

## НОВАЯ ФОРМУЛА РАСЧЕТА СРЕДНЕГО ГЕМОДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

УО «Белорусский государственный медицинский университет»

---

Анализируются современные способы расчета среднего гемодинамического давления ( $P_{сгд}$ ) артериальной крови применительно к условиям покоя и функциональных проб с физической нагрузкой. Приводится новая, выведенная автором, формула расчета  $P_{сгд}$ , дается ее обоснование. Формула имеет вид:  $P_{сгд} = Pд + ((Pс - Pд) / 20) \times \sqrt{ЧСС}$ , где  $Pд$  – диастолическое,  $Pс$  – систолическое давление,  $\sqrt{ЧСС}$  – корень квадратный из частоты сердечных сокращений. В отличие от ранее применяемых формул, расчет  $P_{сгд}$  ведется не только на основе показателей  $Pс$  и  $Pд$ , но и частоты сердечных сокращений ( $ЧСС$ ), а также вводится новый оператор для коррекции величины пульсового давления ( $Pп$ ). В результате этого, расширяются возможности применения формулы для разных физиологических условий. Она становится пригодной для расчета  $P_{сгд}$  как для условий покоя, так и выполнения функциональных проб с применением максимальных физических нагрузок. Весьма удобным может оказаться применение этой формулы и для анализа результатов таких тестов, при выполнении которых приходится отдельно учитывать, а затем интегрировать, показатели  $Pс$ ,  $Pд$  и  $ЧСС$ . Между изменениями, рассчитанного по нашей формуле, уровня  $P_{сгд}$  и изменениями уровня потребления кислорода имеется высокая степень корреляции.

**Ключевые слова:** среднее гемодинамическое давление, артериальное давление, тестирование резервов сердца.

**A. A. Semenovitch**

## **A NEW FORMULA FOR THE MEAN HEMODYNAMIC PRESSURE CALCULATION USING THE HEART RATE VALUE**

*The difficulties in using traditional methods for mean arterial hemodynamic pressure ( $P_{MHP}$ ) calculation for the state of exercise functional tests performance are considered as well as possibilities and peculiarities of a new formula suggested by the author for  $P_{MHP}$  calculation. The formula is as follows:  $P_{MHP} = P_D + ((P_S - P_D) / 20) \times \sqrt{HR}$ , where  $P_D$  is diastolic pressure,  $P_S$  is systolic pressure, and  $\sqrt{HR}$  is a square root of the heart rate value. The distinctive feature of the new formula is the heart rate taking into account and using of variable multiplier for the pulse pressure. The universal application of this formula is shown for both resting conditions and intensive physical activity. The possibilities of the formula application are considered for the heart functional reserves testing and for evaluation of functional tests indices when it is necessary to observe and relate the systolic and diastolic pressures and a heart rate. A high correlation score is observed between the oxygen utilization level and indices of mean hemodynamic pressure calculated using the given formula.*

**Key words:** mean hemodynamic pressure, arterial blood pressure, heart reserves testing.

Расчет величины среднего гемодинамического давления (Рсгд) востребован при определении патогенеза и степени нарушений гемодинамики, а также в спортивной медицине, при тестировании резервов кардиореспираторной системы. Однако, в настоящее время, вычисление показателя Рсгд в обычной медицинской практике используется весьма редко. Среди причин этого, можно отметить различия в результатах расчета Рсгд, получаемых с применением формул различных авторов, неоднозначность этих формул и отсутствие четких указаний того, для каких физиологических условий они применимы. Для вычисления Рсгд в настоящее время наиболее часто используются формулы Савицкого [Рсгд = Рд + Рп/2], Хикема [Рсгд = Рд + Рп/3], Вецлера-Богера [Рсгд = 0,42Рс + 0,58Рд] и ряд их производных. В них учитывается лишь диастолическое (Рд), систолическое (Рс) или пульсовое (Рп) давление [1, 2, 4, 5], а частота сердечных сокращений игнорируется. Если, взяв за основу одни и те же показатели Рс и Рд, рассчитать по ним, и каждой из приведенных выше формул, уровень Рсгд, то различия между показателями этого уровня окажутся весьма существенными. Эти различия будут нарастать вслед за увеличением пульсового давления.

Мы попытались вывести новую формулу расчета Рсгд, обладающую элементами универсальности.

**Цель исследования.** Разработка новой формулы расчета среднего гемодинамического давления, а также обоснование возможностей и преимуществ применения этой формулы при обработке результатов тестирования состояния сердечно-сосудистой системы и ее резервов.

