

Оценка состояния центральной гемодинамики методом компрессионной объемной осциллометрии

А. Б. Тривоженко, д.м.н., проф. кафедры клинической физиологии и функциональной диагностики¹
Ю. В. Семенова, д.м.н., зав. отделением амбулаторной кардиологии¹
А. А. Ширяев, ординатор²

¹Академия последипломного образования ФГБУ Федерального научно-клинического центра ФМБА России, г. Москва

²ФГОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет», г. Томск

Assessment of central hemodynamics by the method of volumetric compression of oscillometry

A. B. Trivozhenko, Y. V. Semenova, A. A. Shiriaev

Academy of postgraduate education of Federal research and clinical center of FMBA of Russia, Moscow, Siberian State Medical University, Tomsk; Russia

Резюме

Компрессионная объемная осциллометрия (КОО) позволяет измерять и анализировать различные параметры центрального и периферического кровообращения. Для оценки точности метода в определении линейных и объемных показателей системного кровотока, в качестве референтной технологии, применялась экспертная доплер-эхокардиография. Метод продемонстрировал допустимую точность в измерении ударного объема ($\pm 15\%$), с непротиворечивыми смещениями ($\pm 1,96$ стандартных отклонений) при оценке зависимости разности измерений двумя способами в графике Блэнда-Альмана. Была выявлена тесная корреляционная взаимосвязь между осциллометрической пиковой скоростью кровотока в плечевой артерии и доплеровской скоростью кровотока в устье аорты ($p < 0,001$; $r = 0,85$). Аналогичная корреляция наблюдалась между интегралом аортального доплеровского спектра и пиковой скоростью артериального кровотока, измеренной КОО ($p < 0,001$; $r = 0,68$).

Ключевые слова: осциллометрия, доплер-эхокардиография, ударный объем.

Summary

Compression volumes oscillometry allows to measure different parameters of the central and peripheral blood circulation. For an estimation of accuracy of this method in definition of linear and volume indicators of a system hemodynamics, as referential technology, the expert doppler-echocardiography was applied. The method has shown acceptable accuracy in measurement of stroke volume ($\pm 15\%$), with consistent displacement ($\pm 1,96$ standard deviations) at an estimation of dependence of a difference of measurements in two ways in Bland — Altman plot. The high correlation has been revealed between oscillometric peak speed in a humeral artery and doppler peak speed in aorta ($p < 0,001$; $r = 0,85$). Similar correlation was observed between aortic Doppler- spectrum integral and the peak speed of an arterial blood-groove ($p < 0,001$; $r = 0,68$).

Key words: oscillometry, doppler-echocardiography, swing volume.

Введение

Позитивная тенденция к снижению смирности населения нашей страны от болезней системы кровообращения требует своего дальнейшего развития и предполагает дополнительное диагностическое обеспечение многочисленных лечебных и профилактических мероприятий. При этом особое значение приобретают общедоступные и недорогие, информативные и безопасные, высококомбинированные и простые методы инструментальной оценки параметров центральной гемодинамики (ЦГД), интерпретация результатов которых не подвержена измерительной вариабельности и врачебному субъективизму.

В этой связи, значительный интерес вызывает технология компрессионной объемной осциллометрии (КОО), суть которой заключается в углубленном компьютерном анализе и математической обработке форм осцилляций, возникающих при неполном и полном пережатии плечевой артерии пневматической манжетой. Фундаментально, осциллометрическое определение систолического ударного объема (УО) базировалась на формуле Бремзера — Ранке [6]:

$$SVol = \frac{0,6 \times CSAAo \times 1333 \times (BPlat - BPdias) \times tsis \times tcar}{v \times tdias}$$

Где: SVol — ударный объем, CSAAo — площадь поперечного сечения аорты, определяемая по номограммам Савицкого; 1333 — множитель для перевода давления в дини; BPlat — боковое АД; BPdias — диастолическое АД; tsis — время систолического периода; tcar — время сердечного цикла; tdias — время диастолического периода; v — скорость распространения пульсовой волны.

Однако с развитием физико-математических и компьютерных технологий, усовершенствовалась и сама методика дефиниции УО, а новые медицинские анализаторы осциллограмм (АПКО-8-РИЦ-М) демонстрируют уникальные возможности метода в точной регистрации показателей центральной и периферической гемодинамики.

