

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СВЯЗЕЙ ПАРАМЕТРОВ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ (ЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИЯ) В ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ КРОВООБРАЩЕНИЯ

Р.В.Хурса

Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск

*Обосновано использование линейной регрессии параметров АД (способом количественного анализа связей параметров АД – КАСПАД) в качестве метода функциональной диагностики кровообращения. Получаемая индивидуальная линейная регрессионная модель позволяет определить тип сердечно-сосудистого взаимодействия в процессе кровообращения и величину давления крови в области затухающей пульсовой волны. Предложена классификация типов гемодинамики (КАСПАД-типов). Приведены примеры использования КАСПАД для оценки гемодинамики 284 практически здоровых молодых людей и 274 пациентов с артериальной гипертензией.*

Бурное развитие информационных технологий и современных методов статистического анализа открыло перед клинической медициной новые возможности, особенно в диагностике. Применение эффективных многомерных статистических методов анализа (в том числе, статистическое моделирование) к параметрам функционирования организма человека позволяет получить принципиально новую диагностическую и прогностическую информацию.

Величина артериального давления (АД) – важнейшая интегральная характеристика состояния организма человека. Она зависит от работы сердца и сосудов, а также, в меньшей степени, от объема циркулирующей крови и реологических свойств крови. При измерении стандартными непрямими методами величина АД выражается несколькими измеряемыми и исчисляемыми показателями, из которых в медицинской практике используются систолическое давление  $S$ , диастолическое давление  $D$ , а также пульсовое давление  $W$  (вычисляемое как  $W=S-D$ ), являющееся результатом взаимодействия сократительной функции сердца, растяжимости артерий и величины волны отражения. Нахождение связей между параметрами АД в интервале времени наблюдения может быть использовано для характеристики функционирования сердечно-сосудистой системы. В настоящее время применяется линейная регрессия параметров АД для косвенного определения ригидности кровеносных сосудов по амбулаторному индексу жесткости артерий (ААСИ), который определяется через коэффициенты линейной регрессии  $D$  по  $S$  и коррелирует со скоростью распространения пульсовой волны, увеличение которой обусловлено повышенной жесткостью сосудов и является признаком повышенного кардио-

васкулярного риска как у гипертензивных, так и у нормотензивных пациентов [1–3].

**Цель** исследования – обоснование и развитие метода линейной регрессии параметров АД, полученных при случайных измерениях, для функциональной диагностики гемодинамики пациентов в интервале времени наблюдения.

### **Материалы и методы исследования**

Проводился анализ временных рядов величин АД, полученных при амбулаторных измерениях методом Н.С.Короткова в случайные моменты времени в течение 1–4 недель (не менее 6–10 измерений в ряду) у 284 практически здоровых молодых людей (группа №1, средний возраст  $22,9 \pm 1,2$  года), 244 пациентов с артериальной гипертензией (АГ) на фоне лечения (группа №2,  $55,2 \pm 0,9$  лет) и 30 пациентов с впервые выявленной АГ до начала лечения (группа №3,  $51,9 \pm 1,3$  год). При построении линейной регрессии использована процедура количественного анализа связей параметров артериального давления (КАСПАД), предполагающая стратификацию  $S$  и  $D$  по уровням  $W$  с последующим осреднением и нахождением зависимостей методом наименьших квадратов [4, 5].

### **Результаты и обсуждение**

Мы рассматривали каждое значение АД как систему, где между «входом» (систолическим давлением  $S$ ) и «выходом» (диастолическим давлением  $D$ ) находится «состояние» – пульсовое давление  $W$ , причем именно  $W$  является системообразующим элементом этой системы и переходной функцией нейрогуморальной регуляции кровообращения. При поверхностном взгляде на взаимосвязь между  $S$  и  $W$  (или  $D$  и  $W$ )  $S$  представляется независимой переменной, а  $W$  – зависимой, но такая зависимость неоднозначна в том

смысле, что каждому значению  $S$  соответствует множество значений  $W$ , и получаемые при измерении АД значения  $S$  и  $D$  принадлежат разным сердечным циклам. Поэтому нахождение связей именно между  $S$  и  $W$  (или  $D$  и  $W$ ), полученными в некоем интервале времени, может быть использовано для построения индивидуальной регрессионной модели кровообращения пациента, характеризующей гемодинамику в данном интервале времени.

