ultrasound cardiac output monitor and thermodilution for cardiac function monitoring in critical patients: a meta-analysis. *Zhonghua Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue.* 2019; 31 (12): 1462–1468. Chinese. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.12.006. PMID: 32029030.
19. Cheng Y. W., Xu F., Li J. Identification of volume parameters monitored with a noninvasive ultrasonic cardiac output monitor for predicting fluid responsiveness in children after congenital heart disease surgery. *Medicine (Baltimore).* 2018; 97 (39): e12289. DOI: 10.1097/MD.00000000000012289. PMID: 30278500.
20. Sinitzky L., Walls D., Nadel S., Inwald D. P. Fluid overload at 48 hours is associated with respiratory morbidity but not mortality in a general PICU: retrospective cohort study. *Pediatr Crit Care Med.* 2015; 16 (3): 205–209. DOI: 10.1097/PCC.0000000000000318. PMID: 25581632.
21. Cardoso F. S., Pereira R., Laranjo A., Gamelas V., Bagulho L., Germano N., Karvellas C. J. Positive fluid balance was associated with mortality in patients with acute-on-chronic liver failure: a cohort study. *J Crit Care.* 2021; 63: 238–242. DOI: 10.1016/j.jcrc.2020.09.012. PMID: 32988683.
22. Argaiz E. R., Koratala A., Reisinger N. Comprehensive assessment of fluid status by point-of-care ultrasonography. *Kidney360.* 2021; 2 (8): 1326–1338. DOI: 10.34067/KID.0006482020. PMID: 35369665.
23. Pliauckiene A., Liubsys A., Vankeviciene R., Usonis V. Ultrasonic cardiac output monitor provides effective non-invasive bedside measurements of neonatal cardiac output. *J Clin Monit Comput.* 2022; 36 (3): 803–807. DOI: 10.1007/s10877-021-00711-2. PMID: 33929641.
24. Koratala A., Ronco C., Kazory A. Diagnosis of fluid overload: from conventional to contemporary concepts. *Cardiorenal Med.* 2022; 12 (4): 141–154. DOI: 10.1159/000526902. PMID: 36096121.

Поступила 06.03.2024
Принята 05.09.2024