

## ВОЗМОЖНОСТЬ НЕИНВАЗИВНОГО МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ В ОТДЕЛЕНИИ ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ И РЕАНИМАЦИИ

УО «Белорусский государственный медицинский университет»

*Работа посвящена анализу эффективности неинвазивного ультразвукового измерения параметров центральной гемодинамики, а также сравнению с расчетными методами их определения у пациентов, находящихся на лечении в отделении анестезиологии и реанимации. В настоящее исследование был включен 21 пациент (12 женщин, 9 мужчин в возрасте от 20 до 65 лет). С диагностической целью измерение показателей ЦГД проводилось пациентам аппаратом USCOM с последующим сравнением измеренных показателей с полученными расчетными методами. В ходе исследования было установлено, что величины ударного объема, сердечного выброса, а также сердечного и ударного индексов, измеренные аппаратным методом, были на 30-40% ниже по сравнению с рассчитанными по формулам. Требуется дополнительные исследования для окончательного решения об эффективности и целесообразности использования ультразвукового измерения показателей центральной гемодинамики в отделениях ИТР.*

**Ключевые слова:** центральная гемодинамика, сердечный выброс, ударный объем, неинвазивный мониторинг, доплерометрия, интенсивная терапия.

**S.S. Gratchev, S.V. Evtushenko**

### CENTRAL HAEMODYNAMIC NONINVASIVE MONITORING POSSIBILITY IN THE INTENSIVE CARE UNIT

*The paper analyzes effectiveness of central haemodynamics non-invasive ultrasonic measurement, also in comparison with computational assessment methods in patients of anesthesiology and intensive care unit. Study included 21 patients (12 women and 9 men, aged 20 to 65 years). From diagnostic to measurement of CHD performance in patients was conducted USCOM device with subsequent comparison of the measured parameters with those obtained by computational methods. The study determined that the magnitude of stroke volume, cardiac output as well as cardiac and stroke index, measured using device, were 30-40% lower than with those calculated from formulas. Further studies are required to make a final decision on the effectiveness and feasibility of the central haemodynamics ultrasonic measurement in anesthesiology and intensive care unit.*

**Key words:** central haemodynamics, cardiac output, stroke volume, noninvasive monitoring, Doppler, intensive care.

Мониторинг гемодинамики является одной из важнейших составных частей современного мониторинга в отделении анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии (ОАРИТ). Минимальный объем мониторинга гемодинамики, который по международным стандартам должен осуществляться в ходе любой анестезии, включает в себя проведение пульсоксиметрии, неинвазивного измерения АД (предпочтительно аппаратным способом) и ЭКГ [2]. Однако многим пациентам ОАРИТ требуется расширенный мониторинг гемодинамики, включая показатели центральной гемодинамики (ЦГД).

Методы определения параметров ЦГД можно условно разделить на инвазивные и неинвазивные. Считается, что у пациен-

тов с выраженными нарушениями функции сердечно-сосудистой системы целесообразно применять дополнительные объективные методы оценки сердечного выброса (СВ) и тех факторов, которые его определяют: преднагрузки, сократимости миокарда, постнагрузки, ЧСС и состояния клапанного аппарата сердца. В большинстве случаев для этого осуществляют препульмональную (с использованием катетеризации легочной артерии) и транспульмональную (катетеризация бедренной артерии) термодилуцию. Фактически указанные методы представляют собой «золотой стандарт» инвазивного мониторинга показателей ЦГД. Препульмональная термодилуция основана на установке в малом круге кровообращения специального катетера Сван-Ганца [1,3]. Кате-

тер может быть использован для измерения (СВ) по методу болюсной термодиллюции. При этом введение в правое предсердие определенного количества раствора, температура которого меньше температуры крови больного, изменяет температуру крови, контактирующей с термистором в легочной артерии. Степень изменения обратно пропорциональна СВ. Изменение температуры незначительно при высоком СВ и резко выражено, если СВ низок. Графическое отображение зависимости изменений температуры от времени представляет собой кривую термодиллюции. СВ определяют с помощью компьютерной программы, которая интегрирует площадь под кривой термодиллюции [4].