В общем случае физиологическое изменение осредненных по уровням систолического  $S^*$  и диастолического  $D^*$  давлений в зависимости от пульсового давления  $W$  в интервале времени наблюдения описывается сопряженными линейными уравнениями [5]:

$$S^* = b_1 + a_1 W, \quad D^* = b_2 + a_2 W,$$

где  $a_1$  и  $a_2$  ( $a_2 = a_1 - 1$ ) – постоянные значения прессорного и депрессорного показателей работы сердца и сосудов соответственно,  $b_1$  и  $b_2$  – постоянные, характеризующие давление потока крови в области затухающей пульсовой волны  $W = f_1(W) - f_2(W)$ , которая при равенстве функций  $f_1(W) = f_2(W)$  принимает значение  $W=0$ . Геометрически эти уравнения представляют прямые линии, пересекающиеся в точке  $Q$ , в которой  $b_1 = b_2$ . Таким образом,  $Q$  представляет давление равномерного беспульсового движения крови, которое становится таковым в артериолярно-прекапиллярной области сосудистого русла и у лиц с гармоническим кровообращением совпадает со значением среднего гемодинамического давления [6], имеющего большое физиологическое значение.

Значение прессорного показателя  $a_1=1$  обозначает гемодинамическое состояние сердечно-сосудистой системы, адекватное функции сердечного автоматизма  $S^*=Q+W_i$ , и представляет систолическую границу АД, а значение депрессорного показателя  $a_2=0$  ( $D^*=Q$ ) – диастолическую его границу при разных значениях пульсового давления  $W_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, R$ . Интервалы значений показателей в границах  $0 < a_1 < 1$ ,  $0 > a_2 > -1$  характеризуют гармоническое состояние кровообращения, так как нормальной физиологии отвечает равенство  $|a_1| + |a_2| = 1$  [4].

Увеличение прессорного показателя до  $a_1 > 1$  (и соответственно  $a_2 > 0$ ) указывает на возрастание роли систолической составляющей («вклада» работы сердца) в процесс кровообращения при снижении роли его диастолической (сосудистой) составляющей, снижение показателя  $a_1$  ( $0 > a_1 > -1$ ) и соответствующее изменение  $a_2$  указывают на противоположные гемодинамические сдвиги: возрастание роли сосудов при снижении «вклада» серд-

ца. Уменьшение прессорного  $a_1$  и, соответственно, увеличение депрессорного  $a_2$  показателей в рамках «гармонического» интервала значений отображает уменьшение вклада сократительной функции миокарда в продвижение крови, что восполняется соответствующим усилением функции периферических сосудов. Равенство этих функций наступает при  $a_1=0,5$  и  $a_2=-0,5$ , значения которых  $a_1 \leq 0,5$  и  $a_2 \geq -0,5$  представляют интервал ослабления силы сердечных сокращений («миокардиально-недостаточный» подтип гармонического кровообращения).

Рассмотренные границы  $a_1$  и  $a_2$  легли в основу предложенной нами классификации гомеостатических типов гемодинамики [4], отражающей многообразие индивидуальных гемодинамических функций с разными уровнями давления  $Q$  в области затухающей пульсовой волны: гармонический ( $\Gamma$ ) с миокардиально-недостаточным подтипом ( $MH$ ), дисфункциональные диастолический ( $DD$ ) и систолический ( $CD$ ), а также пограничные с дисфункциональными типами ( $PD$  и  $PC$ ).

Характеристика групп наблюдения по КАСПАД приведена в табл.

