

## НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ГЕМОДИНАМИКИ В АРТЕРИАЛЬНОМ ОТРЕЗКЕ СОСУДИСТОГО РУСЛА

Задюонченко В.С., Суворова С.С.

Московский государственный медико-стоматологический университет

Первые серьезные попытки применения основ сопротивления материалов в физиологии и биофизике были предприняты еще в конце XIX в. Поскольку все ткани живого организма в той или иной степени обладают способностью к упругой деформации, к ним применимы соответствующие физические законы, однако, чаще всего, с определенными поправками, связанными с преодолением трудностей, вызванных особенностями биологического материала. Одной из первых попыток моделирования эластических свойств сосудистой системы была модель О. Frank (1899). Несмотря на кажущуюся простоту, модель была настолько удачной, что применяется до сих пор. В настоящее время применяется множество подходов и к описанию состояния гемодинамики, и к описанию состояния сосудистой стенки и функциональных резервов миокарда.

Условия гемодинамики в значительной мере определяются состоянием русла, в которой она осуществляется, и способностью сердца совершать работу по нагнетанию крови в сосудистую систему [4]. Насосная функция сердца, эластичность аорты и крупных артерий, резистивные свойства периферического артериального русла являются основными факторами, обеспечивающими кровоток, а изменение этих величин, в зависимости от текущей потребности органов и систем в адекватном кровоснабжении, лежит в основе механизмов регуляции кровообращения. Вариабельность отдельных физиологических параметров в пределах нормы, различные варианты взаимодействия детерминант кровотока между собой обуславливают наличие различных типов гемодинамики.

Наиболее часто в клинике применяются типы кровообращения, описанные Н. Н. Савицким: гипокинетический, зукинетический и гиперкинетический. Соответствующие им гемодинамические условия определяются соотношением между реальным и должным минутными объемами. Метод Н. Н. Савицкого предполагает в качестве оценки эффективности медикаментозного воздействия устранение дисбаланса между этими величинами, а также нормализацию периферического сопротивления. При применении предлагаемой нами методики возможно оценить не только вклад сократительной способности миокарда в обеспечение адекватного кровотока (по величине ударного и минутного объемов), но и влияние депонирующих свойств миокарда и крупных артерий на гемодинамику (для этой цели предлагается использовать величины податливости стенки камеры левого желудочка и *крупных* артерий, рассчитываемые по впервые предложенным нами методикам).

Кроме того, тахоосциллография и сфигмография, необходимые для получения исходных параметров, в настоящее время применяются все реже, уступая место более информативным методам исследования. Применение на-

шего подхода позволяет описать условия кровообращения на основе показателей, получаемых при эхокардиографии — методе функциональной диагностики, широко применяемом практически при всех видах патологии сердечно-сосудистой системы.

В основу предлагаемой классификации положено соотношение между депонирующими свойствами артериальной системы, характеризующими вклад в осуществление кровотока потенциальной энергии растяжения камеры левого желудочка и артериальной стенки, и резистивными свойствами как артериальной системы в целом, так и ее периферического звена. Использованные нами для этой цели показатели применялись в клинических и экспериментальных исследованиях и ранее (в нашей стране — в основном в кардиохирургической практике [3]), однако без исследования существующей между ними взаимосвязи, что не всегда правомочно [5].

Депонирующие свойства левого желудочка и крупных артерий оценивались по величине их податливости. Податливость (compliance) — показатель, характеризующий способность сосудистой стенки к растяжению. Поскольку биологическая камера обладает свойством изменять свой объем пропорционально величине приложенного давления, коэффициент пропорциональности в этой формуле и есть ее податливость (аналогичный термин — растяжимость, distensibility). По физиологическому смыслу она является величиной, обратной эластичности. Для оценки эластических свойств артериальной стенки в клиническую практику R. Gosling в 1976 г. был введен показатель податливости. При исследовании упруго-вязких свойств сердечно-сосудистой системы удобнее пользоваться величиной податливости, так как она характеризует емкостные свойства биологической камеры. Величина эластического сопротивления в большей степени характеризует резистивные, а не емкостные свойства миокарда или сосудистой стенки. Кроме того, при использовании электрической цепи для моделирования системы кровообращения, ее упруго-вязкие свойства аналогичны емкости конденсатора, что подчеркивает приоритетное значение емкостных свойств крупных сосудов в гемодинамике. В нашем исследовании при описании эластических свойств миокарда и крупных сосудов мы пользовались только величинами их податливости. Податливость миокарда левого желудочка является также и косвенным критерием, определяющим сократимость, отражая способность миокарда к реализации механизма Франка-Старлинга. Этот термин наиболее применим и в зарубежной литературе.

