

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА
ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

В.М. Задиорский, Б.И. Прилуцкий

ФИЗИОЛОГИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Методическая разработка для студентов, аспирантов,
слушателей факультетов усовершенствования,
повышения квалификации и Высшей школы
тренеров

Москва - 1988

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ СТОИМОСТЬ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

В повседневной двигательной деятельности человека отрицательная работа встречается так же часто, как и положительная. Спуск по лестнице, опускание груза, противодействие внешней силе, превышающей силу мышц, — все это примеры режима работы, при котором мышцы, будучи напряженными, растягиваются. В этой части речь пойдет о различиях в физиологических реакциях организма человека при выполнении им отрицательной и положительной работ. Вначале выясним, как измерять выполненную отрицательную и положительную работу, а также, как добиться их эквивалентности.

I. ТЕСТИРУЮЩИЕ ПРОЦЕДУРЫ С ЭКВИВАЛЕНТНЫМ ВЫПОЛНЕНИЕМ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Для того, чтобы положительная и отрицательная работы были эквиваленты, необходимо выполнение по крайней мере трех условий:

- 1) активироваться должны одни и те же мышцы;
- 2) величины напряжения мышц должны совпадать;
- 3) изменение длины мышцы (удлинение или укорочение) должно быть одинаковым.

I.I. Подъем и опускание груза

На рис. I представлена схема электрического эргометра, позволяющего измерить выполненную механическую работу при подъеме (положительная работа) и опускании (отрицательная работа) груза. При отключенном двигателе испытуемый выполняет обе фазы движения (подъем и опускание) одну за другой. Двигатель, включение которого может управляться системой реле (см. рис. I), позволяет разделить эти две фазы движения, исключая одну из них. В этом случае груз поднимается или опускается без усилий испытуемого. Данный подход гарантирует равенство выполняемой отрицательной и положительной работы, так как величина груза (a , следовательно, и усилие мышц) и амплитуда движения в двух случаях одинаковы.

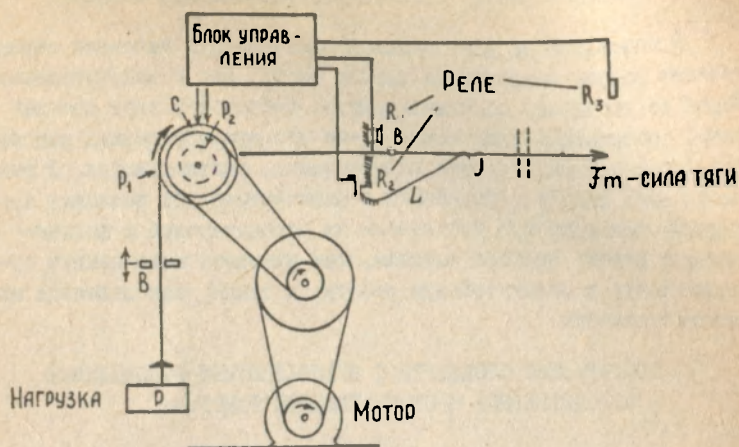


Рис. 1. Схема ручного эргометра для исследования физиологической стоимости положительной и отрицательной работы (по Pasquier, Monod, 1966) (214)

1.2. Передвижение по наклонной поверхности

Если предположить, что механическая работа при ходьбе (беге), равная изменению кинетической и потенциальной энергии тела, соответствует работе мышц, то в случае передвижения по горизонтальной поверхности, учитывая равенство изменения полной энергии в отрицательном и положительном направлениях, отрицательная и положительная работы за цикл равны. С увеличением положительного наклона поверхности увеличивается вклад положительной работы и уменьшается вклад отрицательной, и наоборот. Согласно результатам Малгача (1968) (185), при ходьбе по поверхности с наклоном порядка 13° совершается только положительная работа, а при наклоне менее -6° - только отрицательная. Величину совершаемой механической работы (положительной или отрицательной) при этом можно оценить так. Если скорость передвижения постоянна, то изменение кинетической энергии тела в среднем будет равно нулю; изменяется лишь потенциальная энергия. Таким образом, совершается работа только на подъем или

опускание тела. Зная наклон опорной поверхности (ψ) и пройденный телом путь (S), можно определить вертикальное перемещение, а затем, умножив его на вес тела (P), найти изменение потенциальной энергии (ΔE_n) или механическую работу (W):

$$W = \Delta E_n = P \cdot S \sin \psi$$

Подобный способ исследования физиологических реакций отрицательной и положительной работы имеет ряд недостатков. Во-первых, движения человека при перемещении по наклонной поверхности вверх и вниз не являются идентичными. В этом смысле целесообразней было бы сравнивать передвижения вверх - лицом вперед, а вниз - спиной вперед (88, 135). Однако из-за неестественности перемещения спиной вперед возможны изменения физиологических реакций за счет снижения эффективности движения (185). Вторым недостатком заключается в нелинейности зависимости между механической мощностью положительной и отрицательной работы и рядом физиологических показателей, в особенности энергопродукцией в единицу времени, что не дает возможности точно оценить величину отношения

метаболическая стоимость положительной работы
метаболическая стоимость отрицательной работы

(38,204). Однако из-за доступности данный метод широко используется (35,203,240,99,96,1,232,33).

Устранить указанные недостатки позволяет способ, предложенный *Assmusen* (1953) (37). Испытуемый, вращая педали велосипеда, едет на тредбане, угол наклона которого может быть положительным или отрицательным. При выполнении отрицательной работы (движение под уклон) педали вращаются в обратном направлении за счет измененного положения цепи (рис. 2). При спуске и подъеме движения ног симметричны. Выполняемая работа определяется как произведение суммы веса испытуемого и велосипеда на вертикальное перемещение вверх или вниз, которое, в свою очередь, вычисляется из скорости движения и угла наклона тредбана (37,241,157).

Некоторой разновидностью движения по наклонной поверхности является подъем и опускание по лестнице (50,210,51,52,88,226,155,212) (рис. 3).

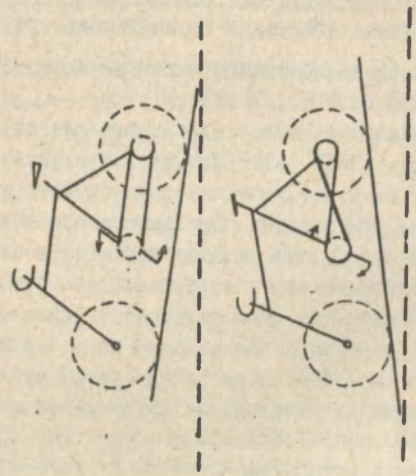


Рис. 2. Положение велосипеда и его цепи на наклонном тредроване (по Astmussen, 1953) (37)

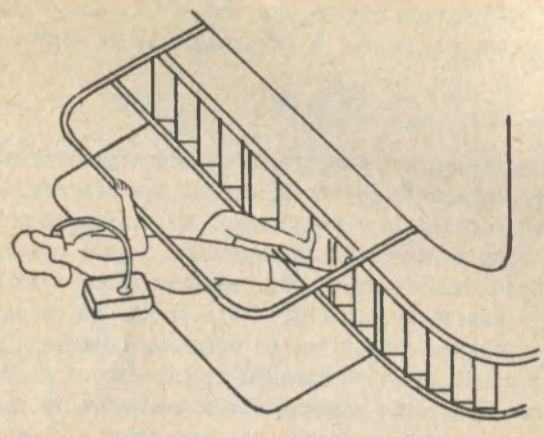


Рис. 3. Ходьба по лестнице-трелфану (по Richardson, 1966) (226)

1.3. Педалирование на велоэргометре

Наибольшей популярностью при исследовании отрицательной и положительной работы пользуются методы, связанные с педалированием на велоэргометре (28,27,63,249,200,205,195,129,143,191). Это обусловлено тем, что при выполнении двух видов работ движения идентичны. Во-первых, напряжены одни и те же мышечные группы ног. Мышцы туловища и рук в обоих случаях малоактивны. Одинаковой величины напряжения мышц ног добиваются одинаковым сопротивлением в обоих видах упражнений при одинаковой частоте педалирования. Что касается изменений длины мышц, то, очевидно, они одинаковы при вращении педалей в одну и другую стороны. Одними из первых исследовали соотношение величин физиологических реакций при отрицательной и положительной работах с помощью велоэргометра *Abbott, Bigland и Ritchie (1952)* (28). Идея их метода заключается в следующем. Два велоэргометра соединяются общей цепью так, что когда один испытуемый вращает педали в переднем направлении (положительная работа), ноги другого движутся в обратном (отрицательная работа). Первый испытуемый педалирует со скоростью, задаваемой метрономом, второй сопротивляется вращению педалей, ориентируясь по индикатору на заданный уровень силы. Малое трение в системе позволяет считать, что вся работа, совершаемая одним испытуемым, идет на растягивание напряженных мышц другого.

Более совершенной модификацией описанного метода является использование велоэргометра, педали которого вращает электродвигатель (172,61,26,197,57) (рис. 4).

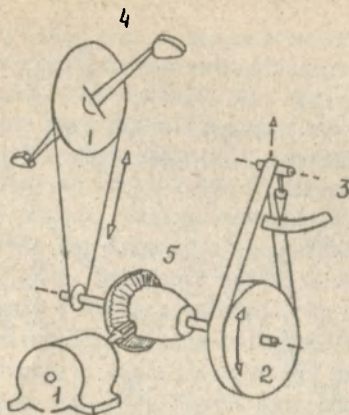


Рис. 4. Электрический велоэргометр для исследования отрицательной и положительной работы.
 1 - двигатель, 2 - маховик, 3 - тарировочное устройство, 4 - педали, 5 - дифференциал
 (по Licknecker et al. , 1969) (172)

2. МЕТАБОЛИЧЕСКАЯ ЭНЕРГОПРОДУКЦИЯ

2.1. Потребление O_2 в устойчивом состоянии

Наиболее информативным показателем, отражающим физиологические сдвиги в организме в ответ на нагрузку, является потребление кислорода, которое, в свою очередь, характеризует затраты метаболической энергии, идущей на выполнение механической работы.

