

РАСЧЕТНЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГО ГЕМОДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ КРОВИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Хурса Р.В., Семенович А.А.

УО «Белорусский государственный медицинский университет»

Минск, Беларусь

rvkhursa@tut.by, semenovich40@mail.ru

Показано, что известные формулы расчета среднего гемодинамического давления (СрД) с использованием пульсового давления адекватны лишь для узких границ физиологического состояния человека. Предложенные нами формула с использованием частоты сердечных сокращений и переменного множителя при пульсовом давлении и метод КАСПАД универсальны, применимы в условиях покоя, физических нагрузок и других воздействий. КАСПАД определяет гемодинамические фенотипы: гармонический, при котором один из параметров равен СрД, и дисфункциональные, символизирующие латентные регуляторные нарушения. Учет фенотипа способствует персонализации подходов к лечению и профилактике нарушений кровообращения.

Ключевые слова: среднее гемодинамическое давление; формулы расчета; линейная регрессия; гемодинамический фенотип.

CALCULATION METHODS FOR DETERMINING THE MEAN ARTERIAL PRESSURE: COMPARATIVE ANALYSIS

Khursa R. V., Semenovich A. A.

Belarusian State Medical University

Minsk, Belarus

The article shows that the known formulas for calculating the mean arterial pressure (MAP) using pulse pressure are adequate only for narrow boundaries of the physiological state of a person. Our created formula using the heart rate and variable multiplier at pulse pressure and the method of the quantitative analyses of the relationships of blood pressure parameters (QARBPP) are universal for different conditions of the rest, physical loads and other influences. QARBPP determines the hemodynamic phenotypes: harmonic, in which one of the parameters is equal to the MAP, and dysfunctional phenotypes, symbolizing latent regulatory disorders. Phenotypes allows personalizing the approaches to the treatment and prevention of circulatory disorders.

Key words: mean arterial pressure; calculation formulas; linear regression; hemodynamic phenotype.

Среднее гемодинамическое давление (СрД) – это интегральное среднее артериальное давление (АД) за время сердечного цикла, показатель уровня постоянного давления, обеспечивающего объемный кровоток, адекватный пульсирующему (от систолы к диастоле). Этот показатель отражает величину энергетических затрат сердца на продвижение крови по сосудам, зависящую как от общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС), так и от объемного кровотока. В связи с этим считается, что величина СрД

характеризует согласованность в регуляции сердечного выброса (минутного объема крови) и ОПСС. Величина СрД в артериях большого круга в норме ~80-90 мм рт.ст. (по разным литературным данным и с учетом возраста – 70-110 мм рт.ст.), при артериальной гипертензии (АГ) – выше 95-100 мм рт.ст. [1].

СрД определяют осциллометрически по специальным алгоритмам (что часто дает отличающиеся показатели разными приборами) или расчетом по эмпирически выведенным формулам, чаще всего – по параметрам измеряемого АД – диастолическому (ДАД) и пульсовому (ПД) с постоянным множителем: $\text{СрД} = \text{ДАД} + 0,33 \times \text{ПД}$ (Хикэм); $\text{СрД} = \text{ДАД} + 0,4 \times \text{ПД}$ (Simonyi et al.); $\text{СрД} = \text{ДАД} + 0,5 \times \text{ПД}$ (Н. Н. Савицкий) [2]. ПД определяется по разнице между систолическим давлением (САД) и ДАД. Вопрос о наиболее адекватном множителе при ПД до сих пор дискутируется [3]. Кроме того, большинство формул статичны, не учитывают физиологические условия и частоту сердечных сокращений (ЧСС), влияющую на величину СрД. Таким образом, определение СрД остается проблематичным.

Нами предложены иные пути определения СрД: формула с использованием ДАД, ЧСС и *переменного* множителя при ПД [4] и способ количественного анализа связей параметров АД (КАСПАД) в динамическом ряду их величин при линейной регрессии САД и ДАД по ПД, позволяющий выделить гемодинамические фенотипы, один из параметров которых является формальным аналогом СрД [5].

Цель: сопоставить значения СрД, получаемые разными расчетными способами, для определения условий и возможностей их применения.

Материалы и методы. Формула расчета СрД с учетом ЧСС и переменным множителем при ПД разрабатывалась на основе анализа ряда показателей кардиореспираторной системы 57 практически здоровых молодых людей (18–29 лет), полученных с помощью велоэргометрической стресс-системы Cardiovit CS-100 (Schiller, Швейцария), регистрировавшей АД, ЭКГ, частоту и глубину дыхания, его минутный объем, содержание O_2 и CO_2 в выдыхаемом и альвеолярном воздухе и др.; определялись уровень оксигенации гемоглобина артериальной крови пульсоксиметром, кислородный пульс и уровень молочной кислоты в капиллярной крови.