Методика транспульмональной термодиллюции (реализована в технологии PiCCO) включает введение больному «холодового» индикатора (5%-й раствор глюкозы или 0,9% NaCl температуры от 0 до 10 °С), проникающего сквозь просвет сосудов во внесосудистый сектор. В отличие от катетера Сван-Ганца, диллюция носит транспульмональный характер (раствор проходит через все отделы сердца, легкие и аорту, а не только через правые отделы сердца, как при катетеризации легочной артерии). Введенный в центральную вену термоиндикатор пройдет с кровотоком путь от правого предсердия до термодатчика фиброоптического катетера, расположенного в бедренной или лучевой артерии. Это позволяет построить кривую термодиллюции и рассчитать СВ [4,7]. Основываясь на анализе формы кривой термодиллюции и пульсовой волны, рассчитывается целый комплекс параметров гемодинамики. Фактически применение транспульмональной термодиллюции обеспечивает достаточный контроль показателей гемодинамики и позволяет избежать катетеризации легочной артерии [8]. Многими авторами отмечается, что применение метода показано при шоковых состояниях, остром повреждении легких, политравме, ожогах, сердечной недостаточности и отеке легких, в кардиохирургии и трансплантологии [5,6].

В последнее десятилетие в развитых странах мира наблюдается повышенный интерес к инструментальным средствам бескровного неинвазивного мониторинга насосной функции сердца. Распространение ВИЧ инфекций, открытия новых разновидностей гепатитов выдвигает строгие требования стерильности при использовании традиционных инвазивных средств мониторинга параметров гемодинамики сердца (термодиллюционный, красочный и радиоизотопные методы, метод Фика). С другой стороны, стимулируется развитие неинвазивных бескровных методов диагностики (рентгенокардиография, эхокардиография и реография). К примеру, в рамках государственной медицинской программы Японии к 2000 году планируется переход к использованию исключительно неинвазивных средств диагностики в клинической практике там, где это оправдано.

Наибольший интерес в последнее время проявляется к неинвазивным методикам определения показателей ЦГД (сердечный выброс (СВ), ударный объем, общее периферическое сосудистое сопротивление (ОПСС), сердечный и ударный индексы). Для этого применяются несколько методик. Например, ультразвуковая доплерография за счет измерения линейной скорости кровотока в аорте позволяет определить ударный объем (УО), СВ и постнагрузку. Наиболее распространена чреспищеводная доплерография с помощью технологии Deltex. Метод привлекает неинвазивностью и быстротой в получении параметров, однако его результаты во многом приблизительны и зависят от положения датчика в пищеводе. Помимо указанной, на принципе ультразвуковой доплеровской технологии с непрерывным излучением основана работа переносного монитора USCOM (Австралия) [9,10,11]. Прибор позволяет определить основные гемодинамические параметры, такие как частота сердечных сокращений, ударный объем, индекс ударного объема, собственно сердечный выброс, сердечный индекс, системное сосудистое сопротивление (т.е. ОПСС), индекс системного сосудистого сопротивления и др. Данная методика хоть и неинвазивна, но во многом зависит от опыта исследователя и положения ультразвукового датчика над крупными сосудами. По литературным данным, проведенные исследования выявили различный процент ошибок измерений по этой методике - от 15% в выборке пациентов после трансплантации печени, до 52% у пациентов после кардиохирурги-

ческих вмешательств [9,12,13]. При этом клинически допустимым считается уровень погрешности до 30% по сравнению с термодиллюционными методами определения ЦГД [9].

Другой активно применяемой методикой является измерение СВ с помощью анализа содержания CO<sub>2</sub> в конце выдоха (технология NICO). Метод основан на непрямом методе Фика (прямой метод Фика для определения СВ на основе оценки потребления кислорода и его содержания в организме требует наличия катетеров в сердце, артерии и центральной вене, а также стабильных условий метаболизма, поэтому его использование ограничено экспериментальными условиями). Несмотря на свою неинвазивность, метод недостаточно точен и зависит от показателей вентиляции и газообмена. В то же время он достаточно широко представлен и успешно реализован в мониторинговых системах производства дальнего и ближнего зарубежья.

