

З. В. ЧАШИНА

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕМОДИНАМИКИ И СОКРАТИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ В ОТВЕТ НА ФИЗИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

Физические нагрузки относятся к одним из наиболее распространенных тестов в медицинской практике благодаря их высокой диагностической ценности. Основой для функциональных тестов служит предположение, что дисфункция органа в большей степени проявляется при стрессе. Это обуславливает несомненный интерес клиницистов к физиологии проб с нагрузкой. При адаптации к физическим нагрузкам одновременно с увеличением максимально достижимой работы сердца развивается более экономный режим функционирования самого сердца и системы кровообращения в целом. Экономное функционирование системы кровообращения может определяться, во-первых, тем, что ткани тренированного организма обладают способностью извлекать из каждого литра крови увеличенное количество кислорода; и таким образом, для удовлетворения потребности организма кислородом в условиях физической нагрузки не требуется значительного увеличения минутного объема [1, 3, 8]; во-вторых, тем, что в ответ на увеличение потребностей организма сердца тренированных людей обладают способностью увеличивать минутный объем за счет меньшего, чем обычно, потребления кислорода миокардом [7].

Для того, чтобы выяснить, в какой мере реализуются обе эти возможности, в данной работе у тренированных и нетренированных людей методом эхокардиографии была изучена реакция сердца на умеренную и большую физическую нагрузку.

Материал и методы. Нами было обследовано 20 спортсменов-лыжников и 20 здоровых нетренированных мужчин в возрасте от 20 до 30 лет. Спортсмены имели звание мастера спорта или I спортивный разряд. Велоэргометрия проводилась в положении лежа на спине с приподнятым головным концом после 20—30-минутного отдыха. Нагрузка на первых 3 ступенях была постоянной (300 кгм/мин), в дальнейшем увеличивалась с каждой ступенью на 300 кгм/мин. Продолжительность каждой ступени составляла 3 мин. Нагрузка прекращалась при достижении субмаксимальных величин частоты сердечных сокращений или при наличии признаков переутомления.

В исходном состоянии и в конце каждой ступени измерялось артериальное давление и проводилась регистрация эхокардиограммы на аппарате «Echoview-80С» (Pierce, США). Для мониторинговой регистрации была использована приставка к датчику [5].

Результаты и их обсуждение. В покое и при физической нагрузке гемодинамические показатели и основные показатели сократительной функции сердца у тренированных спортсменов достоверно отличались от тех же показателей у нетренированных людей. В покое у высокотренированных спортсменов артериальное давление и ударный объем не отличались от показателей нетренированных людей. Частота сердечных сокращений была уменьшена, и, как следствие этого, снижены минутный объем, внешняя работа; также были уменьшены скорость циркулярного укорочения волокон миокарда и показатель напряжения [4]. Существенно меньшей оказалась у высокотренированных людей интенсивность функционирования структур (ИФС сердца как по показателю ИФС работы, так и по ИФС напряжения).

Существенное, но до сих пор не оцененное должным образом различие между высокотренированными и нетренированными людьми состояло в том, что у спортсменов конечнодиастолической и конечносистолической объемы сердца были увеличены. При этом диастолический объем был увеличен на 14,1%, а систолический—на 39%. Этот сдвиг означает, что объем крови, находящейся в полости желудочка к концу диастолы, и особенно, так называемый остаточный объем крови, находящейся к концу систолы, у тренированных спортсменов значительно увеличен. Это увеличение указывает на наличие резерва, который может быть мобилизован при нагрузке.

В ответ на умеренную нагрузку (300 кгм/мин.) частота сердечных сокращений у тренированных в первые 3 мин. возросла в меньшей мере, чем у нетренированных. При продолжении той же нагрузки она для обеих групп испытуемых стабилизировалась и в течение последующих 6 мин. почти не изменялась. Дальнейшее увеличение нагрузки (до 600—900—1200 кгм/мин.) способствовало росту частоты сердечных сокращений. Однако на всех ступенях нагрузки у тренированных людей частота сокращений была более редкой (рис. 1).

Конечнодиастолический и конечносистолический объемы левого желудочка сердца у тренированных и нетренированных людей менялись по-разному. Так, в ответ на нагрузку в 300 кгм/мин. конечнодиастолический объем левого желудочка у тренированных и нетренированных в первые 6 мин. возрос в одинаковой степени—на 8—15 и 6—13 мл. Конечносистолический объем—объем остаточной крови левого желудочка—у тренированных заметно уменьшился, а у нетренированных не изменился. В результате этого различия ударный объем у тренированных людей возрос на 12—21 мл, а в контрольной группе на 4—10 мл. Иными словами, прирост ударного объема у нетренированных в 2—3 раза меньше, чем у тренированных. В течение следующих 3 мин. той же нагрузки у тренированных произошло уменьшение конечнодиастолического объема, и он почти полностью вернулся к исходному уровню при неизменном конечносистолическом объеме. Соответственно уменьшился ударный объем. У нетренированных людей размеры желудочка и ударный объем остались на прежнем уровне.