Так исследования, нацеленные на определение параметров распространения пульсовых волн и жесткости сосудистых стенок артериального русла, показали высокую диагностическую и прогностическую надежность метода у больных артериальной гипертонией и сахарным

диабетом [2, 4, 8, 9, 13]. Научные работы, посвященные интеграции КОО в процесс перманентного мониторинга ЦГД пациентов, находящихся в отделениях интенсивной терапии и реанимации, обозначили его неплохие возможности в измерении УО и минутного сердечного выброса в сравнении с транспульмональной термодилуцией [1, 2, 3, 13].

Вместе с тем, на сегодняшний день количество сравнительных тестирований метода представляется недостаточным для полноценного мета-анализа. Более того, получаемые осциллометрические параметры ЦГД ранее не сопоставлялись с аналогичными показателями ультразвуковых визуализирующих технологий. При этом хорошо известно, что среди неинвазивных методов оценки сердечной деятельности, доплер-эхокардиография (ДЭхоКГ), выполненная на экспертном уровне, представляет собой своеобразный верификатор глобальной систолической функции, позволяющий точно анализировать магистральное кровообращение [7]. Кроме этого, немалый интерес вызывает итоговая сравнительная характеристика различных подходов к вычислению интегральных гемодинамических параметров осциллометрическим и доплеровским методами, с точки зрения биофизики измерительного процесса.

Таким образом, совокупность вышеизложенных аргументов обозначила **цель исследования**: в сравнительном аспекте изучить линейные и объемные параметры ЦГД, получаемые в процессе КОО и ДЭхоКГ при их одномоментном применении.

Материал и методы исследования

Для достижения поставленной цели было обследовано 49 пациентов, 19 мужчин и 30 женщин в возрасте от 30 до 70 лет (средний возраст 56 ± 12 лет), направленных для проведения ультразвукового исследования сердца. В анализируемой когорте находилось 17 (34%) больных артериальной гипертонией I степени, 12 (24%) пациентов с гипертонией II степени, а также 6 (12%) с ИБС в виде стабильной стенокардии напряжения I–II функционального класса. Кроме этого, у 5 (10%) обследуемых лиц регистрировалась редкая желудочковая или суправентрикулярная экстрасистолия, а у 3 (6%) — в анамнезе имела место пароксизмальная форма фибрилляции предсердий. Ожирением I степени и индексом массы тела от 30 до 35 страдало 16 (32%) человек, II степени и индексом массы тела от 35 до 40 — 3 (6%) человека. Сахарный диабет II типа присутствовал у 4 (8%) пациентов.

В исследование не включались больные острым или перенесенным инфарктом миокарда, с нарушениями мозгового кровообращения, пациенты с сердечной недостаточностью (фракция выброса менее 50%), врожденными пороками сердца, существенными стенозами устья аорты, заболеваниями клапанного аппарата, манифестирующими тахи или брадиаритмиями, с артериальной гипертонией III степени. Также не включались лица с психологическими расстройствами, когнитивными нарушениями, пациенты с неудовлетворительной ультразвуковой визуализацией сердца и магистральных сосудов.

Методика одномоментной ДЭхоКГ и КОО (рис. 1) заключалась в последовательном выполнении расширенного ультразвукового исследования сердца (аппарат VIVID E9, GE, США), которое помимо измерений стандартизированных параметров, дополнялось регистрацией максимальной скорости (V_{max} , см/с), интеграла (VTI, см) и времени акселерации (Taccel, мс) кровотока в устье аорты при проведении спектрального доплеровского исследования. Последующий расчет УО представлял собой произведение VTI и площади поперечного сечения аортального клапана, которая измерялась в процессе ручной трассировки внутреннего контура отверстия клапана. Для преодоления измерительной вариабельности, обозначенные манипуляции проводились дважды, с усреднением полученных значений. Далее, не меняя положения пациента (лежа), на его правое плечо накладывалась манжета для проведения КОО (аппарат АПКО-8-РИЦ-М, ООО «Компания Максима», Россия) и в соответствии с требованиями производителя, осуществлялась осциллометрическая манипуляция. При необходимости, в случаях появления неспровоцированных искажений или сбоев, пневматический маневр выполнялся повторно. В процессе КОО выделялись и анализировались следующие параметры: УО, линейная скорость кровотока в плечевой артерии (V_a , см/с), скорость пульсовой волны (V_p , см/с).