Потребление кислорода в единицу времени (V_{O_2}) в устойчивом состоянии (когда кислородный запрос равен потреблению) увеличивается с ростом скорости выполнения отрицательной работы (отрицательной мощности $-W$) (рис. 5). Зависимость V_{O_2} - $-W$ линейна в диапазоне до 260 Вт при педалировании на велоэргометре (28,249,169,129), езде на велосипеде по наклонному тред-

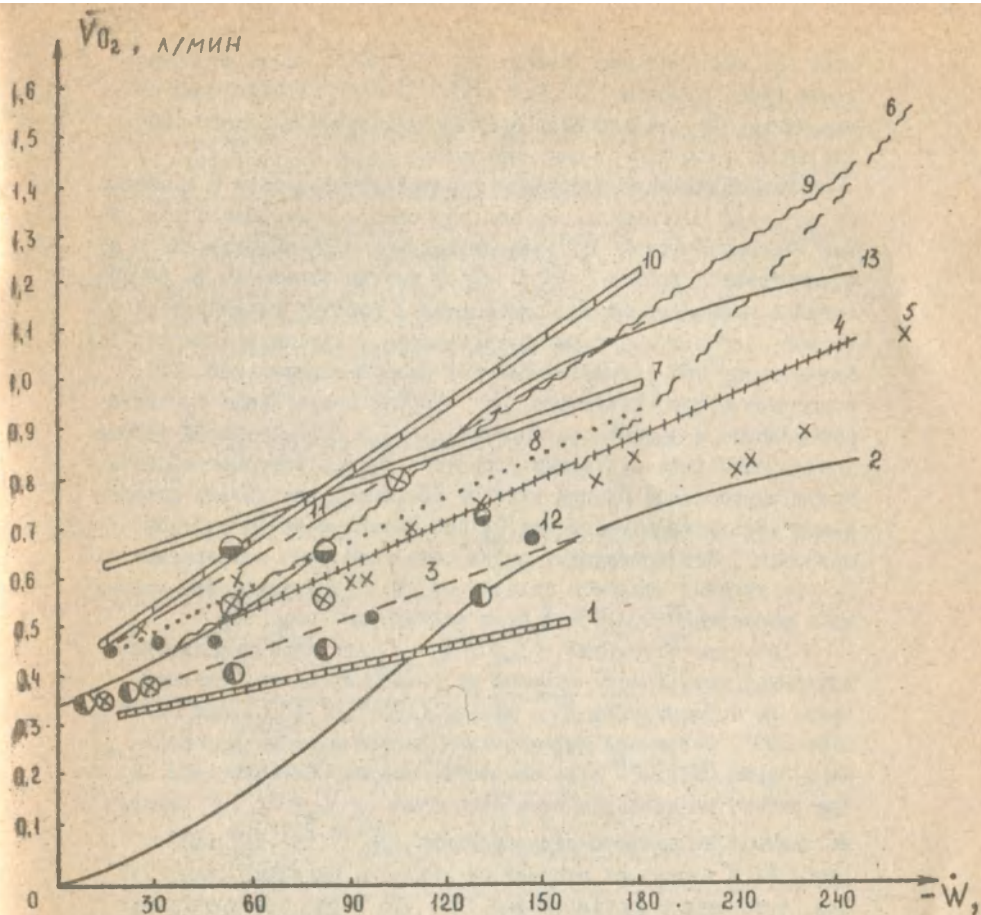


Рис. 5. Зависимость потребления кислорода ($\dot{V}O_2$) от мощности отрицательной работы ($-W$) (сводные данные)

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| 1 - велоэргометр (128), | 8 - спуск по лестнице (обыч- |
| 2 - чистое потребление | ный) (155), |
| O_2 , бер (96), | 9 - велоэргометр (249) |
| 3 - велосипед (204), | 10 - спуск по лестнице (пошаго- |
| 4 - велоэргометр (28) | вый) (212), |
| 5 - велоэргометр (37) | 11 - спуск по лестнице (пошаго- |
| X 6 - ходьба (204), | вый) (155), |
| 7 - спуск по лестнице | ● 12 - велоэргометр (129), |
| (обычный) (212), | 13 - 2 + 3,5 л/мин. |
| | 14 - велоэргометр (167,169) |
| | \otimes - 20 об/мин |
| | \odot - 60 об/мин |
| | \bullet - 100 об/мин |

бану (37,204), спуске по лестнице (155,212), подъеме груза (192) (рис. 5, табл. I). При ходьбе и беге по наклонной поверхности \dot{V}_{O_2} изменяется непропорционально мощности (38, 204,99,96).

Метаболическая стоимость отрицательной работы в несколько раз ниже положительной, что выражается в меньшем потреблении кислорода (табл. 2). Отношение \dot{V}_{O_2} при положительной и отрицательной работе ($+\dot{V}_{O_2}/-\dot{V}_{O_2}$) всегда больше 1, но не постоянно и зависит от вида выполняемой работы (педалирование, ходьба, бег и т.п.) и ее характеристик (скорость, мощность). Кроме того, оно сильно зависит от способа вычисления. Так, отношение общего и чистого \dot{V}_{O_2} (общее потребление O_2 минус потребление в покое) при положительной и отрицательной работе должно быть ниже отношения рабочего \dot{V}_{O_2} (общее потребление минус потребление O_2 при нулевой мощности) или дельта потребления (разность потребления O_2 при низкой и более высокой мощности). Это происходит вследствие того, что потребление O_2 при нулевой мощности отлично от нуля. В среднем эта величина составляет 0,3-0,4 л O_2 в минуту (см. рис. 5).

Величина отношения $+\dot{V}_{O_2}/-\dot{V}_{O_2}$ при передвижении по наклонной поверхности зависит от угла наклона ее, увеличиваясь до 4,8 при угле 6° в ходьбе (185,186) и 5,8 при 22° в беге (99). Отношение также увеличивается с весом переносимого груза (1,210)^x и со скоростью ходьбы (88) (см. табл. 2). При работе на велоэргометре отношение $+\dot{V}_{O_2}/-\dot{V}_{O_2}$ сильно зависит от частоты педалирования (28,37,169,167,58) (рис. 6) и в меньшей степени от величины нагрузки (рис. 7). Это, в частности, объясняется тем, что когда отрицательная мощность увеличивается при постоянной скорости педалирования, потребление O_2 растет быстро, но если мощность увеличивается за счет скорости при постоянной нагрузке, \dot{V}_{O_2} почти не меняется (27).

^x В работе (240) дополнительный вес (до 12 кг) снижал отношение, а согласно (267) груз в 25% от веса тела не оказывал заметного влияния на $+\dot{V}_{O_2}/-\dot{V}_{O_2}$.

Таблица I

Уравнения регрессии для предсказания потребления кислорода (\dot{V}_{O_2}) по отрицательной мощности ($-W$)

Испытуемые (число, возраст, пол)	Виды работы, диапазон мощности	Уравнение	Источник
I, 20 лет, м	Езда на велосипеде по наклонному тредбану, мощность: 150-1600 кг м/мин Частота 45 об/мин	\dot{V}_{O_2} - общее потребление (мл/мин)	(37)
		W - кг м/мин	
		$\dot{V}_{O_2} = 0,33 W + 451$	
		68 -"- $\dot{V}_{O_2} = 0,28 W + 483$	
		85 -"- $\dot{V}_{O_2} = 0,15 W + 658$	
		92 -"- $\dot{V}_{O_2} = 0,04 W + 763$	
		102 -"- $\dot{V}_{O_2} = 0,014 W + 955$	
Расстояние от седла до оси каретки	60 см	$\dot{V}_{O_2} = 0,85 W + 420$	
	75 -"-	$\dot{V}_{O_2} = 0,54 W + 485$	
	90 -"-	$\dot{V}_{O_2} = 0,32 W + 494$	
4, 19-39 лет, м и ж	Движение по лестнице с наклоном -30° скорость 4-15 м/мин	\dot{V}_{O_2} - общее потребление (мл/кг мин)	(155)
		V - вертикальная скорость, м/мин	
		Обычный спуск $\dot{V}_{O_2} = 5,72 + 0,49 V$	
	Спуск с приставлением ноги $\dot{V}_{O_2} = 5,61 + 0,64 V$		
3, 25-38 лет, м	Опускание груза стигбателями предглежа, мощность 14-60 кг м/мин	$\Delta \dot{V}_{O_2}$ - чистое потребление (мл/мин)	(192)
		W - мощность (кгм/мин) $\Delta \dot{V}_{O_2} = 0,8 W + 10,4$	
15, 18-22 года, м	Движение по лестнице с наклоном -30° , вертикальная скорость 5-14,5 м/мин	\dot{V}_{O_2} - общее потребление (мл/кг мин)	(212)
		V - вертикальная скорость (м/мин)	
		Обычный спуск $\dot{V}_{O_2} = 8,12 + 0,37 V$	
		Спуск с приставлением ноги $\dot{V}_{O_2} = 5,69 + 0,74 V$	

Таблица 2
 Соотношение потребления кислорода ($+V_{O_2}/-V_{O_2}$)
 и механическая эффективность положительной и отрицательной работы (+КМЭ и -КМЭ, соответственно)