При увеличении нагрузки до 600—900—1200 кгм/мин. диастолический объем в обеих группах резко возрос и оказался увеличенным на 25—28 мл без существенных различий между группами. Напротив, систолический объем у тренированных и нетренированных людей изменился по-разному. У тренированных спортсменов он уменьшился более чем

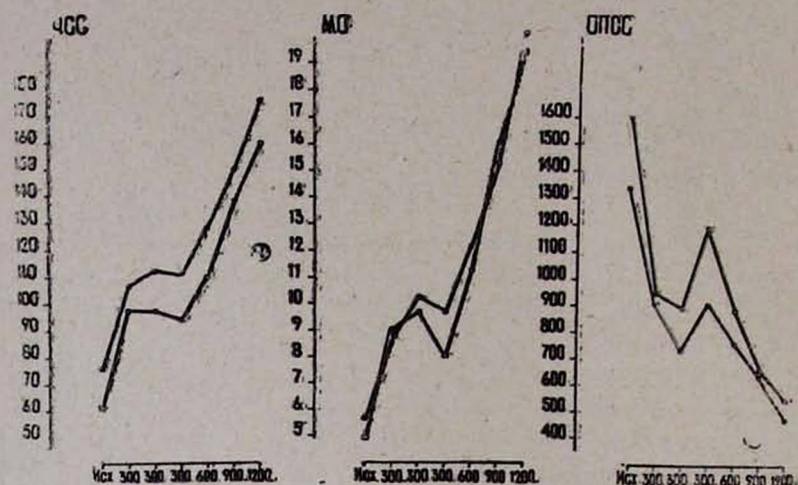


Рис. 1. Изменение частоты сердечных сокращений (ЧСС), минутного объема (МО) и сопротивления сосудистого русла (ОПСС) при нагрузке в рассматриваемых группах. По оси абсцисс—величина нагрузки; по оси ординат—ЧСС, МО, ОПСС.

на 23%, а у нетренированных достоверно не изменился. Соотношения конечнодиастолического и ударного объемов представлены на рис. 2. Приведенные графики показывают, что у нетренированных людей ударный объем при умеренной и большой физической нагрузке растет, главным образом, за счет увеличения диастолического объема при неизменном систолическом объеме. А у высокотренированных людей ударный объем при такой же нагрузке увеличивается как за счет роста диастолического объема, так и за счет значительного снижения систолического объема, т. е. за счет более полного изгнания крови из полости желудочка. В результате ударный объем у тренированных оказался выше, чем у нетренированных людей. Существенно, что при умеренной нагрузке на 9-й мин. устойчивого состояния ударный объем у тренированных уменьшился по сравнению с 3—6-й минутой нагрузки. Это привело к снижению минутного объема примерно на 1,6 литра, что свидетельствует скорее всего о быстрой «вработываемости» спортсменов и их хорошей адаптации к нагрузке (см. рис. 1).

В целом данные о сократительной функции левого желудочка при нарастающей физической нагрузке позволяют прийти к заключению, что у тренированных людей увеличение ударного и минутного объемов происходит в значительной мере за счет более полного систолического сокращения левого желудочка сердца, что и проявляется уменьшением

его систолического объема. Аналогичное явление ранее было обнаружено методом вживленных датчиков у собак [9]. Однако у нетренированных людей в результате длительного действия гипокинезии, составляющей неизбежный элемент повседневной жизни в городах, это явление, возникающее обычно как результат инотропного эффекта симпатической регуляции на сердце, оказывается мало выраженным, по-видимому, в результате регрессивных изменений нервной регуляции сердца. У высокотренированных людей сердце в покое имеет увеличенный конечнодиастолический и остаточный систолический объемы, которые при высоком инотропизме сердца образуют своеобразный резерв, используемый для увеличения ударного объема.