КАСПАД проводился по индивидуальным рядам величин АД при суточном мониторинговании (СМАД, монитор ВРLab, Россия) у пациентов обоих полов 3-х групп разного возраста и состояния здоровья: 1 – 126 практически здоровых лиц возраста 22 [21-24] лет; 2 – 49 пациентов с впервые выявленной АГ 1-2 степени до начала лечения (31 [26-41] лет); 3 – 56 пациентов с АГ на фоне амбулаторного лечения (55 [44-58] лет). Оценивались индивидуальные регрессионные коэффициенты и гемодинамический фенотип, определялось СрД осциллометрически ($\text{СрД}_{\text{осц}}$) и расчетом по упомянутым формулам с постоянным множителем при ПД – 0,33; 0,4; 0,5 (далее – формулы А; В; С), а также по разработанной в процессе исследования формуле, обозначенной в данном сообщении как формула Д. Величины СрД, полученные разными способами, сравнивались между собой и с формальным аналогом СрД при КАСПАД по группам и фенотипам (по критерию Вилкоксона); значения

признаков представлены как $Me [Q_{25\%}-Q_{75\%}]$, за критический уровень значимости различий принималось $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. В поиске более надежного вычислительного метода определения СрД была изучена корреляция между динамикой его увеличения (при расчете разными формулами) и интенсивностью возрастания потребления O_2 у здоровых молодых людей, у которых, как известно, объемный кровоток, прямо зависящий от уровня СрД, является фактором, лимитирующим потребление кислорода при предельных нагрузках. В результате проведенных исследований предложена формула (Д), которая оказалась наиболее адекватной: $СрД = ДАД + (ПД/20) \times \sqrt{ЧСС}$ [4]. Рассчитанные по ней величины СрД наиболее тесно коррелировали с уровнем потребления кислорода при физической нагрузке: $r = 0,91$, $t = 11,8$, $p < 0,001$ (по другим формулам величина r составляла от 0,61 до 0,77), а варибельность индивидуальных показателей корреляции была в 4–6 раз ниже, чем при использовании других формул.

Линейная регрессия для КАСПАД имеет общий вид [5]:

$$САД = Q + a \times ПД \quad (1); \quad ДАД = Q + (a-1) \times ПД \quad (2)$$

где Q , a , $(a-1)$ – коэффициенты, выраженные *индивидуальными числовыми значениями*.

Коэффициент-пересечение Q характеризует давление крови при отсутствии пульсации (при $ПД=0$), т.е. формально является аналогом СрД. Угловые коэффициенты a и $(a-1)$ отражают соответственно участие пропульсивной работы сердца и «периферического сердца» в продвижении крови. По индивидуальной величине коэффициента a определяются гемодинамические фенотипы: гармонический (Г) при $0 < a < 1$, которому соответствует нормальное соотношение барических параметров – $ДАД < Q < САД$; дисфункциональный диастолический (ДД), характеризующий увеличенное влияние сердечной составляющей – при $1 < a < 2$ и соотношении $Q < ДАД < САД$; дисфункциональный систолический (ДС), отражающий увеличенную роль «периферического сердца» – при $-1 < a < 0$ и соотношении $ДАД < САД < Q$.

Во всех группах преобладал фенотип Г, его распространенность была значимо большей в группе 1, чем в группах 2 и 3: 81% (102 чел.), 63,3% (31 чел., $\chi^2_{\text{н}} = 5,1$; $p = 0,024$) и 51,8% (29 чел., $\chi^2_{\text{н}} = 14,9$; $p < 0,001$) соответственно. Средние значения Q в каждой из групп отвечали представлениям о величине СрД: в группе 1 – 83,3 [73,8-93,1] мм рт.ст. (норма), в группах 2 и 3 (лица с АГ) – 92,3 [79,8-114,7] и 84,8 [72,2-97,8] мм рт.ст. соответственно.

Величины СрД у каждого испытуемого при всех использованных способах расчета варьировали, различались между собой и отличались от $СрД_{\text{оц}}$ с высокой статистической значимостью ($p < 0,001$) во всех группах в целом и независимо от фенотипа. Этот факт подтверждает наличие проблемы адекватности формул для расчета СрД.