Испытуемые (число, возраст, пол)	Вид и интенсивность работы	$+V_{O_2}$ $-V_{O_2}$	+КМЭ %	-КМЭ %	Источник	
3, м	Ходьба по лестнице (7,6 м) (вниз - спиной вперед)				(88)	
	Время прохождения:					
	1 мин 50 с	2,0	-	-		
	2 - " - 35 "	1,7				
	3 - " - 20 "	1,3				
	Подъем и опускание груза сгибателями предплечья. Перемещение 4,2 м					(189)
	Масса груза:					
	1,5 кг	1,5	-	-		
	3,0 - " -	1,3				
	4,5 - " -	1,2				
6,0 - " -	1,2					
Масса груза 1,5 кг Число сокращений мышц на один подъем (опускание):						
13	1,3	-	-			
26	1,3					
39	1,2					
52	1,2					
2, м	Подъем и опускание груза сгибателями предплечья	2	-	-	(148)	
1, м	Ходьба по наклонной поверхности. Наклон 4,6°				(17)	
	Вес груза:					
	0 кг	1,2	-	-		
	7,3 - " - Наклон 7,4°	1,3				
Вес груза:						
0 кг	1,8	-	-			
7,3 - " -	2,6					
3, м	Подъем и опускание груза сгибателями предплечья	2,4	-	-	(31)	

Продолжение

Испытуемые (число, возраст, пол)	Вид и интенсивность работы	$\frac{+\dot{V}_{O_2}}{-\dot{V}_{O_2}}$	+КМЭ %	-КМЭ %	Источник
12, 18-25 лет, ж	Подъем и спуск по лестнице. Частота шагов 72-92 шага в мин. Вертикальная скорость 10-13 м/мин	1,7	-	-	(50)
	Ходьба по наклонной поверхности. Угол наклона: вверх - $\geq 13^\circ$, вниз - -6° . Скорость 4-5 км/час	-	25	120	Чистая (185)
2, м	Подъем и спуск по лестнице высоты 8,15 м. Вертикальная скорость ± 30 м/час Вес тела с грузом:		Общая		(210)
	70 кг	1,9	18	38	
	85 -"-	2,3	17	43	
	100 -"-	1,5	16	39	
	115 -"-	2,4	17	41	
	Спуск и подъем по лестнице	4,3	-	-	(198)
2, м	Педалирование на велоэргометре. Мощность 250-1300 кгМ/мин. Частота педалирования				(28)
	25 об/мин	2,4	-	-	
	35,4 -"-	3,7			
	52,0 -"-	5,2			
1, 20 лет, м	Езда на велосипеде по наклонному треку. Мощность 150-1600 кгМ/мин. Длина шатуна 17 см, расстояние от седла до оси каретки 75 см. Частота педалирования:		Рабочая		(37)
	45 об/мин	5,9	25 ^x	148 ^x	
	68 -"-	7,4	24 ^x	174 ^x	
	85 -"-	13,7	24 ^x	330 ^x	
	92 -"-	44,5	27 ^x	1220 ^x	
	102 -"-	125	28 ^x	3485 ^x	
	Длина шатуна 8,5 см. Расстояние от седла до оси каретки:				
	60 см	3,1	19 ^x	57 ^x	
	75 -"-	4,6	20 ^x	90 ^x	
	90 -"-	6,1	25 ^x	153 ^x	

Продолжение

Испытуе- мые (чис- ло, воз- раст, пол)	Вид и интенсивность работы	\dot{V}_{O_2}	+КМЭ %	-КМЭ %	Источ- ник		
		$-V_{O_2}$					
2, 20-21 лет, ж	Работа на велоэргомет- ре. Мощность 120-300 кГМ/мин, частота 45 об/мин	3-	-	-	(197)		
		4	-	-			
-	Подъем и спуск по лест- нице	3	-	-	(215)		
-	Ходьба в гору и под ук- лон. Скорость 2 км/час	6	-	-	(13)		
II, 23-47 лет, м и ж	Подъем и спуск по лест- нице высотой II м, на- клон 26°	1,7	-	-	(52)		
24, 18-23 лет, ж	Подъем и спуск по лест- нице	1,5	-	-	(51)		
2, м	Степ-тест на подвижной ступеньке. Частота 12 шагов в минуту. Вы- сота ступеньки:	20 см	2,9	-	(201)		
		30 -»-	3,0	-			
		40 -»-	3,2	-			
		Частота 18 шагов в ми- нуту. Высота ступеньки:					
		3 см	4,0	-			
		5 -»-	3,5	-			
		10 -»-	3,6	-			
		20 -»-	2,7	-			
		30 -»-	3,6	-			
		40 -»-	3,3	-			
8, 42-51 год, ж	Подъем и спуск по лест- нице трех конструкций, частота шагов 62 шаг/мин 1) наклон лестницы 27°, высота и ширина ступенек 15 и 30 см	1,5	-	-	(226)		
		2) 40°, 20,6 и 24,3 см	1,3	-		-	
		3) 35°, 19,4 и 25 см	1,8	-		-	

Продолжение

Испытуемые (число, возраст, пол)	Вид и интенсивность работы	$\frac{+\dot{V}_{O_2}}{-\dot{V}_{O_2}}$	+КМЭ %	-КМЭ %	Источник
15, 26±4,6 лет, м	Приседание и подъем со штангой на плечах (вес штанги 150 и 95% от изометрического максимума, соответственно) До тренировки 1,87 После 13 недель тренировок 1,91		-	-	(236)
1, 22 года, м	Езда на велосипеде по наклонному тредингу, мощность 0-1000 кГм/мин, частота 60 об/мин	6,4 ^{xx}	-	-	(204)
4, 19-39 лет, м и ж	Подъем и спуск по лестнице с наклоном ±30°, вертикальная скорость 4-15 м/мин. Обычный подъем (спуск) 3,8 Подъем (спуск) с приложением ноги на каждой ступеньке 3,6		26 21	98 75	Рабочая (155)
2, 37-38 лет, м	Педалирование на велоэргометре, мощность 15-130 Вт, частота: 20 об/мин 3,5 ^{xx} 60 " " 7,6 ^{xx} 100 " " 15,5 ^{xx}		-	-	(169)
2, 20-21 год, м	Ходьба по наклонной поверхности с весом 2-12,5 кг, наклон поверхности 6°, Скорость: 4 км/ч 3,2 ^{xx} 5 " " 2,7 ^{xx} 6 " " 2,3 ^{xx} 7 " " 1,9 ^{xx}		-	-	(240)
7, 18-24 года, м	Педалирование на велоэргометре. Мощность: 48-115 Вт 2,7 230 2,7		-	-	(63)

Продолжение

Испытуемые (число, возраст, пол)	Вид и интенсивность работы	$\frac{+\dot{V}_{O_2}}{-\dot{V}_{O_2}}$	+КМЭ %	-КМЭ %	Источник
7. 21-41 год, м	Ходьба по наклонной поверхности (47° и -19°) со скоростью 6,44 км/час На 20-й минуте На 50-й минуте	5 -	20 -	120 100	Рабочая (98)
6. 18-30 лет, ж	Педалирование на велоэргометре с частотой 60 об/мин. Мощность: 50 Вт 100 - "	2,7 ^{XX} 3,5 ^{XX}	-	-	(128)
5. 18-19 лет, м; 2, 5 лет, ослик	Ходьба по наклонной поверхности Люди Наклон 6° 10° Ослы Наклон 6° 10°	2,4 ^{XX} 2,9 ^{XX} 6,0 ^{XX} 5,9 ^{XX}	-	-	(267)
3. 25-38 лет, м	Подъем и опускание груза сгибателями предплечья мощностью 14-60 кгМ/мин	3	20	61	Рабочая (192)
4, м и ж	Педалирование на велоэргометре, мощность 150-1000 кгМ/мин Частота: 30 об/мин 50 - " 80 - " 100 - "	4,9 6,6 8,3 10,2	-	-	(58)
6. 30-43 года, м	Педалирование на велоэргометре, мощность 75 Вт, частота 60 об/мин	2,3	-	-	(191)
7. 18-28 лет, м	Педалирование на велоэргометре, мощность 16-900 Вт, частота 60 об/мин	6	-	-	(129)

Продолжение

Испытуемые (число, возраст, пол)	Вид и интенсивность работы	$\frac{\dot{V}O_2}{\dot{V}O_{2c}}$		+КМЭ %	-КМЭ %	Источник
		+	-			
15, 18-22 года, м	Подъем и спуск по лестнице с наклоном +30°, вертикальная скорость 4-15 м/мин Обычный подъем (спуск) Подъем (спуск) с при- ставлением ноги на каждой ступеньке	5,3	24,5	129,2		Рабочая (212)
		3,3	20,1	64,4		
5, м	Педалирование на вело- доэргометре, мощ- ность 27-250 Вт Аэробная работа Анаэробно-аэробная	2,5	27	68		Дельта (211)
		3,3	35	116		
3, м	Бег по наклонной по- верхности (+3-6°) мощность +0-30 кпм/с	3,4	35	120		Рабочая (96)
4, 23-47 лет	Педалирование на ве- доэргометре, мощность 75 Вт, частота 60 об/мин	2,6	-	-		(143)
26-41 лет, м	Ходьба под уклон 60 мин Первый день Второй день	-	-	50		Рабочая (97)
				120		
I, 3I год, м	Бег по наклонной по- верхности со скоро- стью 7,5 км/час Наклон: до -8,5° -8,5- -18,5° -21° -22°	-	-	15-35		Рабочая (99)
				120		
				129		
				141		

X Рассчитано нами. Калорический эквивалент 1 л O₂ принят рав- ным 4,8 ккал.

XX Определено из графика.

Отношение $\frac{+V_{O_2}}{-V_{O_2}}$ - уменьшается с ростом средней длины мышцы и практически не зависит от амплитуды изменения длины (37).