**Материал и методы.** Для вывода формулы расчета Рсгд нами использовались данные, полученные при выполнении нагрузочных велоэргометрических проб у 57 испытуемых. Среди них было 42 спортсмена (футболисты, возраст 18–29 лет) и 15 практически здоровых молодых людей (возраст 18–24 года) не занимающихся спортом. Все испытуемые имели врачебный допуск к тестированию и контроль во время выполнения нагрузочных тестов. Для определения физиологических показателей использовался комплекс приборов, входящих в компьютерную систему Cardiovit CS-100 фирмы Шиллер.

При выполнении функциональных проб проводилась непрерывная регистрация электрокардиограммы и показателей внешнего дыхания и газообмена. Ежеминутно

определялись показатели артериального кровяного давления (с помощью адаптированного к работе в условиях физических нагрузок измерителя, входящего в электронный блок велоэргометра). Контролировалась оксигенация гемоглобина, кислородный пульс и уровень молочной кислоты в крови.

Результаты и обсуждение. При выработке формулы пригодной для расчета Рсгд, применительно не только к условиям покоя, но и к условиям интенсивной физической работы, критерием было взято: 1) сопоставление нарастания Рс, Рд, Рп и ЧСС с изменением потребления кислорода, и комплекса других показателей (оксигенация гемоглобина, дыхательный и вентиляторный коэффициенты по  $O_2$  и  $CO_2$  и т. д.) по которым можно судить о степени обеспечения тканей кислородом и, следовательно, об уровне достаточности в них кровотока; 2) анализ изменения длительности систолы и фазы изгнания левого желудочка сердца в соотношении с длительностью сердечного цикла и изменением частоты сердечных сокращений. Эти соотношения вычислялись как для периода времени, соответствующего одному сердечному циклу, так и для временного интервала в 1 минуту. Выведенная нами формула имеет вид:

$$P_{сгд} = P_{д} + ((P_{с} - P_{д}) / 20) \times \sqrt{ЧСС},$$

где Рс – систолическое, Рд – диастолическое давление,  $\sqrt{ЧСС}$  – корень из частоты сердечных сокращений.

В некоторых случаях, разность между систолическим и диастолическим давлением при расчетах удобнее заменить пульсовым давлением (Рп). Тогда формула принимает вид:

$$P_{сгд} = P_{д} + (P_{п} / 20) \times \sqrt{ЧСС}.$$

Эта формула отличается тем, что в ней используется переменный множитель для коррекции величины разности между систолическим и диастолическим давлением, базирующийся на учете ЧСС, а также делитель 20.

Если сопоставить результаты расчетов величины уровня Рсгд по нашей формуле, с результатами расчетов по другим формулам, то оказывается, что в определенных условиях, эти результаты практически совпадают, но только лишь для узкого диапазона ЧСС применительно к каждой формуле. Так, при ЧСС 50–60, величины Рсгд, рассчи-



Рисунок. Соотношение между длительностью периода изгнания из левого желудочка и временем диастолы (выраженное в процентах) при разной частоте сердечных сокращений

танные по нашей формуле, практически совпадают с рассчитанными по формуле Хикема; при ЧСС 90 – совпадают с расчетом по формуле Вецлера-Богера; при частоте 110 аналогичны расчетам по формуле Савицкого; а при более высоких частотах сердечных сокращений становятся выше, чем при расчете по всем выше приведенным формулам. Такой сдвиг величины  $R_{сгд}$  (в сторону приближения к показателю  $P_c$ ) при физической нагрузке следует ожидать, основываясь на учете ряда факторов. Одним из них является то, что при увеличении интенсивности физической работы возрастает линейная скорость кровотока и все большая часть гемодинамической силы аккумулируется не в боковом давлении на стенку сосуда, а в кинетической энергии струи крови [1, 6], вносящей вклад в суммарную движущую силу кровотока.

Важно учитывать также то, что при увеличении ЧСС соотношение между длительностью сердечного цикла и длительностью систолы смещается [1, 4–6] в направлении нарастания доли систолы и, входящего в ее структуру, периода изгнания. Увеличение ЧСС происходит преимущественно за счет укорочения длительности диастолы в сердечном цикле. Для определения длительности периода изгнания в зависимости от ЧСС мы использовали данные приводимые в работе Дж. Констант (4). Сделанные на их основании, расчеты показывают, что если при частоте 50 сокращений в минуту, длительность периода изгнания составляет 41 % от длительности диастолы, то при частоте 150 сокращений – возрастает до 95 % (рисунок), т. е. период изгнания почти уравнивается по длительности с диастолами.

Из выше изложенного следует, что при возрастании ЧСС, величина  $R_{сгд}$  должна сдвигаться в направлении приближения к уровню систолического давления (обеспечиваемого периодом изгнания). Формулы, не учитывающие этот фактор, могут давать корректные показатели лишь для ограниченной ЧСС, но не могут их обеспечить для широкого диапазона частот сердечной деятельности.