Для описания резистивных свойств артериальной системы использовались величины характеристического импеданса, определяющего общую постнагрузку на левый желудочек, и периферического сопротивления, ха-

рактизирующего вклад в формирование постнагрузки артерий мелкого калибра.

Характеристический импеданс (characteristic impedance) — отношение давления к расходу в данном сосуде, когда в нем распространяется с постоянной скоростью и в одном направлении синусоидальная волна. В настоящее время расчетная величина характеристического импеданса считается одним из главных критериев постнагрузки на левый желудочек [2].

Периферическое сопротивление — это величина гидравлического сопротивления, которую испытывает движущаяся кровь, главным образом, на уровне артериол. Его колебания связаны с регулирующим воздействием центральной нервной системы, направленным на поддержание определенного уровня артериального давления. Чаще всего оно рассматривается как отношение среднего давления и потока в системе.

В целом, в нашей модели используются пять показателей: податливость левого желудочка ( $C_v$ ), податливость крупных артерий ( $C_a$  - «емкостной коэффициент», отражающий взаимовлияние эластических свойств крупных сосудов и камеры левого желудочка и представляющий собой отношение величин их податливости ( $C < / C_v$ ), характеристический импеданс (2) и периферическое сопротивление ( $I$ ). Предлагаемая нами методика расчета этих показателей опубликована ранее [1]. В некоторых случаях (например, при аневризме левого желудочка) необходимо учитывать его размеры (либо величину систолического и диастолического объемов) и ударный объем.

Для изучения состояния упруго-вязких свойств комплекса «левый желудочек-артериальное русло» с применением данной модели было обследовано две группы здоровых нетренированных людей. В первую группу вошли лица старше 35 лет (42 человека, из них 18 мужчин и 24 женщины, средний возраст —  $49,5 \pm 10,9$  лет), во вторую — молодые мужчины до 20 лет (52 человека, средний возраст  $17,6 \pm 1,42$  лет), прошедшие полное кардиологическое обследование.

При изучении взаимовлияния упруго-вязких свойств миокарда, сосудов аортальной компрессионной камеры и периферического сосудистого русла у здоровых людей (независимо от возраста) можно выделить три основных типа: резистивный, сбалансированный и емкостной; однако соотношение между ними в I и II группах было различным. В группе старше 35 лет выявлены следующие закономерности.

У части испытуемых (23,8%) относительное снижение емкостных свойств ( $C_v$  до  $0,50$  мм/рт. ст., в среднем  $0,44 \pm 0,04$  мм/рт. ст.,  $C_a$  - не более 1 мм рт. ст., в среднем  $-0,85 \pm 0,19$  мм/рт. ст.) сопровождается относительным повышением сосудистого тонуса ( $R$  - более  $1600$  дин•с•см<sup>-5</sup>, в среднем  $-1760 \pm 251,0$  дин•с•см<sup>-5</sup>,  $Z$  - более  $140$  дин•с•см<sup>-5</sup>, в среднем  $-151,3 \pm 29,7$  дин•с•см<sup>-5</sup>). Такое состояние упруго-вязких свойств сердечнососудистой системы мы обозначили как «резистивный тип гемодинамики».

Вторая, наиболее многочисленная подгруппа (59,5%), характеризуется средними величинами гемодинамических

параметров и сбалансированным соотношением емкостных и резистивных свойств. При колебаниях податливости левого желудочка от  $0,51$  до  $0,70$  мм/рт. ст. и средней величине артериальной податливости от  $1,0$  до  $1,5$  (в среднем  $1,10 \pm 0,19$  мм/рт. ст.) величина периферического сопротивления составляла от  $1400$  до  $1500$  дин•с•см<sup>-5</sup> ( $1500 \pm 318,8$  дин•с•см<sup>-5</sup>), характеристического импеданса аорты — от  $90$  до  $140$  дин•с•см<sup>-5</sup> ( $123,0 \pm 16,89$  дин•с•см<sup>-5</sup>). Эта группа, включающая наиболее близкие к средним величины гемодинамических параметров, представляет собой нормальный или сбалансированный тип кровообращения.

Наконец, третья подгруппа (12,5%) при высоких показателях растяжимости ( $C_v$  - более  $0,8$  ( $0,76 \pm 0,02$  мм/рт. ст.);  $C_a$  - более  $1,5$  ( $1,85 \pm 0,46$  мм/рт. ст.)) имела относительно сниженную постнагрузку ( $Z$  - менее  $90$  ( $76,3 \pm 13,62$ );  $R$  - менее  $1400$  ( $1312 \pm 307,8$  дин•с•см<sup>-5</sup>)). Этот тип кровообращения можно назвать емкостным.