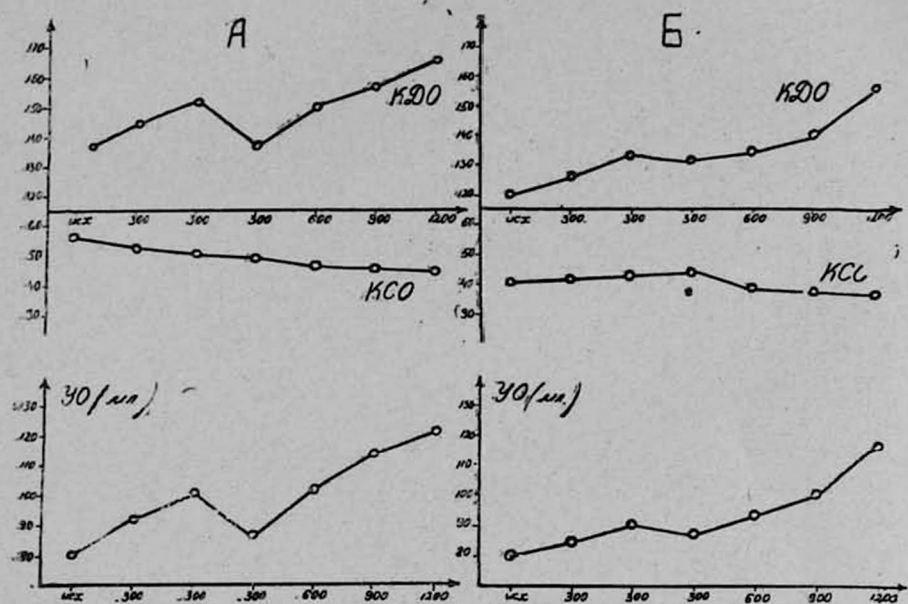


Рис. 2. Динамика конечнодиастолического (КДО), конечносистолического (КСО) и ударного (УО) объемов при физической нагрузке возрастающей интенсивности. А—тренированные спортсмены; Б—нетренированные люди. По оси абсцисс—величина нагрузки (в кг/мин.); по оси ординат—объемы сердца (в см³).

При физической нагрузке инотронный эффект возбуждения симпатического отдела нервной системы обеспечивает, прежде всего, увеличение амплитуды сокращения левого желудочка, на эхокардиограмме проявляющееся уменьшением остаточного систолического объема. Реализующийся одновременно расслабляющий эффект возбуждения симпатикуса [2] в сочетании с возросшим притоком крови обеспечивает увеличение диастолического объема. Именно сочетание уменьшения систолического и увеличение диастолического объема приводит у тренированных людей к такому увеличению ударного объема, которое недостижимо для нетренированных.

В табл. 1 представлены данные, характеризующие внешнюю рабо-

Таблица 1

Показатели	Группы	Покой	Нагрузка, кгм/мин.					
			300	300	300	600	900	1200
Частота сердечных сокращений	спортсмены	61±1,15	98±2,04	97±1,18	94±1,52	110±3,75	138±4,68	160±1,99
	контроль	76±1,74	107±2,01	113±3,22	111±2,6	128±5,1	150±5,2	176±2,0
Диастолический объем левого желудочка	спортсмены	137±2,41	145±4,2	152±5,36	137±4,11	150±6,07	157±3,49	165±3,12
	контроль	120±4,8	126±7,2	133±6,3	131±6,01	134±5,78	139±6,26	155±4,8
Систолический объем левого желудочка	спортсмены	57±2,41	53±2,01	51±1,82	50±1,84	47±1,35	44±1,41	44±1,48
	контроль	41±3,0	42±2,68	43±2,31	44±2,06	38±3,1	36±3,48	34±4,9
Ударный объем	спортсмены	80±2,05	92±2,57	101±2,75	87±2,93	102±3,49	114±4,0	121±4,17
	контроль	80±2,5	84±4,69	90±3,58	87±3,26	93±5,44	100±5,03	116±3,79
Минутный объем	спортсмены	4,9±0,15	9,06±0,22	9,7±0,28	8,09±0,33	11,3±0,44	16,1±0,59	19,4±0,19
	контроль	5,7±0,14	8,9±0,28	10±0,27	9,6±0,27	12,1±0,44	15,3±0,53	20±0,66
Внешняя работа	спортсмены	114±2,11	240±4,59	258±3,18	225±7,2	365±8,14	506±5,68	653±6,38
	контроль	144±3,25	235±5,21	274±6,2	260±6,79	353±10,37	480±9,5	640±8,7
ИФС работы	спортсмены	0,76±0,09	1,59±0,17	1,72±0,36	1,50±0,14	2,43±0,5	3,37±0,34	4,35±0,56
	контроль	1,1±0,15	1,8±0,25	2,1±0,24	2,0±0,24	2,7±0,3	3,7±0,29	4,9±0,27
Показатель напряжения	спортсмены	7490±10,21	13300±19,3	13080±13,6	12850±11,9	17500±14,2	23540±10,1	29530±9,7
	контроль	8930±12,06	15143±13,1	16054±17,2	16054±17,1	20257±17,9	25735±19,03	29955±11,5
ИФС напряжения	спортсмены	50±1,07	87±1,00	86±1,01	84±1,15	114±1,23	155±1,81	194±1,55
	контроль	70±2,35	117,8±2,16	128±2,47	125±2,08	158±2,6	200±3,2	228±3,4