Все исследования проводились в первой половине дня, ДЭхоКГ и КОО выполнялись одномоментно, одним оператором («ультразвуковой стаж» более 20 лет), права испытуемых обеспечивались юридически утвержденными информированными согласиями.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программы MedCalc (medcalc.org). Структурная группировка осуществлялась по атрибутивным признакам. Данные представлялись с указанием минимальных и максимальных значений в выборках, а также генеральных средних и стандартных отклонений ($M \pm SD$). Проверка гипотезы о различии двух выборок осуществлялась с использованием критерия Манна — Уитни.

Вариабельность УО, измеренного двумя сравниваемыми способами, анализировалась в графике Блэнда — Альтмана с отслеживанием группировки переменных вокруг средних значений, идентификацией системных смещений и оценкой непротиворечивости смещений в пределах $\pm 1,96$ стандартных отклонений.

Для оценки взаимосвязи линейных количественных показателей центрального и периферического кровообращения применялся корреляционный анализ с расчетом коэффициента r , при условии сравнения двух выборок с одинаковым количеством переменных, представленных в интервальной шкале с нормальным распределением. Дополнительно, проводился регрессионный анализ с вычислением уравнения регрессии.

В каждом случае рассчитывался уровень статистической значимости (p), а «нулевые гипотезы» отвергались при $p < 0,05$ [4].