Наконец, измерение биоимпеданса грудной клетки с помощью специальных электродов в точке сердечного цикла, соответствующей деполяризации желудочков, также дает возможность оценить УО и СВ. Метод чувствителен к электрической интерференции и в значительной мере зависит от правильности наложения электродов. Существуют указания на то, что его точность сомнительна при целом ряде критических состояний (отек легких, плеврит, объемная перегрузка и др.) [4,16]. Более того, считалось не приемлемым исследование биоимпедансных методик у пациентов во время операции и анестезии, на этапах интенсивной терапии, в реанимационной практике. Главными их недостатками были: несовершенство оборудования, длительная калибровка перед исследованием, ручная обработка полученной информации, что полностью исключало возможность мониторинга в режиме *on line* и допускало большую погрешность в абсолютных значениях искомых величин. На сегодняшний день разработка компьютерных систем гемодинамической оценки позволила внести особый вклад в совершенствование неинвазивных методов исследования ЦГД, снизить до минимума предел отставания в измерении величины ударного объема (УО) от инвазивных методик. По мнению коллег с кафедры анестезиологии и реаниматологии РГМУ (С.В. Свиридов, С.В. Федоров), неинвазивный импедансометрический метод оценки кровообращения в практике интенсивной терапии может рассматриваться, как необходимый и достаточный компонент мониторинга сердечно-сосудистой системы, в том числе во время проведения инфузионной терапии (ИТ).

На наш взгляд, все описанные методики неинвазивного определения показателей центральной гемодинамики неидеальны и обладают рядом недостатков. В то же время они позволяют не столько определить абсолютные величины того или иного показателя (например, ударного объема или сердечного выброса), сколько проследить тенденцию динамического изменения ведущих параметров ЦГД. Это особенно важно при интенсивной терапии таких критических состояний как шок, кровопотеря, острая и хроническая сердечная недостаточность, острый период инфаркта миокарда [14,15]. При отсутствии возможности инвазивного определения описанных показателей, альтернативой может стать лишь использование математических расчетных методов [17].

**Целью настоящего исследования** явилось улучшение возможности определения и мониторинга показателей центральной гемодинамики у пациентов, находящихся на лечении в ОИТР.

**Задача исследования:** сравнительный анализ методик определения показателей центральной гемодинамики расчетным методом и неинвазивным ультразвуковым методом.

#### **Материал и методы**

В качестве неинвазивного монитора нами использовался прибор USCOM (Австралия) – монитор ультразвукового определения сердечного выброса. Среди преимуществ прибора, позволяющих получить жизненно важную информацию о функционировании сердечно-сосудистой системы пациента, производителями отмечается программное обеспечение, уникальный датчик, а также конструкция интерфейса пациента. Фактически методика основана на доплерографии с установкой миниатюрного ультразвукового датчика над клапаном легочной артерии с определением показателей ЦГД в прямом (супрастернальном, рис. 1) или

## Оригинальные научные публикации

отраженном (во втором межреберье слева, рис. 2) потоке крови пациента [9,13]. На основании измеренной скорости кровотока производится расчет показателей ЦГД.

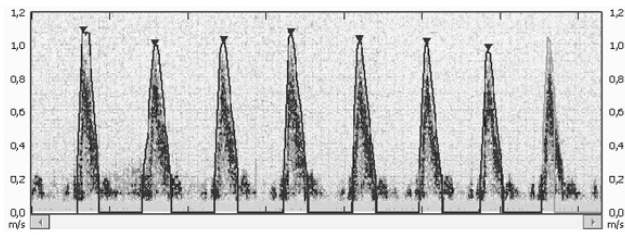


Рисунок 1. Графическое отображение ультразвукового сигнала в прямом потоке крови.