ту и напряжение, развиваемые левым желудочком сердца в целом и единицей, образующей его сердечную мышцу. Из таблицы следует, что внешняя работа левого желудочка сердца и показатель напряжения высокотренированных людей в покое и при умеренных нагрузках (300—600 кгм/мин.) определенно ниже, чем у нетренированных людей. Это зависит от того, что сердце тренированных людей в этих условиях функционирует при более низкой частоте сердечных сокращений и обеспечивает минутный объем, главным образом, за счет увеличения ударного объема, с помощью только что рассмотренного механизма. Из таблицы далее следует, что один грамм сердечной мышцы левого желудочка тренированных людей генерирует в условиях покоя и при умеренной физической нагрузке на 25—30% меньшую внешнюю работу и напряжение, чем у нетренированных. Помимо меньшей частоты этот результат зависит и от другого фактора, а именно от гипертрофии левого желудочка сердца, которая снижает нагрузку, падающую на единицу массы сердца у тренированных людей. Таким образом, в результате меньшей частоты сердечных сокращений, большего ударного объема, гипертрофии мышца сердца тренированных людей функционирует в покое и при умеренной физической нагрузке более экономично—единица ее массы генерирует меньшую работу и напряжение. Это явление уже наблюдалось ранее и, по-видимому, объясняется доказанным теперь фактом, что при тренированности значительно возрастает количество митохондрий в скелетной мускулатуре [6] и в результате возрастает способность мышечной ткани извлекать кислород из протекающей крови.

При увеличении нагрузки феномен экономизации кровообращения по показателю минутного объема не реализуется: минутные объемы у обеих групп обследуемых одинаковы. Однако при этом высокотренированные люди сохраняют определенные резервы сердца и функции кровообращения в целом—у них меньше частота сокращений, но зато больший систолический объем левого желудочка и сопротивление сосудистого русла. Очевидно, что при возрастающей нагрузке дальнейшее увеличение частоты сокращений при одновременном уменьшении систолического объема желудочка и снижении сопротивления сосудистого русла вследствие расширения артериол может обеспечить значительное и экономичное увеличение минутного объема.

Институт общей патологии и патологической физиологии

Поступило 14/X 1978 г.

2. 4. ՁԱՇՁՆԱ

ԱՐՅԱՆ ՇՐՋԱՆԱՌՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԿՄԿՈՂԱԿԱՆ ՖՈՒՆԿՑԻՍՅՈՒՆԵՐԻ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՈՐՊԵՍ ՊԱՏԱՍԽԱՆ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՄԱՆՐԱԲԵՌՆԱԴՄՈՒԹՅԱՆԸ

Ա մ փ ո փ ո ի մ

Հաստատված է, որ մարզվածների մոտ ֆիզիկական ծանրաբեռնվածության ժամանակ ռոպիական ծավալը ձեռք է բերվում սրտի կծկումների փոքր հաճախականությամբ, ձախ փոքրի արտաքին աշխատանքի և արտաձկանի լարվածության ժամանակ, Սրտի ֆունկցիան իրականացվում է ավելի խնայողաբար:

PECULIARITIES OF THE CHANGES OF HEMODYNAMICS
AND CONTRACTILE FUNCTION AS AN ANSWER TO
PHYSICAL LOAD

S u m m a r y

The minute volume in physical load in trained persons is attained in lesser frequency of cardiac contraction, external output of the left ventricle and exertion of the myocardium. The cardiac function is more economical.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Марковская Г. И. Бюлл. exper. биол. и медицины, 1955, 7, 7—10.
2. Меерсон Ф. З. В кн.: «Адаптация сердца к большой нагрузке и сердечная недостаточность». М., Наука, 1975.
3. Фомина Г. А. Автореф. канд. дисс., М., 1979.
4. Эголинский Я. А. Основной обмен и тренировка ЛВНИИ физкультуры, 1936, 2, 35—54.
5. Юренев А. П., Беленков Ю. Н., Чащина З. В. Кардиология, 1979.
6. Feigenbaum H. Echocardiography Lea and Febiger Philadelphia, 1972.
7. Gollnick P. D., Armstrong R. B., Saltin B. J. Appl. Physiol., 1973, 34, 1, 107—111.
8. Helss H. W., Barmeyer J., Wink K. Verh. Dtsch. Kreislaufforsch., 1975. Bd. 41, 247—252.
9. Henry W., Clark C. F., Epstein S. E. Circulation, 1973, 47, 225—233.
10. Rowell L. C., Taylor H. L., Wang J. et al. J. Appl. Physiol., 1964, 19, 284.
11. Rushmer R., Thak N. Amer. J. Physiol., 1952, 168, 509.