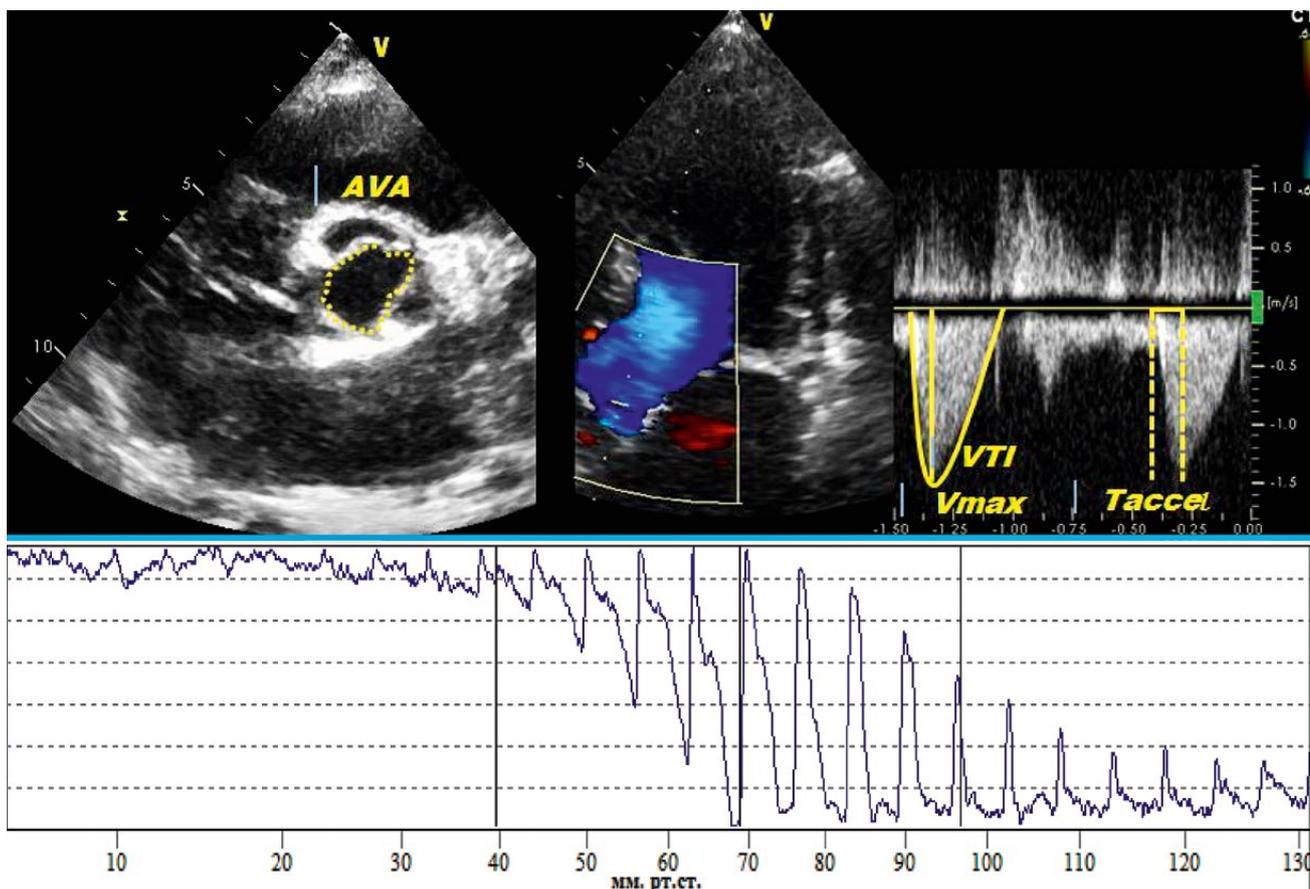


Рисунок 1. Методика одномоментной ДЭхоКГ и КОО. Верхняя панель — доплеровское измерение, где VTI, Vmax, Taccel, — интеграл, пиковая скорость и время акселерации кровотока в устье аорты, соответственно, а AVA — площадь поперечного сечения устья Ао. Нижняя панель — осциллограмма кровотока в плечевой артерии.

Результаты исследования

В процессе выполнения ДЭхоКГ были обнаружены следующие отклонения от нормы и патологические изменения сердечных структур: у 12 (24%) возрастных пациентов наблюдались дегенеративные изменения оснований створок Ао клапана (фиброз, кальцификация), лимитирующие их подвижность, но не вызывающие гемодинамически значимых стенозов устья аорты. Кроме этого, у 6 (12%) обследуемых лиц была обнаружена умеренная концентрическая гипертрофия левого желудочка (ЛЖ) с индексом массы миокарда от 125 до 140 г/м² площади поверхности тела (ППТ). Дополнительно у 22 (45%) человек наблюдалось нарушение диастолической функции ЛЖ I типа в виде его пролонгированной релаксации, а у 5 (10%) добровольцев присутствовала легочная гипертензия I степени с уровнем систолического давления в правом желудочке от 35 до 45 mmHg. Выявленные структурно-функциональные изменения не были признаны существенными и не ограничивали интегральную систолическую функцию ЛЖ. Фракция выброса (ФВ) в генеральной совокупности просматривалась в диапазоне от 55 до 80% (среднее $68,5 \pm 6,6$), УО регистрировался в пределах от 55 до 100 мл (среднее $73 \pm 10,8$), а ударный индекс ни в одном случае не был ниже 32 мл/м² ППТ.

Оценивая скоростные параметры Ао кровотока было выявлено, что Vmax измерялась в пределах от 105 до 205 см/с (среднее $138 \pm 22,5$), VTI — в диапазоне от 18 до 42 см (среднее $27,7 \pm 5,2$), а Taccel — в границах от 75 до 135 мс (среднее $102,8 \pm 14,7$).

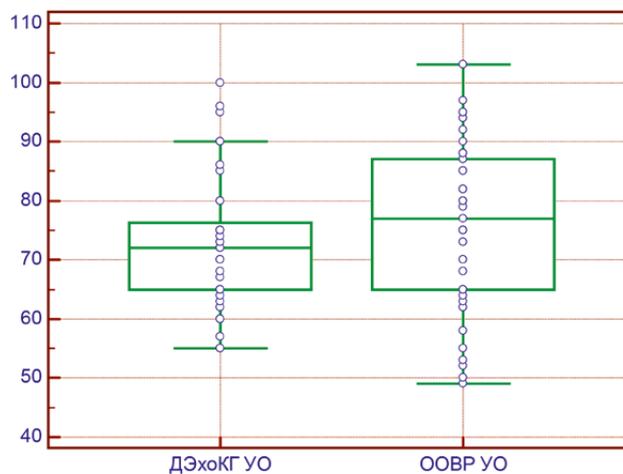


Рисунок 2. Ударный объем, вычисленный методами ДЭхоКГ и КОО (статистически достоверные различия отсутствуют, $p=0,09$).