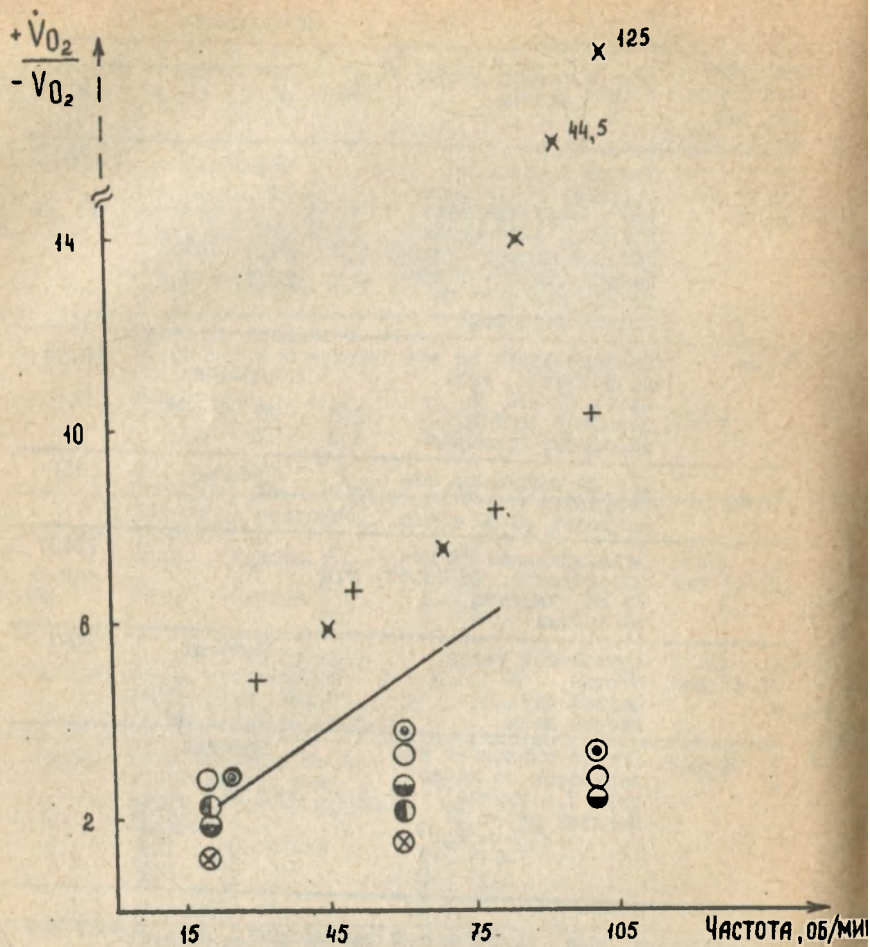


Рис. 6. Зависимость отношения $\frac{+\dot{V}_{O_2}}{-\dot{V}_{O_2}}$ от частоты педалирования

x - (37)
 + - (58)
 --- (28)

⊗ - 15 Вт
 ● - 30 Вт
 ◐ - 55 Вт
 ○ - 80 Вт
 ⊙ - 105 Вт
 ⊚ - 130 Вт

} -/169/

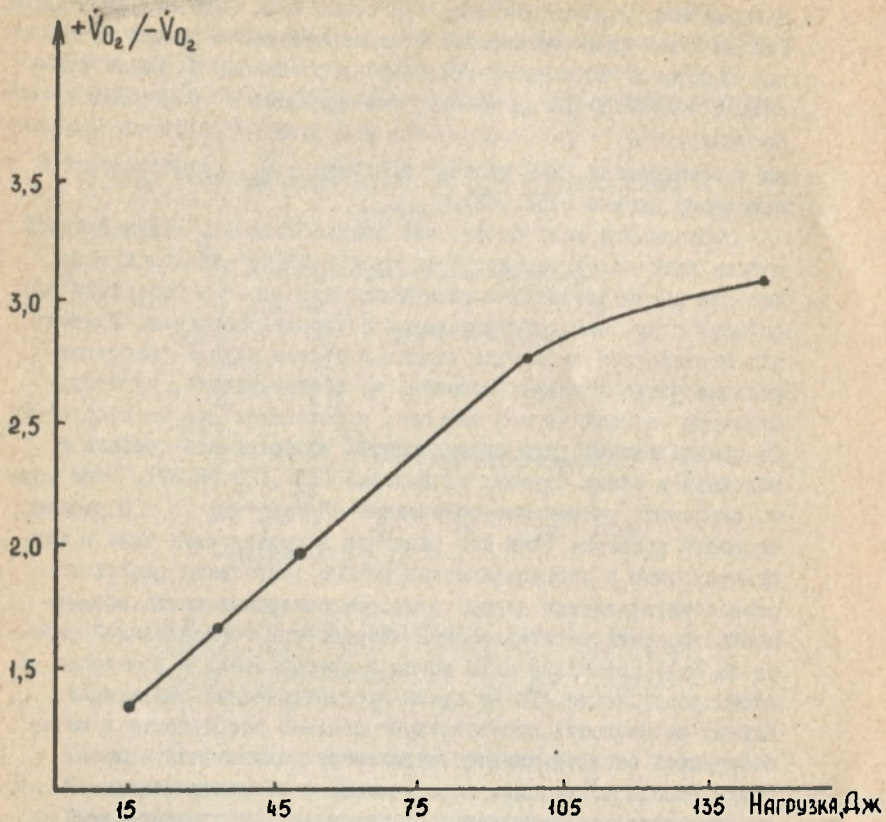


Рис.7. Зависимость отношения $+\dot{V}O_2 / -\dot{V}O_2$ от нагрузки при педалировании на велоэргометре. Частота 60 об/мин (по *Knutzen* и др., 1971) (167, 169)

Энергостойкость отрицательной работы у тренированных к данному виду физической нагрузки людей ниже (236,62,157,97,58). Уже на пятый день тренировки в эксцентрическом режиме (часовая ходьба по наклонному тредбану) потребление O_2 может снижаться с 19,7 до 12 мл/кг мин, что приводит к увеличению отношения $+V_{O_2}/-V_{O_2}$ более чем в 2 раза (97). После перерыва в тренировках (3-4 месяца) величина $-V_{O_2}$ возвращается к исходному уровню (157,169).

Объяснения того факта, что энергостойкость отрицательной работы ниже положительной, сводятся главным образом к тому, что при растягивании активная мышца проявляет в несколько раз большую силу, чем при укорочении с той же скоростью. Поэтому для поддержания заданного усилия в первом случае требуется меньшее число активных волокон, а, следовательно, и меньшая величина метаболической энергии, необходимая для их напряжения (в предположении, что интенсивность эфферентного притока к волокнам в обоих случаях одинакова) (132,133,28,37). Этим можно объяснить увеличение отношения $+V_{O_2}/-V_{O_2}$ с ростом скорости движения, так как различия в проявляемой силе в концентрическом и эксцентрическом режиме сокращения растут со скоростью изменения длины мышцы. Не исключена также возможность экономии метаболической энергии при отрицательной работе за счет повышения силы мышцы и одновременного угнетения реакций расщепления АТФ во время эксцентрических сокращений. Данная возможность соответствует меньшей потребности в метаболической энергии каждого отдельного волокна мышцы в эксцентрическом сокращении по сравнению с концентрическим. В экспериментах по выполнению положительной и отрицательной работы на велоэргометре получены факты, косвенно подтверждающие данную гипотезу. Если отношение $+V_{O_2}/-V_{O_2}$ составляет порядка 6, то аналогичное отношение для интегрированной электромиограммы (+ИЭМГ/-ИЭМГ) работающей мышцы значительно меньше - около 2 (58). Это, в частности, показывает, что меньшая стоимость отрицательной работы не может быть объяснена только снижением числа активных волокон, тем более, что V_{O_2} на единицу электрической мышечной активности в несколько раз меньше (до 3-х) для отрицательной работы в отличие от положительной (58). Однако вторая воз-

возможность экономии энергозатрат при растягивании мышцы не получила пока прямого биохимического подтверждения в эксперименте на человеке (62, 63, 166). Так же не согласуется с данной гипотезой тот факт, что при максимальных эксцентрических и концентрических сокращениях потребление O_2 и электрическая активность мышц одинакова в двух видах упражнений (165).

2.2. Динамика потребления O_2 при отрицательной работе

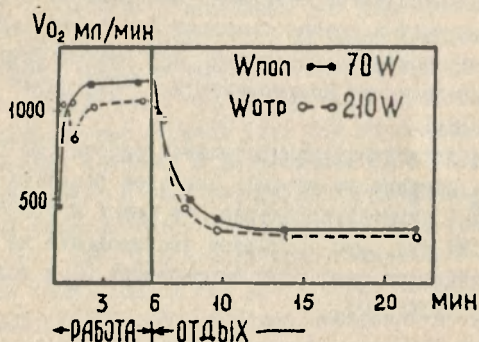


Рис. 8. Потребление кислорода (V_{O_2}) в двух экспериментах с одним испытуемым, выполнявшим отрицательную (○-○) и положительную (●-●) работу на велосипеде (по Knuttgen, Klausen, 1971) (168)

На рис. 8 показано изменение потребления O_2 во время и после кратковременной интенсивной отрицательной (210 Вт) и менее интенсивной положительной (70 Вт) работы, вызывающих примерно одинаковый O_2 -запрос (168). На первых минутах отрицательной работы O_2 -дефицит (разность в потреблении O_2 в начале упражнения и в устойчивом состоянии) практически отсутствует, в особенности если интенсивность нагрузки невелика (до 30% максимальной аэробной возможности) (63), или незначителен и много меньше дефицита при положительной работе, требующей такого же количества O_2 в случае высокой мощности (63)^x. Другими словами, потребление кислорода на пер-

^x При ступенчатом изменении мощности от умеренной до высокой O_2 -дефицит положительной и отрицательной работы с одинаковым O_2 -запросом практически одинаков (211).