Математически выразив Q через ДАД и ПД в уравнении (2), получаем: $Q = ДАД - (a-1) \times ПД$. Тогда при $a = 0,67$ и, соответственно, $(a-1) = -0,33$, получаем: $Q = ДАД + 0,33 \times ПД$, т.е. формулу расчета А; при $a = 0,6$ и $a = 0,5$ – формулы В и С соответственно. Т.е. при данных значениях коэффициента a величина коэффициента Q эквивалентна СрД. Такие значения a принадлежат только

фенотипу Г, представляя частные случаи зависимостей. При обоих дисфункциональных фенотипах Q не может быть тождественно СрД уже в теории (по условиям выделения этих фенотипов), что связано с выраженной нелинейностью связей между параметрами АД, доказанной нами ранее [6].

При фенотипе Г величины Q в группах 1 и 3 были сопоставимы ($p > 0,05$) с СрД_{осц} и с СрД-А, а в группе 2 – с СрД-В, СрД-С и СрД-Д, что соотносится с фактическими значениями коэффициента a : в группах 1 и 3 – 0,7 [0,5-0,8] и 0,8 [0,6-0,9], тогда ($a - 1$) наиболее близко к множителю в расчетной формуле А, в группе 2 – 0,5 [0,3-0,8] – в формулах В и С. У пациентов группы 2 с фенотипом Г по дневному периоду СМАД средний уровень Q не отличался от расчетного СрД по формулам В и Д, по другим формулам различия были значимы ($p < 0,05$).

При фенотипах ДД и ДС в каждой из групп значения Q разнонаправленно отличались ($p < 0,001$) и от СрД_{осц}, и от СрД по всем использованным вариантам расчета, а величине СрД_{осц} наиболее соответствовало СрД-А (по Хикэму). Эти данные подтверждают не тождественность величин Q и СрД при этих фенотипах, и позволяют рассматривать их как косвенный признак латентных гемодинамических нарушений.

Заключение. Формулы для расчета СрД, учитывающие только величины систолического, диастолического и пульсового давлений, адекватны лишь для узких границ физиологического состояния человека, а с позиций КАСПАД справедливы как частные случаи зависимостей между сердечной и сосудистой составляющими кровообращения.

Предложенные нами способы расчета СрД – формула с использованием ЧСС и переменного множителя при ПД, и метод КАСПАД – отличаются универсальностью, применимы в разных условиях (покоя, физических нагрузок) и для оценки ответа сердечно-сосудистой системы на различные воздействия.

КАСПАД позволяет определять гемодинамические фенотипы как отдельную характеристику регуляторных особенностей индивидуального кровообращения, имеющую клиническое значение: их учет облегчает использование дифференцированного подхода к решению проблем лечения и профилактики нарушений кровообращения. При гармоническом фенотипе механизмы регуляции обеспечивают оптимальное пропорциональное участие сердечного выброса и ОПСС в кровообращении, а значение регрессионного коэффициента Q является показателем индивидуальной величины СрД ввиду их тождества.

Список литературы

1. Савицкий, Н. Н. Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики / Н. Н. Савицкий. – Ленинград: Медицина, изд. 3-е, испр. и доп., 1974. – 311 с.
2. Katz ED, Ruoff BE. Commonly Used Formulas and Calculations. In: Roberts and Hedges'. Clinical Procedures in Emergency Medicine. 7th ed. Elsevier Mosby Publishing; 2017:1529.

3. How to improve the calculation of mean arterial pressure at the brachial artery level / G. Furlanis, A. Grillo, C. Baldi, M. Rovina, G. Bilo, P. Salvi, R. Carretta, G. Parati // J. Hypertens. – 2018. – vol. 36 (6). – e68-e69. doi: 10.1097/01.hjh.0000539154.09742.91.

4. Семенович, А. А. Новая формула расчета среднего гемодинамического давления с использованием показателя частоты сердечных сокращений / А. А. Семенович // Медицинский журнал. – 2018. – № 2 (64). – С. 87-90.

5. Метод определения гемодинамического фенотипа: инструкция по применению: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 14.12.2018, регистр № 171-1218 [Электронный ресурс] / авт.: Р.В. Хурса, И.Л. Месникова, Н.М. Еремина, М.В. Войтикова; учреждения-разработчики: УО «БГМУ», институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси. – Минск, 2018. – 13 с. – Режим доступа: <https://www.bsmu.by/page/8/4184/>; Минск, БГМУ. – 2019. – 13 с.

6. Хурса, Р. В., Войтикова, М. В. Линейные зависимости в параметрах артериального давления: обоснование и применение для определения гемодинамического фенотипа / Р. В. Хурса, М. В. Войтикова // Здравоохранение. – 2021. – №3. – С.44-55.