При выполнении КОО все регистрации оказались успешными, но в 12 (24%) случаях требовалась повторная попытка выполнения пневматического маневра ввиду недостаточной прижатия манометрической манжеты при ее наложении. Необходимо подчеркнуть, что чрезмерная пунктуальность в осуществлении данной манипуляции, в соответствии с требованиями производителя, представляла собой своеобразную апорию метода, и ограничивало его применение малоопытными специалистами. Тем

Таблица 1

Полученные значения УО, измеренного осциллометрическим (КОО) и доплеровским (ДЭхоКГ) методами

№ пары	ООВР УО/мл	ДЭхоКГ УО/мл	№ пары	ООВР УО/мл	ДЭхоКГ УО/мл
1	53	65	26	94	90
2	49	55	27*	92	78
3	90	80	28	82	72
4	75	74	29	70	80
5	95	86	30	85	75
6	65	68	31*	87	73
7	82	70	32	92	80
8	75	65	33	63	72
9	88	95	34	58	65
10	80	72	35	62	75
11	79	75	36	64	60
12*	103	90	37*	88	100
13	65	72	38*	80	78
14*	82	64	39	75	65
15	55	65	40	80	70
16*	75	85	41	68	73
17*	70	62	42*	73	60
18	87	96	43	52	57
19	77	67	44	75	65
20	80	62	45	95	90
21*	75	64	46*	88	77
22	65	72	47	82	73
23	50	60	48*	97	85
24	82	75	49	73	63
25	62	70			

Примечание. * — пары измерений с различием $\pm 15\%$.

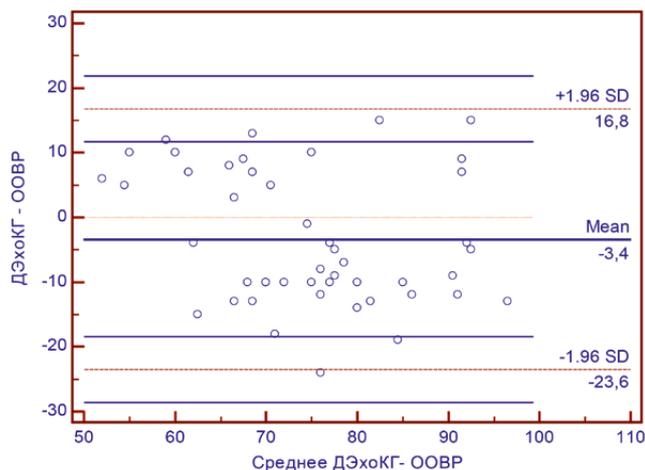


Рисунок 3. Оценка зависимости разности измерений УО способами ДЭхоКГ и КОО (ось Y) от среднего (ось X) методом Бланда-Альтмана.

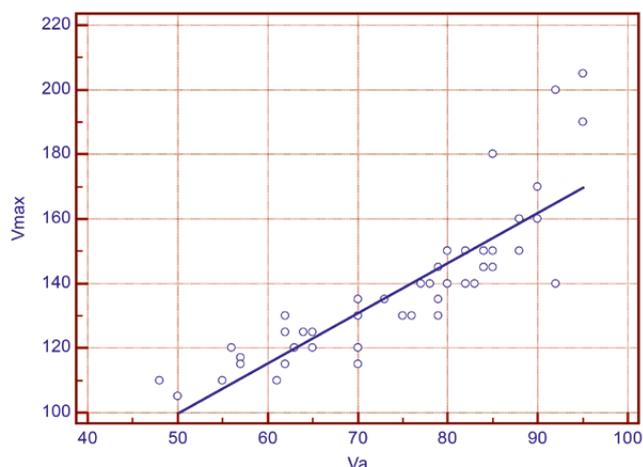


Рисунок 4. Корреляционный анализ пиковой скорости кровотока в Ао и плечевой артерии (V_{max} и V_a , соответственно).

не менее, во всех случаях был измерен УО, который находился в пределах от 49 до 103 мл (среднее $76,3 \pm 13,3$), а также V_a и V_p , которые просматривались в диапазонах от 48 до 95 см/с (среднее $74,7 \pm 12,3$) и от 448 до 1127 см/с (среднее $732,2 \pm 148,2$), соответственно.