вых минутах упражнения во много раз выше при отрицательной работе. Однако кислородный долг отрицательной работы хоть и меньше положительной (168,63,236), но составляет внушительные величины (порядка 10 и 15 мл/кг после 4-минутной работы с мощностями -48 - -115 и -230 Вт соответственно) (63), что особенно удивительно для низкой интенсивности отрицательной работы, учитывая отсутствие O_2 -дефицита в этом случае. Хотя данный эффект не получил еще однозначного объяснения, предположительно он вызван увеличением венозного возврата из работающих конечностей к сердцу и легким в момент начала упражнения за счет высокого мышечного напряжения при эксцентрическом сокращении, что увеличивает потребление O_2 , "маскируя" тем самым O_2 -дефицит (168).

Во время длительной отрицательной работы (до I часа) потребление O_2 постепенно растет. При этом разность в потреблении O_2 на 10-й минуте упражнения и в конце его составляет от 15 до 50% (157,97). При повторном тестировании на следующий или через несколько дней рост потребления O_2 к концу упражнения снижается (157,97).

2.3. Мышечный метаболизм

Отрицательная кратковременная работа от низкой до высокой интенсивности (до -230 Вт) не вызывает существенных изменений в концентрации важнейших мышечных метаболитов - АТФ, креатинфосфата (КрФ), мышечного гликогена, лактата мышц (63) и крови (63,168,143). При положительной работе высокой мощности (+230 Вт) КрФ и гликоген снижаются после 4-минутного упражнения на 11,6 и 18,8 миллимоль на килограмм веса мышц соответственно, а содержание лактата в мышцах и крови увеличивается на 13 и 6 ммоль/кг (63).

Длительная 30-минутная нагрузка умеренной и высокой отрицательной мощности (от -155 до -260 Вт) не изменяет значимо концентрацию АТФ, но снижает содержание КрФ к концу упражнения на 2,4 ммоль/кг, незначительно увеличивает лактат в мышцах (62) и крови (97,98,62), а также приводит к некоторому снижению запасов гликогена мышц (62). В то же время дыхательный коэффициент несколько снижается, что отражает большее использование в качестве субстрата окислительных процессов свободных жирных кислот крови (62).

2.4. Механическая эффективность отрицательной работы

Механическая эффективность^X (отношение выполненной механической работы к метаболической энергопродукции) при заданной механической работе полностью определяется потреблением кислорода. Поэтому все сказанное о потреблении O_2 в разделе 2.2 справедливо для механической эффективности. В частности, при отрицательной работе коэффициенты механической эффективности (КМЭ) по модулю в несколько раз выше значений КМЭ положительной работы (см. табл. 2), во многих случаях превышая 100%. Особенно высокие значения наблюдаются для рабочей эффективности велосипедной езды под уклон с частотой педалирования выше 100 об/мин - 3485% (!), что обусловлено практическим отсутствием прироста в потреблении O_2 с увеличением мощности работы (37). В беге под уклон со скоростью более 7,5 км/час КМЭ увеличивается с углом наклона, составляя 120% при угле $-8,5^\circ$ - -17° , 129 и 141% при углах $-21,5^\circ$ и -22° , соответственно (93). Ходьба под уклон имеет похожую эффективность - до 120% (185,97,98), которая снижается до 100% после часовой ходьбы (98). Ходьба по лестнице, имеющей наклон -30° , выполняется с эффективностью 98-129%, а спускание с приставлением ноги на каждой ступеньке - 64-75% (155,212). Смешанная анаэробно-аэробная работа на велоэргометре, согласно (Pahud et al., 1980), более эффективна (116%), чем чисто аэробная работа (68%), хотя эти данные пока не получили подтверждения. Эффективность отрицательной работы, выполняемой руками, несколько ниже (61%) (192) эффективности педалирования, ходьбы или бега.

Тренировка в эксцентрическом режиме сокращения мышц может приводить к существенному увеличению (на 70%) механической эффективности отрицательной работы (97,98).

3. РЕГУЛЯЦИИ ДЫХАНИЯ

Особенности метаболизма при отрицательной работе требуют определенной перестройки функционирования дыхательной системы, в частности, легочной вентиляции.

^XРазличают общую, чистую, рабочую и дельта эффективность (см. раздел 2.1) (118).

На рис. 9 показана зависимость легочной вентиляции (\dot{V}_E) от скорости потребления кислорода при положительной и отрицательной работе. \dot{V}_E на единицу \dot{V}_{O_2} во втором случае несколько выше (184,40, 204,167, 33,98), что отражает меньшую эффективность легочной вентиляции для потребления кислорода.

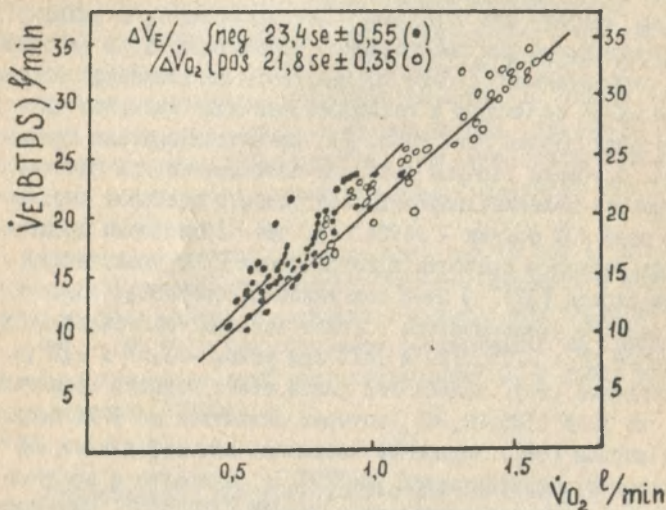


Рис. 9. Легочная вентиляция (\dot{V}_E) в зависимости от потребления кислорода (\dot{V}_{O_2}) при положительной* (○) и отрицательной (•) работе (по Asmussen, 1967) (4С)

Этот факт скорее всего не связан с гуморальным компонентом регуляции дыхания, в частности, с изменением чувствительности хеморецепторов. Подтверждением этому является отсутствие различий при двух видах работы коэффициента А (чувствительность P_{CO_2}) зависимости $\dot{V}_E = A (P_{ACO_2} - B)$, связанной \dot{V}_E с парциальным давлением CO_2 в альвеолярном воздухе ($P_A CO_2$) (98,191,143). Тем более, что $P_A CO_2$ при отрицательной работе на 6-8 мм рт.ст. ниже, чем при положительной (98). Видимо, ведущим регуляторным фактором, вызывающим гипервентиляцию при эксцентрических сокращениях, является нейрогенный, что, в частности, подтверждается вер-

тикальным подъемом прямой $\dot{V}_E = A(P_{ACO_2} - B)$ при выполнении отрицательной работы (33). Одним из проявлений нейрогенных влияний является, по предположению, усиленная активность механорецепторов, вызванная большим (в 5-7 раз) напряжением мышц при отрицательной работе (с одинаковым с положительной работой потреблением O_2) (40).

Другой вентиляционный эквивалент $-\dot{V}_E / \dot{V}_{CO_2}$, характеризующий эффективность легочной вентиляции для удаления CO_2 из легких, одинаков для положительной и отрицательной работы малой и большой длительности (до 1 часа) (98,129), так же, как легочная вентиляция на единицу дыхательного объема (\dot{V}_E) и отношение P_{ACO_2} / V_{CO_2} (смешанного венозного напряжения CO_2 к скорости удаления CO_2 из организма) (93).

Индекс дыхательного обмена (RQ) при положительной и отрицательной работе умеренной интенсивности (с потреблением кислорода равным примерно 1 л/мин) не отличается в двух видах упражнений (168,249).

4. СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ СИСТЕМА

4.1. ЧСС, сердечный выброс

В настоящее время нет единого мнения о различиях в ЧСС при положительной и отрицательной работе с одинаковым потреблением O_2 . В одних исследованиях более высокая ЧСС обнаружена при отрицательной работе (249,173,169,167,204,205,98,200,129), в других это опровергается (192,197,128,143,212). В связи с этим нет единого мнения и относительно сердечного выброса и систолического объема, поскольку они тесно связаны с ЧСС при заданном уровне минутного объема кровообращения (Q) (129, 249,205,143,173). Однако многие авторы сходятся во мнении, что условия для увеличения систолического объема более благоприятны при отрицательной работе за счет значительно большего венозного возврата к сердцу из работающих мышц, напряжение которых во много раз больше при эксцентрическом сокращении.

Особенности деятельности сердца в эксцентрических упражнениях вызваны и гуморальными влияниями. В частности, после данного типа работы концентрация катехоламинов в крови уменьшается на 31% по сравнению с уровнем покоя, в то время, как

после положительной работы - увеличивается в 3 раза (143).

Кислородный пульс, учитывая меньшую метаболическую стоимость отрицательной работы, выше в данном типе упражнений (129).

4.2. Показатели гемодинамики



Рис. 10. Отношение среднего артериального давления к скорости потребления кислорода ($\frac{САД}{\dot{V}O_2}$) при положительной (ось абсцисс) и отрицательной (ось ординат) работе

$\Delta \dot{V}O_2 < 1$ л/мин

$\bullet \dot{V}O_2 > 1$ л/мин

(по Thomson, 1971) (249)

Среднее артериальное давление (САД) и периферическое сопротивление ($\frac{САД}{Q}$) при отрицательной работе выше (249) (рис. 10), что связывают с высоким напряжением мышц.

Мышечный кровоток не различается в двух видах упражнений с одинаковым потреблением кислорода (0,8-1 л/мин) (64, 168, 205). Однако кожный кровоток более чем в 2 раза выше при отрицательной работе (203; 205), что связано с более

интенсивной отдачей тепла (см. раздел 5). При положительной и отрицательной работе с одинаковой теплопродукцией больших различий в кожном кровотоке не обнаружено (203,205).