Об универсальности нашей формулы могут свидетельствовать также результаты сопоставления уровня  $R_{сгд}$  и потребления кислорода. Из многочисленных работ [1, 2, 3 и др.] следует, что у практически здорового человека, потребление кислорода изменяется параллельно изменению мощности выполняемой физической работы, а доставка кислорода к тканям лимитируется уровнем кровотока, движущая сила которого отражается вели-

чиной  $R_{сгд}$ . Поэтому, сопоставление изменений показателя  $R_{сгд}$  с динамикой нарастания потребления кислорода может служить одним из критериев адекватности расчета  $R_{сгд}$ .

Мы рассчитали корреляцию показателей  $R_{сгд}$  и потребления кислорода (в пересчете на  $1\text{ м}^2$  поверхности тела), полученных при велоэргометрическом тестировании. При расчете  $R_{сгд}$  по нашей формуле коэффициент корреляции оказался высоким, равным  $-0,91 \pm 0,01$  и был достоверно выше ( $P < 0,01$ ), чем при расчете по всем выше упомянутым формулам. При расчете по формуле Савицкого этот коэффициент был равным  $0,77 \pm 0,04$ ; по формуле Вецлера-Богера –  $0,71 \pm 0,05$ ; формуле Хикема –  $0,61 \pm 0,07$ . Вариабельность показателей корреляции при применении нашей формулы была в 4–6 раз ниже, чем при использовании других формул.

Более того, если, при нарастающей физической нагрузке, происходит снижение диастолического давления на фоне повышения систолического (что является одним из вариантов нормы), то формулы, не учитывающие частоту сердечных сокращений, дают резко заниженную корреляцию (вплоть до отрицательных ее значений) между уровнями  $R_{сгд}$  и потребления кислорода. Это может указывать на неполную адекватность использования таких формул для расчета  $R_{сгд}$  применительно к ряду физиологических условий.

Следует отметить, что ранее, нами, совместно с А. П. Комяковичем, уже была опубликована (7) формула расчета  $R_{сгд}$ , учитывающая показатель ЧСС. Результаты вычислений  $R_{сгд}$  по этой формуле, при умеренных частотах сердечных сокращений и величинах пульсового давления (в пределах 20–100 мм рт. ст.), практически идентичны результатам вычислений по ныне предлагаемой формуле. Однако, в диапазоне малых частот (50–65 сердечных сокращений) формула Семеновича-Комяковича несколько занижает показатель  $R_{сгд}$ , а для условий резко выраженной тахикардии – завышает. В новой формуле эти недостатки устраняются путем применения оператора  $\sqrt{\text{ЧСС}}$  и делителя 20. Это вносит элемент нелинейности в зависимость показателя  $R_{сгд}$  от ЧСС, одновременно увеличивается чувствительность (изменчивость) показателя  $R_{сгд}$  в диапазоне обычных, характерных для состояния физического покоя, значений (50–90) ЧСС и снимается избыточность прироста показателя  $R_{сгд}$  для высоких (160–240) частот.

## Выводы

1. Разработана новая формула для расчета среднего гемодинамического давления, отличающаяся универсальностью, применимостью к условиям покоя и физической нагрузки. В ней, в отличие от ранее применявшихся формул, введен новый оператор – корень квадратный из частоты сердечных сокращений.

2. Новая формула дает высокие показатели корреляции нарастания  $R_{сгд}$  с показателями нарастания потребления кислорода. Она применима не только для состояния покоя и предельно интенсивных физических нагрузок, но и для оценки реакции сердечно-сосудистой системы на действие лекарственных препаратов, а также при обработке результатов выполнения безнагрузочных тестов, требующих интегрального учета динамики  $P_c$ ,  $R_d$  и ЧСС.

## ❑ Оригинальные научные публикации

### Литература

1. Аулик, И. В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте. – М.: «Медицина», 1990. – 191 с.
2. Белоцерковский, З. Б. Эргометрические и кардиологические критерии физической работоспособности у спортсменов. – 2-е изд., доп. – М.: Советский спорт, 2009. – 347 с.
3. Карпман, В. Л., Любина Б. Г. Динамика кровообращения у спортсменов. – М.: Физкультура и спорт, 1982. – 135 с.
4. Констант, Дж. Клиническая диагностика заболеваний сердца. – М.: «БИНОМ», 2004. – 448 с.

МЕДИЦИНСКИЙ ЖУРНАЛ 2/2018

5. Морман, Д., Хеллер Л. Физиология сердечно-сосудистой системы. – СПб: «Питер», 2000. – 256 с.
6. Савицкий, Н. Н. Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики. – М.: Медицина, 1974. – 311 с.
7. Семенович, А. А., Комякович А. П. Формула расчета среднего гемодинамического давления для условий покоя и физической нагрузки // Научно-практический рецензируемый журнал «Военная медицина». – 2011. – № 2 (19). – С. 96–97.

Поступила 18.01.2018 г.