



В. Л. КАРПМАН, С. С. НИКИТИНА (СУВОРОВА), Б. Г. ЛЮБИНА, З. Б. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ

## ПОДАТЛИВОСТЬ (COMPLIANCE) АРТЕРИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У СПОРТСМЕНОВ

*Физиология человека, 1995; т. 21, № 5, с. 144-149*

Проблема количественной оценки эластичности аорты продолжает оставаться разрешенной далеко не полностью. Это связано с отсутствием общепринятой методики определения упругих свойств аортальной компрессионной камеры (АКК). Эта работа основана на данных, полученных при обследовании 83 спортсменов-мужчин (пятиборцы, ватерполисты, баскетболисты, гребцы и футболисты) в возрасте от 16 до 32 лет. Для изучения влияния мышечной работы на податливость 19 обследуемых выполняли в разные дни 5-минутные нагрузки мощностью 500, 800, 1200 и 1500 кгм/мин. Контрольная группа состояла из 12 здоровых нетренированных людей того же возраста.

Для оценки величины податливости мы применили принципиально новый подход. Исходя из формулы Н. Н. Савицкого [1] для расчета фактора демпфирования ( $m$ ):

$$m = \frac{\Delta P}{P_m \cdot D} \quad (1)$$

где  $P_m$  — среднее артериальное давление,  $\Delta P$  — пульсовое давление,  $D$  — длительность диастолы ( $T-S$ ), мы вывели формулу для расчета податливости после следующих преобразований:

$$\frac{1}{RC_0} = \frac{\Delta P}{P_m \cdot D} \quad (2)$$

Заменяя в этом выражении  $R$  на  $(P_m \cdot T)/Q_s$  и решая его относительно  $C_0$ , получаем формулу (3), по которой велся дальнейший анализ наших наблюдений:

$$C_0 = \frac{Q_s \cdot D}{\Delta P \cdot T} \quad (3),$$

где  $Q_s$  — ударный объем крови.

Необходимые для расчета показатели получались с помощью поликардиографии (длительность периода изгнания, диастолы и сердечного цикла [8]), эхокардиографии (ударный объем в покое [9]), возвратного дыхания  $CO_2$  (ударный объем при нагрузке [2]). Артериальное давление аускультативным измерялось методом Короткова.

У обследованных нами спортсменов величины податливости артериальной системы колебались в чрезвычайно высоких пределах — от 0.7 до 2.8 мл/мм рт. ст., составляя в среднем  $1,57 \pm 0.43$  мл/мм рт. ст. Эти данные существенно превышают цифры, зарегистрированные в контрольной группе (1.01-1.59 мл/мм рт. ст.). Зарегистрированное у спортсменов величины  $C_0$  являются следствием как структурных особенностей стенок у них, так и особенностями сосудистого тонуса.

Податливость характеризует способность артерий адаптироваться к изменениям главным образом таких физиологических детерминантов, как пульсовое давление, ударный объем, периферическое сопротивление и некоторые другие. Последовательный рост средних величин податливости от 0.85 до 2.77 мл/мм рт. ст. сопровождается разнонаправленными изменениями ее главных физиологических детерминант — пульсового давления и ударного объема. Ударный объем прогрессивно растет, а пульсовое давление снижается. Причиной роста податливости в этих условиях является некоторое преобладание увеличения ударного объема над снижением пульсового давления. В пользу такого заключения говорит рост так называемого "модуля податливости" —  $Q/\Delta P$ , который наблюдается во всем диапазоне изменений  $C_0$ .

При высоких для условий покоя величинах периферического сопротивления ( $1800-1500 \text{ дн} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$ ) податливость относительно снижена, обеспечивая тем самым усиление пропульсивной деятельности левого желудочка. Когда же периферическое сопротивление оптимизируется (начиная с  $1500 \text{ дн} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$ ) рост податливости отражает минимизацию сосудистого тонуса у систематически тренирующихся. У спортсменов с большими величинами  $C_0$  артериальная система, по-видимому, "депонирует" определенный объем крови.

Таким образом, податливость артериальной системы у спортсменов может отличаться от таковой у здоровых нетренированных людей: у ряда спортсменов высокие величины  $C_0$  указывают на способность большей релаксации артерий в условиях покоя в связи со снижением сосудистого тонуса.

При физической нагрузке у всех испытуемых было отмечено уменьшение величин податливости, зарегистрированных в покое, причем степень уменьшения прямо пропорциональна мощности нагрузки. Эти изменения обеспечивались главным образом

ростом пульсового давления. Прирост ударного объема при физической нагрузке оказался совершенно нормальным для данных ее мощностей, однако "модуль податливости" повышался за счет более выраженного увеличения трансмурального давления. Общее снижение податливости обеспечивалось также уменьшением  $D/T$  примерно на 20 % .

В наших опытах с физической нагрузкой закономерно уменьшалось периферическое сопротивление. Характер взаимоотношений между податливостью и периферическим сопротивлением в условиях покоя и при физической нагрузке резко меняется. При физической нагрузке периферическое сопротивление уменьшается значительно интенсивнее, чем падает  $C_o$ . Поэтому можно полагать, что значительное падение периферического сопротивления создает необходимую рабочую гиперемия работающих мышц. Снижение же  $C_o$  (хоть и менее выраженное) обеспечивает оптимальную для данных условий скорость оттока крови из АКК в капиллярную сеть. Мы считаем, что существует два механизма увеличения податливости при нагрузке: сердечный и сосудистый. Сердечный механизм отражает рост трансмурального давления в АКК. В результате развивается избыточное напряжение упругих структур сосудистых стенок. Высокое же внутриартериальное давление есть следствие как повышения сократимости миокарда, так и возникающего несоответствия между притоком крови в АКК ( $Q_s$ ) и оттоком ее в капилляры в связи с наличием периферического сопротивления. Сосудистый механизм объясняет уменьшение  $C_o$  повышением сосудистого тонуса [4, 5].

В заключение можно утверждать, что уменьшение податливости при физической нагрузке является важным физиологическим механизмом, обеспечивающим ускорение кровотока в АКК и минимизирующим функциональное депонирование крови в аорте и крупных артериях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Савицкий. Биофизические основы кровообращения. –Л., "Медицина", 1974, 309 с.
2. В. Л. Карпман, Б. Г. Любина. Динамика кровообращения у спортсменов. –М., ФиС, 1982, 135 с.
3. В. Л. Карпман, В. Р. Орел. Факторы, влияющие на величину эластического сопротивления аортальной компрессионной камеры. Бюлл. эксперим. биол. мед., 1981, № 9, стр. 269-271.
4. В. М. Хаютин, Г. П. Конради. Действие сосудодвигательных нервных волокон. Регуляция кровообращения, Л., "Наука", 1986, стр. 111-148.
5. В. А. Говырин, Г. Р. Леонтьева. Медиаторные механизмы регуляции кровеносных сосудов. Руководство по физиологии. Регуляция кровообращения, Л., "Наука", 1986, стр. 154-180.

6. Starc V., Kenner Th. (eds). Compliance of the cardiovascular system. - Ljubljana, Med. Raz., 1991, 171 p.
7. Lin Z, Brin K, Yin F.C.P. Estimation of total arterial compliance: an improved method and evaluation of current methods. Am. J. Physiol., 251 (Heart, Circ. Physiol. 20):H588-H600, 1986.
8. Karpman V. L. - Cardiovascular system and physical exercise. Boca Raton, 1987, 200 p.
9. Teiccholz et al. Problems in echocardiographic volume determinations. Circulation, 1972, Suppl. II, v. 46, p. 75 (abstracts).