4.3. Изменения химического состава крови

В настоящее время нельзя составить полного представления об особенностях химического состава крови во время и после отрицательной работы. Некоторые результаты одного из наиболее полных исследований этого вопроса представлены на рис. II (35).

5. ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОПРОДУКЦИИ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

Общую продукцию тепла (H) при мышечной работе можно определить из соотношения

$$H = M - W$$

где M - метаболическая энергопродукция,

W - выполненная механическая работа. В случае отрицательной работы ($-W$) с одинаковым с положительной работой потреблением O_2 (M не меняется) H будет выше. Таким образом, в этой ситуации следует ожидать повышенный тепловой стресс. Система терморегуляции в этой ситуации должна обеспечить усиленную отдачу тепла из организма с тем, чтобы поддержать внутреннюю температуру тела на постоянном уровне.

Регуляция теплового баланса организма в этом случае осуществляется за счет большего, чем при положительной работе, увеличения температуры мышц и глубоких слоев кожи работающих органов (отдача тепла проведением) (рис. 12), усиления кожного кровотока (механизм циркуляторной конвекции) (203,205), более обильного потоотделения (испарения) (203,205,204,226, 98,240) (рис. 13). Например, при температуре окружающей среды $20^{\circ}C$ различия в потоотделении в двух видах упражнений с одинаковой метаболической энергопродукцией составляет около 0,25 л/час (205). В похожих условиях температура работающих мышц отличается в среднем на $2^{\circ}C$ (204,200,211). Последний факт может оказывать влияние на интенсивность мышечного метаболизма в эксцентрических сокращениях и повышение концент-

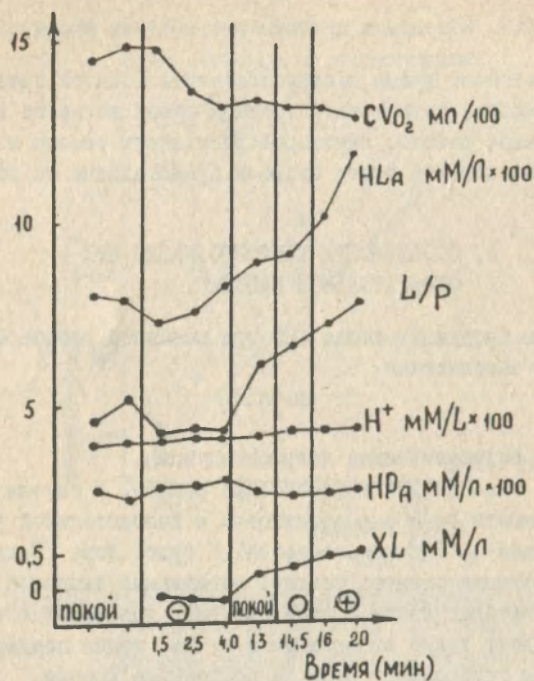


Рис. 11. Показатели химического состава артериальной и венозной крови при отрицательной \ominus , положительной \oplus и статической \circ работе (по Armstrong et al., 1966) (35)

Разгибатели предплечья человека

- CV_{0₂} - концентрация O₂ в венозной крови,
- HL_A - артериальная и венозная концентрация лактата,
- HP_A - артериальная и венозная концентрация пирувата,
- XL - эксцесс лактата,
- H⁺ - ионы водорода,
- L/P - отношение лактат/пируват

РАБОТА		Полож.
Отриц.		2 ●
1 x		4 +
3 ○		6 /
5 Δ		

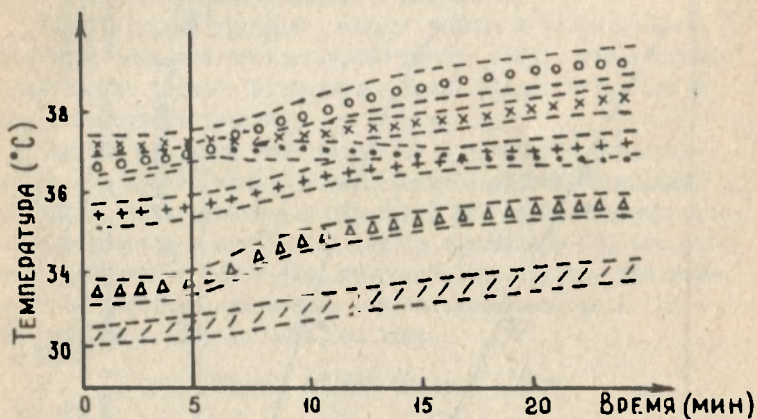


Рис. 12. Изменение температуры при выполнении положительной и отрицательной работы (по Nadel и др., 1972) (200)

- 1,2 - эзофагальная температура
- 3,4 - температура работающих мышц
- 5,6 - средняя температура кожи

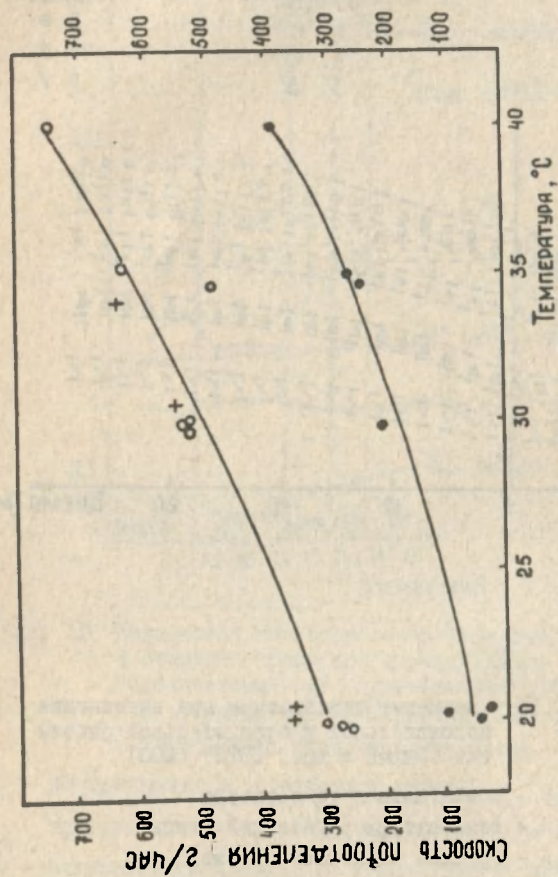


Рис. 13. Скорость потопления в зависимости от внешней температуры при отрицательной (верхняя кривая) и положительной (нижняя кривая) работе. ○ - мощность - 1250 кГ·м/мин, ● - мощность + 250 кГ·м + - мощность + 720 кГ·м/мин. Потребление О₂ при О и ● равны (по Nielsen B. et al., 1972) (205)

рации кислорода в крови, "омываемой" мышцы, за счет смещения кривой диссоциации оксигемоглобина вправо.

Ведущим механизмом терморегуляции при отрицательной работе является, по-видимому, усиление кожного кровотока, который, как уже отмечалось, в 2 раза выше в данном виде упражнений по сравнению с положительной работой, имеющей ту же метаболическую теплопродукцию. Кроме "доставки" тепла к поверхности тела, этот механизм увеличивает проводимость кожи (в 2 раза) (205), что значительно повышает теплоотдачу.

Температурный градиент между глубоким и поверхностным слоем кожи выше при отрицательной работе (204), что усиливает проведение тепла к поверхности тела. Однако вклад его в общую теплоотдачу невелик.

Температура ядра тела (оральная - в полости рта, ректальная - в прямой кишке, тимпанальная - вблизи барабанной перепонки, эзофагальная - в пищеводе) при отрицательной работе увеличивается в среднем на $1-2^{\circ}\text{C}$ в длительном (60 мин и более) упражнении и может либо превышать температуру при положительной работе с одинаковым потреблением кислорода (211, 98), либо быть ниже ее (204, 200, 143).

6. СУБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ТЯЖЕСТИ РАБОТЫ

Испытуемые, выполняющие отрицательную и положительную работу одинаковой интенсивности, считают более тяжелой работой положительную (128, 212). Однако, если интенсивность двух видов упражнений такова, что требуется одинаковое потребление O_2 ($-W > +W$), более тяжелой кажется отрицательная работа (128). При педалировании на велоэргометре субъективно тяжелее выполнять работу с меньшей частотой оборотов как в эксцентрическом, так и в концентрическом режиме сокращения (128). Субъективные ощущения тяжести двух типов упражнений связаны с ЧСС (128).

7. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МЫШЦ

Гипотеза, выдвинутая в (132, 133, 28, 37), о том, что одинаковая мощность положительной и отрицательной работы требует вовлечения разного числа активных волокон, подтверждается меньшей величиной отношения ЭМГ/сила для эксцентрических со-

крашений (37,231,54,56,36,192,160,58,127) (рис. I4a). Величина ЭМГ в эксцентрических сокращениях не зависит от скорости удлинения мышц (108,117,56) (рис. I4б) в отличие от concentрических сокращений, где ЭМГ увеличивается со скоростью (108, 127,56).

Активность мышц в эксцентрическом режиме зависит от угла в суставе (108) и длины мышцы (56).

При максимальных эксцентрических и concentрических сокращениях электрическая активность мышц одинакова (165,235,228).

8. МЫШЕЧНЫЕ БОЛИ, ВЫЗВАННЫЕ ЭКСЦЕНТРИЧЕСКИМИ СОКРАЩЕНИЯМИ^X

Мышечные боли, наблюдаемые после физической нагрузки, могут быть разделены на две группы (39,114):

1) боль кратковременная (длительность - несколько часов) вызывается высокоинтенсивной анаэробной работой. Причина боли - биохимические продукты окисления (увеличенное содержание лактата, повышенный внутриклеточный ацидоз). Ацидоз, в свою очередь, тормозит актомиозиновое взаимодействие, что приводит к падению силы мышц;

2) боль отставленная (длительная). Симптомы ее появляются через 2-24 часа после упражнения, продолжительность - до 7 дней. Предположительно данный вид боли вызван высоким механическим напряжением мышечных волокон или соединительных тканей при работе, требующей больших мышечных усилий.