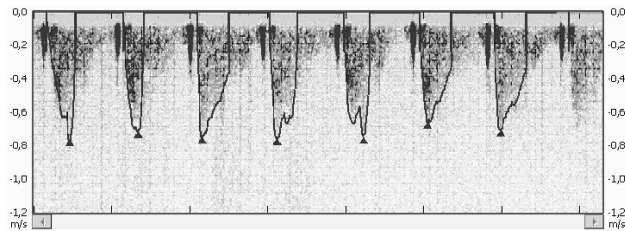


Рисунок 2. Графическое отображение ультразвукового сигнала в отраженном потоке крови.

Полученные данные обо всех показателях можно сохранить в памяти прибора, вывести на экран, распечатать или сохранить на внешнем носителе для последующей научной или лечебной обработки.

В настоящее исследование был включен 21 пациент (12 женщин, 9 мужчин в возрасте от 20 до 65 лет). Из них в возрасте 20-40 лет – 8 пациентов (5 женщин, 3 мужчины), 40-50 лет – 7 пациентов (4 женщины, 3 мужчины), старше 50 лет – 6 пациентов (3 женщины, 3 мужчины). Пациенты находились на лечении в отделении интенсивной терапии и реанимации по разным показаниям: ранний послеоперационный период после вмешательства на органах брюшной полости и сосудистых реконструктивных вмешательств (11 пациентов до 40 лет), а также острый коронарный синдром и острый инфаркт миокарда (10 пациентов старше 40 лет). С диагностической целью пациентам проводилось измерение показателей ЦГД (УО, СВ, ОПСС, сердечный индекс (СИ), ударный индекс (УИ), индекс ОПСС) аппаратом USCOM с последующим сравнением измеренных показателей с полученными расчетными методами. Расчет показателей центральной гемодинамики проводился по следующим формулам:

ударный объем сердца (мл) рассчитывался по формуле Старра [17]:

$$УО = (90,97 + 0,54 * ПД - 0,57 * АД_{диаст} - 0,6 IxV) * 1,5$$

где ПД – пульсовое артериальное давление (ПД = АД<sub>сис</sub> – АД<sub>диаст</sub>), В – возраст пациента в годах, 1,5 – введенный корректирующий коэффициент.

$$МОК (мл/мин) = УО * ЧСС$$

где ЧСС – частота сердечных сокращений, уд/мин.

$$СИ (мл/мин/м^2) = МОК/S$$

где МОК – минутный объем кровообращения, S – площадь поверхности тела пациента.

Площадь поверхности тела рассчитывалась по формуле Мостеллера:

$$S = \sqrt{(P * M / 3600)}$$

где P – рост пациента, см, M – масса тела пациента, кг.

$$УИ = СИ / ЧСС$$

где СИ – сердечный индекс, мл/мин/м<sup>2</sup>, ЧСС – частота сердечных сокращений, уд/мин.

ОПСС рассчитывалась по формуле Савицкого:

$$ОПСС = (АД_{ср} / МОК) * 1333 * 60$$

Статистическая обработка полученных материалов выполнялась с использованием пакета прикладных программ "Statistica 6.0" для Windows с использованием параметрических (в случае принадлежности изучаемой выборки к «нормальному» статистическому распределению) и непараметрических (в случае принадлежности выборки к распределению отличному от «нормального») критериев []. К параметрическим критериям относили t-критерий Стьюдента для зависимых и независимых выборок, к непараметрическим – критерий Манна-Уитни для независимых и критерий Вилкоксона для зависимых выборок.

### Результаты и обсуждение

В ходе проведенного сравнительного исследования были установлены существенные различия между расчетными и измеренными средними величинами ЦГД (таблица 1, рисунки 2 и 3). Так средняя величина ударного объема по данным УЗ-мониторинга оказалась на 20,4 мл (30,6%) достоверно меньше, по сравнению с рассчитанной по формуле Старра (p < 0,05 по t-критерию Стьюдента при сравнении между методами). Сердечный выброс по данным мониторинга составил в среднем (Me, 25-й – 75-й проценти) 4,3 (2,9-5,6) л/мин, против 6,3 (4,5-6,8) л/мин расчетным методом (т.е. оказался ниже на 32%, однако указанные различия оказались статистически незначимыми). Аналогично, ударный индекс в случае аппаратного мониторинга был статистически значимо меньше на 13,1 мл/м<sup>2</sup> (33%), по сравнению с расчетным. Величина сердечного индекса составила 2,3 ± 0,74 л/мин/м<sup>2</sup> во время ультразвукового мониторинга, против 3,6 ± 1,7 л/мин/м<sup>2</sup>, рассчитанного по формуле (больше на 36%).