При проведении сравнительного анализа УО, вычисленного в процессе ДЭхоКГ и КОО было обнаружено, что в 12 (24%) парах измерений наблюдались отклонения данного показателя, с дифференциалом $\pm 15\%$ (таб.1). Вместе с тем метод Манна — Уитни не продемонстрировал статистически достоверных различий между двумя выборками ($p=0,09$; U-критерий = 962,5; рис. 2). Более того, при детализации зависимости разности измерений УО способами ДЭхоКГ и КОО от среднего, в графике Бланда — Альтмана не было обнаружено противоречивых смещений, а все значения наблюдались в пределах доверительных интервалов ($\pm 1,96$ стандартных отклонений).

Дополнительно анализировалась корреляционная взаимосвязь между линейными параметрами центрального и периферического кровообращения. В результате было обнаружено, что V_{max} тесно коррелирует с V_a

($p < 0,001$; $r = 0,85$; рис. 4), а регрессионный анализ продемонстрировал отношение $F=126,9$ ($p < 0,001$; коэффициент детерминации $R^2=0,73$), при этом уравнение регрессии выглядело следующим образом: $V_{max} = 21,9 + 1,55 \times V_a$.

Вполне надежная взаимосвязь просматривалась и между такими линейными показателями кровотока, как VTI и V_a ($p < 0,001$; $r = 0,68$; рис. 5). Регрессионный анализ показал соотношение $F = 41,7$ ($p < 0,001$; коэффициент детерминации $R^2 = 0,47$), при этом уравнение регрессии выглядело следующим образом: $VTI = 6,4 + 0,28 \times V_a$.

Кроме этого, была выявлена статистически достоверная обратно пропорциональная зависимость скорости распространения пульсовой волны от времени ускорения Ао кровотока ($p < 0,001$; $r = -0,8$; рис. 6).

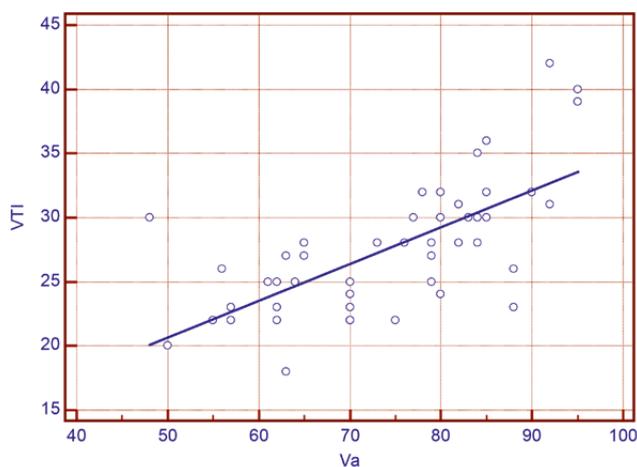


Рисунок 5. Корреляционный анализ интеграла скорости аортального кровотока и пиковой скорости кровотока в плечевой артерии (VTI и V_a , соответственно).

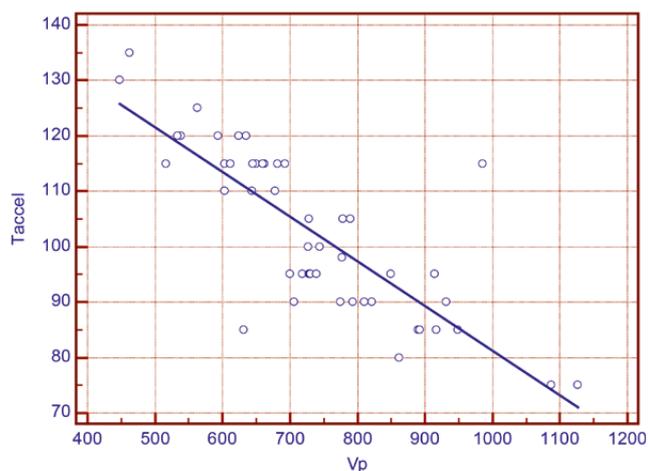


Рисунок 6. Обратная пропорциональная взаимозависимость времени ускорения A_0 кровотока и скорости распространения пульсовой волны в плечевой артерии (Taccel и V_p , соответственно).