Экспериментальные исследования показывают, что отставленная мышечная боль вызывается, главным образом, эксцентрическими сокращениями мышц (39,97,163,246,150,30,189,100,202, 232,464,165,166), в отличие от concentрических (39,164,165, 166,163,97,202). Максимум боли ощущается в среднем через 48 часов после утомляющих эксцентрических сокращений (39, 165,166,189,246). Согласно ощущениям испытуемых, боль локализуется в местах мышцы, богатых соединительными тканями, т.е. там, где мышца соединяется с сухожилием.

^XПодробнее см. обзор (114).

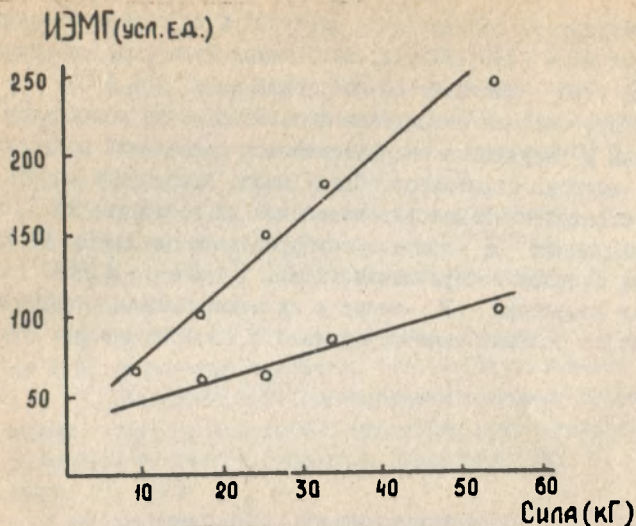


Рис. 14а. Зависимость интегрированной электрической активности (ИЭМГ) икроножной мышцы человека от силы в концентрическом (верхняя линия) и эксцентрическом сокращении (нижняя линия) (по Bigland и Lippold, 1954) (56)

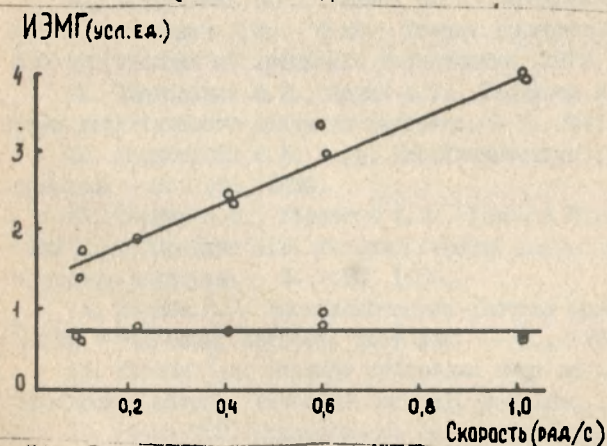


Рис. 14б. Зависимость интегрированной электрической активности (ИЭМГ) икроножной мышцы человека от скорости укорочения (верхняя линия) и удлинения (нижняя линия) (по Bigland и Lippold, 1954) (56)

В результате отставленной мышечной боли снижается сила сокращения мышц (I65, I00), увеличивается величина отношения ИЭМГ/сила (I65), наблюдается набухание мышц (246, I66).

Морфологические наблюдения показывают, что наибольшим изменениям в результате эксцентрических сокращений подвергаются Z-полоски саркомеров. Сразу после нагрузки и спустя два дня обнаружены некоторые изменения их конфигурации (II4). Обычно нарушения Z-полосок обнаруживаются недалеко от капиллярных сосудов и сарколеммы (I88). Friden (1984) (II4) связывает изменения Z-полос с их механическим разрушением в результате больших мышечных усилий в эксцентрических сокращениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амар Э. Человеческая машина. - М., 1922.
2. Аруин А.С., Золков Н.И., Зацюрский В.М., Райцин Л.М., Ширковец Е.А. Физиология человека, 1977, т.3, с.519.
3. Аруин А.С., Зацюрский В.М. Биомеханические свойства мышц и сухожилий. - М.: ЦОЛИК, 1981.
4. Аруин А.С., Зацюрский В.М., Пановко Г.Я., Райцин Л.М. Физиология человека, 1978, т.4, с.1072-1079.
5. Аруин А.С., Прилуцкий Б.И. Физиология человека, 1985, т. II, с.12-17.
6. Аруин А.С., Прилуцкий Б.И., Райцин Л.М., Савельев И.А. Физиология человека, 1979, т.5, с.589-599.
7. Бальсевич В.К. Исследование основных параметров движений в беге на скорость и некоторые пути совершенствования в технике бегунов на короткие дистанции: Дис. ... канд.пед. наук. Л., 1963.
8. Бернштейн Н.А. Исследования по биодинамике локомоции. - М.-Л., 1935.
9. Верхошанский Ю.В. - Теория и практика физической культуры, 1970, № 12, с.8.
10. Гурфинкель В.С., Оганов В.С., Рахманов А.С., Козлова В.Г., Магедов В.С. - В кн.: Тезисы докладов 2-й Всесоюзной конференции по проблемам биомеханики, 1979, с.181-183.
11. Зацюрский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика двигательного аппарата человека. - М.: ФИС, 1981.
12. Зацюрский В.М. и др. Биомеханические основа выносливости. - М.: ФИС, 1982.
13. Зимкин Н.В., Коробков А.В., Лехман Я.Б., Эголинский Я.А., Яроцкий А.И. Физиологические основы физической культуры и спорта. - М.: ФИС, 1955.
14. Козлов И.М. Биомеханические факторы организации движений у человека: Автореф. докт.дис. - Л., 1984.
15. Райцин Л.М. Влияние положения тела на проявление и тренировку силовых качеств: Автореф. канд.дис. - М., 1972.
16. Ратов И.П. Исследование спортивных движений и возможностей управления изменением их характеристик с использованием технических средств: Автореф. докт.дис. - М., 1972.

17. Тюпа В.В. и др. - В кн.: Биомеханические основы технического мастерства в легкой атлетике. - М.: ГЦОЛИФК, 1980, с.38-44.

18. Тюпа В.В. и др. - В кн.: Биомеханические основы технического мастерства в легкой атлетике. - М.: ГЦОЛИФК, 1980, с.4-28.

19. Тюпа В.В. и др. - Теория и практика физической культуры, 1981, № 4, с.14-16.

20. Тюпа В.В. и др. Биомеханика спринтерского бега. - М.: ГЦОЛИФК, 1981.

21. Тюпа В.В. и др. - Теория и практика физической культуры, 1982, № 2, с.11-14.

22. Тюпа В.В., Травин Ю.Г., Гусейнов Ф.А., Рябинцев Ф.П. Теория и практика физической культуры, 1982, № 4, с.20-23.

23. Abbott B.C., Aubert X.M. - Proc. Roy. Soc., 1951, B, V.139, 104-117.
24. Abbott B.C., Aubart X.M. - J. Physiol., 1952, V.117, 77-86.
25. Abbott B.C., Aubert X.M., Hill A.V. - Proc. Roy. Soc., 1951, B, V. 139, 86-104.
26. Abbott B.C., Bigland B. - J. Physiol., 1952, V.117, N 3, pp. 17-18.
27. Abbott B.C., Bigland B. - J. Physiol., 1953, V.120, 319-325.
28. Abbott B.C., Bigland B., Ritchie I.M. - J. Physiol., 1952, V.117, 380-390.
29. Abbott B.C., Lowy I. - Proc. Roy. Soc., 1956, B, V.146, 281-288.
30. Abreham W.M. - Mad. Sci Sports, 1977, V.9, 11-20.
31. Abramson E. - Arbeitsphysiol., 1928; 29, V.1, 480-502.
32. Alexander R. McN, Vernon A. - J.Zool. (Lond.), 1975, V.177, 265-303.
33. D'Angelo E., Torelli G. - J.Appl. Physiol., 1971, V.30, 116-121.
34. Arcan M., Brull M.A., Scholten R., Rohrle H. - S.African Mech. Eng., 1978, V.28, 231-237.
35. Armstrong B.W., Holcombe H.H., Workman J.M. - Am. J. Physiol., 1966, V.211, N 5, 1264-1268.
36. Ashton T.E., Singh M. - Res. Q., 1975, V.46, N 3, 282-286.
37. Asmussen E. - Acta Physiol. Scand., 1953, V.28, N 4, 364-382.
38. Asmussen E. In: Ergonomics Society Symposium on Fatigue (eds. W.F.Floyd and A.T.Welford). London: Levis, 1953, 77-83.
39. Asmuseen E. - Acta Rheum Scand., 1956, V.2, 109-116.
40. Asmuseen E. - Circulat. Res. Suppl., 1967, V.20, 132-145.