Очевидно, что наиболее благоприятные гемодинамические условия наблюдаются при емкостном типе гемодинамики. Относительное увеличение притока крови в АКК сопровождается снижением постнагрузки на левый желудочек, обусловленным облегченным прохождением периферического артериального русла. Напротив, относительный рост сосудистых сопротивлений и уменьшение депонирующих свойств аортальной компрессионной камеры при резистивном типе гемодинамики, возможно, является предрасполагающим фактором для развития артериальной гипертонии.

Необходимо заметить, что границы величин параметров кровообращения, применяемые для оценки типов гемодинамики, являются относительными. При этом наиболее важным критерием является соотношение между емкостными и резистивными характеристиками. Под влиянием различных воздействий на организм (например, при медикаментозном лечении) возможно изменение типа гемодинамики.

При сравнении средних величин емкостных и резистивных показателей лиц I и II групп можно говорить лишь о тенденции к снижению величин податливости миокарда и крупных артерий, связанных с возрастом. Рост средних величин резистивных показателей более убедителен ( $p < 0,01$ ), но наиболее показательными являются изменения структуры типов взаимовлияния емкостных и резистивных параметров. Резистивный тип у молодых наблюдался лишь в 9,6% случаев, в то время как емкостной - в 25%. Критерии определения типа гемодинамики у лиц до 20 лет тоже были несколько иными.

Для резистивного типа кровообращения:  $C_v$  - до  $0,50$  мм рт. ст., в среднем  $-0,44 \pm 0,04$  мм/рт. ст.,  $C_a$  - не более 1 мм рт. ст., в среднем  $-0,75 \pm 0,11$  мм/рт. ст.,  $R$  - более  $1400$  дин•с•см<sup>-5</sup> ( $1642 \pm 240,5$  дин•с•см<sup>-5</sup>),  $Z$  - более  $140$  дин•с•см<sup>-5</sup> ( $169,4 \pm 33,3$  дин•с•см<sup>-5</sup>).

Для сбалансированного типа кровообращения:  $C_v$  от  $0,51$  до  $0,80$  мм/рт. ст. ( $0,60 \pm 0,05$  мм/рт. ст.),  $C_a$  от  $1,0$  до  $1,9$  (в среднем  $-1,19 \pm 0,26$  мм/рт. ст.),  $R$  - от  $1250$  до  $1500$  дин•с•см<sup>-5</sup> ( $1421 \pm 317,8$  дин•с•см<sup>-5</sup>),  $Z$  - от  $95$  до  $140$  дин•с•см<sup>-5</sup> ( $112,7 \pm 23,2$  дин•с•см<sup>-5</sup>).

Для емкостного типа кровообращения:  $C_v$  - более  $0,80$

мм рт. ст., в среднем  $0,76 \pm 0,05$  мл/мм рт. ст.,  $C_a$  - более 1,9 мм рт. ст., в среднем -  $1,57 \pm 0,27$  мл/мм рт. ст.,  $R$  - менее  $1250 \text{ дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$  ( $1272 \pm 141,9 \text{ дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$ ),  $Z$  - менее  $90 \text{ дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$  ( $89,4 \pm 15,8 \text{ дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$ ).

Таким образом, предлагаемая нами модель позволяет оценить оптимальность кровотока в артериальном русле. Такая оценка исходного состояния гемодинамики позволяет объективизировать степень воздействия на организм различных возмущающих воздействий (в том числе, медикаментозного лечения). Параметры модели отражают

также и степень изменения упруго-вязких свойств комплекса «левый желудочек-артериальное русло» по мере старения организма. Связанный с возрастом рост сосудистых сопротивлений, отражающий увеличение постнагрузки на левый желудочек, и сопровождающийся снижением емкостных свойств его камеры и стенок крупных артерий, приводит как к росту абсолютных величин резистивных показателей и снижению емкостных, так и к относительному снижению в популяции числа лиц с оптимальными типами гемодинамики.

### Литература

1. Епифанов В. А., Суворова С. С. Емкостные и резистивные параметры сердечно-сосудистой системы спортсменов и их динамика при систематической спортивной тренировке. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры, 2001, № 1, с. 12-15.
2. Каро К., Педли Т., Шротгер Р., Сид У. Механика кровообращения. М., «Мир», 1981. -624с.
3. Лишук В. А. Математическая теория кровообращения. М., «Медицина», 1991. -454 с.
4. Lehmann E. D. Clinical value of aortic pulse-wave velocity measurement. Lancet, 1999; vol. 354, № 9178, p. 528-529.
5. Megnien J.-L, Simon A., Denarie N., Del-Pino M., Garipey G., Segond P., Levenson J. Aortic stiffening does not predict coronary and extracoronary atherosclerosis in asymptomatic men at risk for cardiovascular disease. Am. J. Hypertens., 1998; vol. 11, № 3 Pt 1, p. 293-301.

Поступила 11/05-2001

\* \* \*