Обсуждение

На сегодняшний день, наиболее точным методом измерения УО и сердечного выброса является технология транспульмональной термодилуции по системе PICCO [1, 3, 10, 11]. Однако данный способ оценки ЦГД применяется лишь в отделениях интенсивной терапии и реанимации, так как требует катетеризации магистральных сосудов и не может быть рекомендован для широкого клинического применения. Допплеровский метод, не будучи инвазивным, позиционируется в качестве наиболее близкого по точности к транспульмональной термодилуции, что подтверждается литературными данными [7, 12, 14]. Преодоление измерительной вариабельности за счет использования ультразвукового аппарата экспертного класса высококвалифицированным оператором позволяет обозначать ДЭхоКГ в качестве референтного, верифицирующего метода измерения УО для оценки точности КОО.

Осциллометрическое определение линейных параметров кровотока на плечевой артерии является весьма надежным способом изучения не только периферической

но и центральной гемодинамики. Пиковая скорость кровотока и распространение пульсовой волны по артериальному руслу тесно коррелирует с линейными параметрами кровотока в устье аорты. Данная гипотеза подтверждается литературными сведениями и проведенным исследованием [1, 2, 5]. Уравнения, полученные в процессе регрессионного анализа, позволяют достоверно вычислять интеграл и максимальную скорость кровотока в устье аорты, зная скорость кровотока в плечевой артерии, измеренную в процессе КОО. Несомненно, данные расчеты возможны лишь при отсутствии гемодинамически значимых препятствий, вызванных серьезными заболеваниями магистральных артерий (серьезных атеросклеротических стенозов, тромбозов, аневризм, травм или экстравазальных компрессий).

Менее точной выглядит осциллометрическая верификация объемных параметров ЦГД. Так при определении УО могут появляться ошибки, занижающие или завышающие данный показатель на 15% [1, 3]. В нашем исследовании эти неточности наблюдались в 24% эпизодах, в основном, у возрастных пациентов и лиц, страдающих ожирением. Как известно, УО очень зависим от индивидуальной морфометрии главной системной магистрали: диаметра и площади поперечного сечения A_0 , которые не всегда пропорциональны антропометрическим показателям, заложенным в формулу КОО. Более того, сама методика дополнительно зависима от глубины нахождения плечевой артерии, толщины мышечной массы и подкожно-жировой клетчатки, таким образом, обозначенная измерительная вариабельность представляется вполне закономерной. Вместе с тем, отсутствие противоречивых смещений в графике Блэнда — Альтмана и статистически достоверных различий между УО, измеренным в процессе ДЭхоКГ и КОО, указывают на приемлемую надежность осциллометрии и возможность использования данного метода в тех случаях, когда несущественные ошибки определения УО не имеют принципиального значения.

Очень интересным представляется тот факт, что фундаментально различные подходы, с точки зрения биофизики измерительного процесса (доплеровский и осциллометрический) продемонстрировали допустимую идентичность получаемых данных. Необходимо добавить, что отсутствие в обследуемой когорте пациентов с тяжелыми сердечно-сосудистыми заболеваниями, сопровождаемыми недостаточностью кровообращения, требует дальнейшего изучения возможностей КОО. Однако по результатам проведенного исследования можно утверждать, что технология, реализованная в аппарате АПКО-8-РИЦ-М может быть использована для оценки ЦГД в процессе массовой диспансеризации населения, проведения входных и периодических медицинских осмотров, дополнительного контроля за состоянием сердечно-сосудистой системы у спортсменов и лиц, занимающихся физической культурой. Кроме этого, она пригодна для динамического наблюдения за состоянием магистрального кровообращения в процессе лечебных и реабилитационных мероприятий, когда первостепенное значение имеет быстрая регистрация отклонений от измеренных ранее параметров.

Выводы

1. Компрессионная объемная осциллометрия позволяет точно измерять и анализировать эквиваленты таких линейных показателей центральной гемодинамики, как интеграл, максимальная скорость и время ускорения кровотока в устье аорты.
2. Методика обладает приемлемой надежностью в дефиниции ударного объема ($\pm 15\%$), но, не относясь к визуализирующим методам исследования, ограничена неспособностью к индивидуальной морфометрии устья аорты.
3. Компрессионная объемная осциллометрия, ввиду простоты выполнения и необременительности для пациента, может быть рекомендована для массовых скрининговых обследований условно здоровых лиц.