Таблица 1. Средние величины показателей ЦГД пациентов методом УЗ-мониторинга и расчетным.

Показатель ЦГД	УЗ мониторинг	Расчетный метод
УО, мл (M±SD)	46,3 ± 17,8*	66,7 ± 17,0
СВ, л/мин (Me, 25-й; 75-й проц)	4,3 (2,9 – 5,6)	6,3 (4,5 – 6,8)
УИ, мл/м <sup>2</sup> (M±SD)	26,4 ± 9,4*	39,5 ± 17,9
СИ, л/мин/м <sup>2</sup> (M±SD)	2,3 ± 0,74*	3,6 ± 1,7
ОПСС, дин*сек*см <sup>5</sup>	1936,5 **	1121,30
(Me, 25-й; 75-й проц)	(1514,0 – 2598,0)	(864,88 – 1860,69)
ИОПСС, дин*сек*см <sup>5</sup> /м <sup>2</sup>	3470,0 **	609,87
(Me, 25-й; 75-й проц)	(4791,0 – 2275,0)	(554,88 – 933,73)

Примечание: \* – p < 0,05 по t-критерию Стьюдента при сравнении между методами; \*\* – p < 0,05 по критерию Манна-Уитни при сравнении между методами.

На рисунках 3 и 4 наглядно представлены диаграммы размаха, отражающие статистически значимое увеличение показателей общего периферического сосудистого сопротивления по результатам неинвазивного мониторинга по сравнению с данными, полученными расчетным методом по формуле Савицкого. ОПСС увеличился с 1121,30 (864,88 – 1860,69) до 1936,5 (1514,0 – 2598,0) дин\*сек\*см<sup>5</sup>, индекс ОПСС возрос с 609,87 (554,88 – 933,73) до 3470,0 (4791,0 – 2275,0) дин\*сек\*см<sup>5</sup>/м<sup>2</sup> (p < 0,05 по критерию Манна-Уитни при сравнении между методами). С позиции физиологии данное увеличение логично, т.к. падение ударного объема и сердечного выброса компенсируется резким возрастанием ОПСС и его индекса. Однако представленные величины не соответствуют клинической ситуации и стресс-норме физиологических констант.

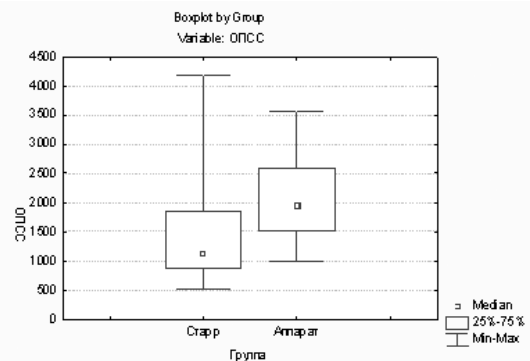


Рисунок 3. Сравнение величин ОПСС по данным изучаемых методик.

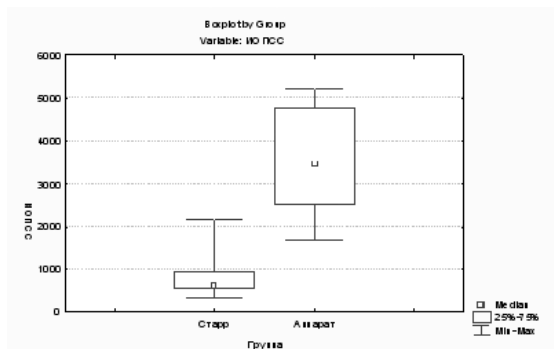


Рисунок 4. Величины индекса ОПСС по данным изучаемых методик.