Как следует из приведенных данных, у здоровых преобладает гармоническое кровообращение с нормальным давлением  $Q$ , тогда как при АГ (даже на фоне лечения и с достигнутым целевым уровнем АД) гармонический тип гемодинамики сопровождается патологически высоким (более 100 мм рт.ст.) давлением  $Q$ . Патологические КАСПАД-типы, из которых самым распространенным был  $DD$ , чаще всего имелись у леченных пациентов с АГ, причем это сочеталось с патологически низким  $Q$ , свидетельствующим о низком уровне обмена веществ между кровью и тканями, что требует коррекции лечения. Дисфункциональные КАСПАД-типы, отмеченные у 18,66% здоровых людей, указывают на необходимость дальнейшего наблюдения за ними, так как являются признаком адаптации организма к каким-то клинически латентным патологическим состояниям и процессам.

**Заключение.** Построение простейших линейных моделей по параметрам АД, в частности методом КАСПАД, расширяет возможности функциональной диагностики гемодинамики: открывает новые характеристики кровообращения – давление  $Q$  в области затухающей пульсовой волны и тип сердечно-сосудистого взаимодействия (КАСПАД-тип), позволяет выявить индивидуальные особенности и латентные нарушения гемодинамики, определить группу лиц для дальнейшего наблюдения и дообследования, в том

**КАСПАД-типы гемодинамики и давление Q  
в области затухающей пульсовой волны (M±m) в группах наблюдения**

Тип	№ группы	Кол-во, % (абс.)	Q, мм рт.ст.
Г	1	50,35 (143)	86,41 ± 0,90
	2	18,85 (46)	112,70 ± 2,39
	3	73,33 (22)	125,39 ± 3,00
МН	1	17,25 (49)	100,58 ± 2,30
	2	7,79 (19)	130,73 ± 2,97
	3	20,00 (6)	135,05 ± 5,45
ПД	1	7,04 (20)	75,37 ± 2,55
	2	13,93 (34)	85,03 ± 1,14
	3	-	-
ДД	1	15,14 (43)	77,51 ± 1,33
	2	56,97 (139)	59,15 ± 1,84
	3	6,67 (2)	84,53 ± 17,11
ПС	1	6,69 (19)	114,01 ± 2,09
	2	0,82 (2)	141,50 ± 3,00
	3	-	-
СД	1	3,52 (10)	125,48 ± 6,13
	2	1,64 (4)	171,56 ± 8,30
	3	-	-

числе, и с целью контроля адекватности лечения пациентов с АГ.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Benetos A., Lacolley P. // Hypertension. – 2006. – V.47. – P.327–328.
2. Li Y., Wang J.G., Dolan E. [et al.] // Hypertension. – 2006. – V.47. – P.359–364.
3. Dolan E., Thijs L., Li Y. [et al.] // Hypertension. – 2006. – V.47. – P.365–370.
4. Хурса Р.В., Чеботарев В.М. // Клиническая физиология кровообращения. – 2007. – №4. – С.71–77.
5. Способ перманентного контроля индивидуального функционального состояния кровообращения: Патент ВУ №4876 / В.М.Чеботарев, Р.В.Хурса, В.М.Балышева. – Заявка №а1999; приор. 09.02.1999.
6. Хурса Р.В. // Артериальная гипертензия и профилактика сердечно-сосудистых заболеваний: Материалы VI международной конф. – Витебск: ВГМУ, 2011. – С.83–87.

**QUANTITATIVE ANALYSIS OF RELATIONS OF BLOOD PRESSURE PARAMETERS (LINEAR REGRESSION) IN FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF BLOOD CIRCULATION**

**R.V.Khursa**

The use of the linear regression modeling of blood pressure data (the quantitative analysis of relations of blood pressure parameters - QARBPP) as a method for functional diagnostics of haemodynamics, was proved. The received model of individual haemodynamics allowed defining the type of cardiovascular interaction and the level of blood pressure in the field of fading pulse wave. An original classification of haemodynamic QARBPP-types was proposed. Examples on the use of QARBPP for assessing haemodynamics in 284 healthy young people and 274 patients with arterial hypertension were presented.

*Поступила 30.08.2012 г.*