Список литературы

1. Золотухин К. Н., Поляков И. В., Самородов А. В. Сравнительный анализ мониторинга центральной гемодинамики монитором МПР 6-03 («Тритон») и «PICO Plus» // Тольяттинский Медицинский Консилиум. 2012. № 3. С. 19–23.
2. Дегтярев В. А. Возможности комплексного исследования системы кровообращения в первичном звене здравоохранения методом объемной компрессионной осциллометрии // Терапия. 2015. № 1. С. 22–30.
3. Мазурок В. А. Объемно-компрессионная осциллометрия для оценки производительности сердца // Вестник интенсивной терапии. 2017. № 2. С. 55–60.
4. Наглядная медицинская статистика: учеб. пособие / А. Петри, К. Сэбин; пер. с англ. под ред. В. П. Леонова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. — 216с.
5. Овсянникова В. В., Черных Т. М. Метод объемной компрессионной осциллометрии в оценке жесткости аорты у больных сахарным диабетом // Молодой учёный. 2015. № 21. С. 299–303.
6. Педли Т. Гидродинамика крупных кровеносных сосудов: Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — 400с.
7. Практическая эхокардиография: Руководство по эхокардиографической диагностике / под ред. Франка А. Флаккампа; пер. с нем. под ред. Акад. РАМН, проф. В. А. Сандрикова. — М.: МЕД-пресс-информ, 2013. — 872с.
8. Страхова Н. В., Зуйкова А. А. Возможности метода объемной компрессионной осциллометрии в прогнозировании кардиоваскулярного риска у больных артериальной гипертензией в общей врачебной практике // Архив внутренней медицины. 2013. № 1(9). С. 64–68.
9. Шидловская С. А., Дедебаева Л. Б., Дегтярев В. А., и др. Опыт применения объемной компрессионной осциллометрии у пациентов с артериальной гипертензией // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2015. № 2. С. 33–37.
10. Egner B. High Definition Oscillometry: Non-invasive Blood Pressure Measurement and Pulse Wave Analysis. In: Pugsley M., Curtis M. (eds) Principles of Safety Pharmacology. Handbook of Experimental Pharmacology, Springer, Berlin, Heidelberg. 2015. Vol.229. P. 243–264.
11. Missant C., Rex S., Wouters P. F. Accuracy of cardiac output measurements with pulse contour analysis (PulseCO) and Doppler echocardiography during off-pump coronary artery bypass grafting // European Journal of Anaesthesiology. 2008. Vol.25. P. 243–248.
12. Peyton P., Chong S. Minimally Invasive Measurement of Cardiac Output during Surgery and Critical Care: A Meta-analysis of Accuracy and Precision // Anesthesiology. 2010. Vol.113. P. 1220–1235.
13. Reshefnik A. et al. Non-invasive oscillometric cardiac output calculation // Journal of Hypertension. 2017. Vol.35. P. 120.
14. Wurzer P., Branski L. K., Jeschke, M. G.; et al. Transpulmonary thermolodilution versus transthoracic echocardiography for cardiac output measurements in severely burned children // SHOCK. 2016. Vol.46. P. 249–253.

Для цитирования. Тривоженко А. Б., Семенова Ю. В., Ширяев А. А. Оценка состояния центральной гемодинамики методом компрессионной объемной осциллометрии // Медицинский алфавит. Серия «Современная функциональная диагностика». — 2019. — Т. 2. — 12(387). — С. 18–23.

АПКО-8-РИЦ-М

Неинвазивный анализатор гемодинамики

- Измерение происходит на подъеме давления в манжете
- АД и показатели жесткости сосудистой системы
- Наглядное представление результатов
- Простота использования
- ▶ **Усовершенствованная пневмосистема и программа**



Производитель:

МАКСИМА
КОМПАНИЯ
ООО «Компания «МАКСИМА»

✉ companymaxima@mail.ru

☎ +7 (499) 681-04-32

📍 143985, МО, г. Балашиха, мкр-н Кучино, ул. Южная, 9

🌐 www.companymaxima.ru