Таким образом, проведенное исследование показало наличие статистически значимых различий между расчетными и неинвазивными методами определения показателей центральной гемодинамики. Величины ударного объема, сердечного выброса, а также сердечного и ударного индексов, измеренные аппаратным методом, были на 30-40% ниже по сравнению с рассчитанными по формулам. Указанные различия обычно выражены у лиц старше 50 лет, что связано с методикой ультразвукового доплеровского исследования. Фактически количество пациентов, равное 20, является минимальным для наработки навыка УЗ-измерения сердечного выброса по описанной методике. Мы считаем, что требуются дополнительные исследования для окончательного решения об эффективности и целесообразности использования ультразвукового измерения показателей центральной гемодинамики в отделениях ИТР.

#### Литература

1. Киров, М.Ю., Кузьков В.В., Суборов Е.В., Ленькин А.И., Недашковский Э.В. Транспульмональная термодиллюция и волюметрический мониторинг в отделении анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии. Методические рекомендации. Архангельск, 2004. С. 1-24.
2. Крафт, Т.М., Аптон П.М. Ключевые вопросы и темы в анестезиологии. М., 1997. С. 140.
3. Кузьков, В.В., Киров М.Ю., Недашковский Э.В. Волюметрический мониторинг на основе транспульмональной термодиллюции в анестезиологии и интенсивной терапии. Анестезиология и реаниматология

2003, №4. С. 67-73.

4. Морган, Д.Э., Михаил М.С. Клиническая анестезиология. Книга 1. СПб., 1998. С. 99-149.
5. Higgins, M.J., Hickey S. Anesthetic and perioperative management in coronary surgery. In: Surgery of Coronary Artery Disease. (Ed. Wheatley D.J.). Arnold, London, 2003, 135-156.
6. Hoefft, A. Refresher Course of Lectures, Euroanesthesia. 2004. 75-78.
7. Kirov, M.Y., Kuzkov V.V., Bjertnaes L.J. Extravascular lung water in sepsis. In: Yearbook of Intensive Care and Emergency Medicine 2005 (Ed. Vincent J.L.). Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg - New York, 2005. 449-461.
8. Malbrain, M., De Potter T., Deeren D. Cost-effectiveness of minimally invasive hemodynamic monitoring. In: Yearbook of Intensive Care and Emergency Medicine 2005 (Ed. Vincent J.L.). Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg - New York, 2005. 603-631.
9. Chong SW, Peyton PJ. A meta-analysis of the accuracy and precision of the ultrasonic cardiac output monitor (USCOM). *Anaesthesia* 2012; 67: 1266-71.
10. Critchley LA, Critchley JA. A meta-analysis of studies using bias and precision statistics to compare cardiac output measurement techniques. *Journal of Clinical Monitoring and Computing* 1999; 15: 85-91.
11. Critchley, LA, Lee A, Ho AM. A critical review of the ability of continuous cardiac output monitors to measure trends in cardiac output. *Anesthesia and Analgesia* 2010; 111: 1180-92.
12. Su BC, Yu HP, Yang MW, et al. Reliability of a new ultrasonic cardiac output monitor in recipients of living donor liver transplantation. *Liver Transplantation* 2008; 14: 1029-37.
13. Van den Oever HL, Murphy EJ, Christie-Taylor GA. USCOM (Ultrasonic Cardiac Output Monitors) lacks agreement with thermodilution cardiac output and transoesophageal echocardiography valve measurements. *Anaesthesia and Intensive Care* 2007; 35: 903-10.
14. Chand R, Mehta Y, Trehan N. Cardiac output estimation with a new Doppler device after off-pump coronary artery bypass surgery. *Journal of Cardiovascular and Vascular Anesthesia* 2006; 20: 315-9.
15. Dey I, Sprivilis 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: 193-9.
16. Haryadi D.G., Westenskow D.R., Schookin S.I., Critchley L.A. Comparison of bioimpedance versus thermodilution cardiac output. 11th world congress of anaesthetologists. April 1996. Australia.
17. Прогнозирование гемодинамики при длительных анестезиях: пособие для врачей / И.Б. Заболотских [и др.]; под общ. ред. И.Б. Заболотских. – Краснодар: Кубан. гос. мед. акад., 2002. – 30 с.

Поступила 12.01.2013 г.