41. Asmussen E., Bonde-Petersen F. - Acta Physiol.Scand., 1974, V.91, 385-392.
42. Asmussen E., Bonde-Petersen F. - Acta Physiol. Scand., 1974, V.92, 537-545.
43. Asmussen E., Bonde-Petersen F., Jørgensen K. - Acta Physiol. Scand., 1976, V.96, 83-93.
44. Asmussen E., Hansen O., Lammert O. - Communications from the testing and observation institute of Danish National Association for Infantile Paralysis, 1965, N 20.
45. Asmussen E., Sorensen. - Trav.Hum., 1971, t.34, N 1, 147-156.
46. van Atteveldt H., Crowe A. - J.Biomech., 1980, V.13, 323-331.
47. Aubert X, Marechal G. - J. Physiol. (Paris), 1963, V.55, 186-187.
48. Aubert X., Roquet M.L., Van der Elst I. - Arch Internationales de Physiol., 1951, V.LIX, Fasc. 2, 239-241.
49. Bahler A.S. - Am. J. Physiol., 1967, V.213, N 6, 1560-1564.
50. Benedict F.G., Parmenter H.S. - Am. J.Physiol., 1928, V.84, 675-698.
51. Banerjee S., Barua A., Choeh A. - J. Appl. Physiol., 1961, V.16, 164-166.
52. Banerjee S., Sen R.N., Acharya K.N. - J. Appl. Physiol., 1959, V.14, 625-628.
53. Bergel D.H., Brown M.C., Butler R.G., Zacks R.M. - J. Physiol., 1972, V.225, 21-22 pp.
54. Baemajian J.V. Muscles Alive their functions revealed by electromyography. Baltimore, 1962, p.221.
55. Bethe A. - Pflugers Archiv f.d. des Physiol., 1929. Bd.222, 334-349.

56. Bigland B., Lippold O.C.J. - J. Physiol., 1954, V.123, 214-224.
57. Bigland-Ritchie B., Graichen H., Woods J.J. - J. Appl. Physiol., 1973, V.35, N 5, 739-740.
58. Bigland-Ritchie B., Woods J.J. - J. Physiol., 1976, V.260, N 2, 267-277.
59. Bober T., Jaekolski E., Nowacki Z. - J. Biomech., 1980, V.13, 135-138.
60. Bonde-Petersen F. - Acta Physiol. Scand., 1960, V.48, 406-416.
61. Bonde-Petersen F. - Int. Z. angew. Physiol., 1969, V.27, 133-137.
62. Bonde-Petersen F., Henriksson J., Knuttgen H.G. - Acta Physiol. Scand., 1973, V.88, 564-570.
63. Bonde-Petersen F., Knuttgen H.G., Henriksaon J. - J. Appl. Physiol., 1972, V.33, 792-795.
64. Bonde-Petersen F., Nielsen B., Nielsen S.L., Vanggard L. - Acta Physiol. Scand., 1970, V.79, 10A.
65. Boaco C. - Studias in sport, physical education and health, 1982, V.15, 1-64.
66. Bosco C., Komi P.V. - Eur. J. Appl. Physiol., 1979, V.41, 275-284.
67. Boaco C., Komi P.V. - Acta Physiol Scand., 1979, V.106, 467-472.
68. Boaco C., Komi P.V. - Eur. J. Appl. Physiol., 1980, V.45, 209-219.
69. Bosco C., Komi P.V., Ito A. - Acta Physiol. Scand., 1981, V.111, 135-140.
70. Boeco C., Pittera C. - Leistungsaport, 1982, v.12, 36-39.

71. Cappelzozzo A., Figura F., Leo T., Marchetti M. - In: Biomechanics VI-A (Eds. by E.Asmussen, K.Jorgensen). University Park Press, Baltimore, 1978, 272-279.
72. Carlson F.D., Wilkie D.R. Muscle physiology. Englewood, Prentice Hall, 1974.
73. Cavagna G.A. - J. Physiol., 1970, V.206, 257-262.
74. Cavagna G.A., Citterio G. - J. Physiol., 1974, V.239, 1-14.
75. Cavagna G.A., Citterio G., Jacini P. - J. Physiol., 1975, V.251, pp.65-66.
76. Cavagna G.A., Dusman B., Margaria R. - J. Appl. Physiol., 1968, V.24, 21-32.
77. Cavagna G.A., Heglund N.C., Taylor C.R. - Am. J. Physiol., 1977, V.233, N 5, R243-R261.
78. Cavagna G.A., Kaneko M. - J. Physiol, 1977, V.268, 467-481.
79. Cavagna G.A., Komarek L., Mazzolani S. - J. Physiol., 1971, V.217, 709-721.
80. Cavagna G.A., Margaria R. - J. Appl. Physiol., 1966, V.21, 271-278.
81. Cavagna G.A., Saibens F.P., Margaria R. - J. Appl. Physiol., 1963, V.18, 1-9.
82. Cavagna G.A., Saibene F.P., Margaria R. - J. Appl. Physiol., 1964, V.19, 249-256.
83. Cavagna G.A., Saibene F.P., Margaria R. - J. Appl. Physiol., 1965, V.20, 157-158.
84. Cavagna G.A., Thys H., Zamboni G. - J. Physiol., 1976, V.262, 639-657.
85. Cavenagh P.R., Komi P.V. - Eur. J. Appl. Physiol., 1979, V.42, 159-163.

86. Chao E.Y., An K.W. - J. Eng. Mech. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng., 1978, V.104, 255-272.
87. Chauveau M.A. - Compt. Rend. des seances de l'acad. des Sciences, 1896, t.122, 58-64.
88. Chauveau M.A. - Compt. Rend. des seances de l'acad. des Sciences, 1896, t.122, 113-120.
89. Chauveau M.A. L'energie dépensée par le travail interieur des muscles dans leurs divers modes de contraction. Gauthier-Villars édit, Paris, 1904, V.1, 52 p.
90. Chauveau M.A. - Compt. Rend. des seances de l'acad. des Sciences, 1901, t.132, 194-201.
91. Close R.I. - Physiol. Rev., 1972, V.3, 129-197.
92. Chockaert J.C. - Eur. J. Appl. Physiol., 1978, V.39, 181-189.
93. Curtin N.A., Davies R.E. - Cold Spring Harb. Symp. quant. Biol., 1972, V.37, 619-626.
94. Curtin N.A., Davies R.E. - J. Mechanochem. Cell Motility, 1975, V.3, 147-154.
95. Curtin N.A., Woledge R.C. - J. Physiol., 1979, V.297, 539-550.
96. Davies C.T.M. - J. Appl. Physiol., 1980, V.48, N 4, 702-709.
97. Davies C.T.M., Barnee C. - Ergonomica, 1972, V.15, 3-14.
98. Davies C.T., Barnee C. - Ergonomica, 1972, V.15, 121-131.
99. Davies C.T.M., Sargeant A.J., Smith B. - Eur. J. Appl. Physiol., 1974, V.32, N 3, 187-194.
100. Davies C.T.M., Whits M.J. - Pflugers Arch., 1981, V.392, 168-171.
101. Dietz V., Schmidtbleicher D., Noth J. - J. Neurophysiol., 1979, V.49, 1212-1222.
102. Does W.S., Karpovich P.V. - J. Appl. Physiol., 1965, V.20, 351-353.

103. Edman K.A.P., Elzinga G., Noble M.I.M. - J. Physiol., 1976, V.258, 95p-96p.
104. Edman K.A.P., Elzinga G., Noble M.I.M. - J. Physiol., 1978, V.280, 35p-36p.
105. Edman K.A.P., Elzinga G., Noble M.I.M. - J. Physiol., 1978, V.281, 139-155.
106. Elftman H. - Am. J. Physiol., 1939, V.125, 339-356.
107. Elftman H. - Biol. Symp., 1941, V.3, 191-209.
108. Eloranta V., Komi P.V. - Electromyogr. and Clin. Neurophysiol., 1980, V.20, 159-174.
109. Fenn W.O. - J. Physiol., 1923, V.58, 175-203.
110. Fenn W.O. - J. Physiol., 1924, V.58, 373-395.
111. Flitney F.W., Hirst D.G. - J. Physiol., 1975, V.251, 66p-68p.
112. Ford L.E., Huxley A.F., Simmone R.M. - J. Physiol., 1974, V.240, 42p-43p.
113. Fowler W.S., Crowe A. - Am. J. Physiol., 1976, N 5, 1349-1355.
114. Friden J. - Int. J. Sport. Med., 1984, V.5, 57-66.
115. Frigo C., Pedotti A. - In: Biomechanics VI-A (Eds. by E.Aamuseen, K.Jørgensen) University Park Press, Baltimore, 1978, 355-360.
116. Frigo C., Pedotti G.C. - In: Proc. Int. Cong. of Sport Sciences, Edmonton, 1978.
117. Fukunaga T., Matsuo A. - Ergonomics, 1981, V.24, 765-772.
118. Gaesser G.A., Brooke G.A. - J. Appl. Physiol., 1975, V.38, 1132-1139.
119. Gillis J.M., Maréchal G. - J. Mechanochem. Cell Motility, 1974, V.3, 55-68.
120. Coldman Y.E., Simmons R.M. - J. Physiol., 1977, V.269, 55p-57 p.
121. Gollhofer A., Schidtbleicher D., Dietz V. - Int. J. Sports Med., 1984, V.5, 19-22.

122. Goslow G.E., Reinking R.M., Stuart D.G. - *J. Morphol.*, 1973, V.141, 1-42.
123. Goubal F. - *J. Physiol. (Paris)*, 1978, V.74, 609-614.
124. Grieve D.W., Pheasant S., Cavanagh P.R. - In: *Biomchanice VI-A* (Eds. by E. Asmussen, K. Jorgensen). University Park Press, Baltimore, 1978, 405-412.
125. Growninshield R.D., Johnston R.C., Andrew J.G., Brand R.A. - *J. Biomech.*, 1978, V.11, 75-85.
126. Harrington I.J. - *Biomed. Engl.*, 1976, V.5, 167-172.
127. Heckkathorne G.W., Childress D.I. - *Am. J. Phys. Med.*, 1981, V.60, 1-19.
128. Henriksson J., Knuttgen H.G., Bonde-Petersen F. - *Ergonomics*, 1972, V.15, 537-544.
129. Heaser G.M., Linnareson D., Bjuretedt H. - *Respir. Physiol.*, 1977, v.30, 51-67.
130. Hill A.V. - *Proc. Roy. Soc.*, 1938, B, V.126, 136-195.
131. Hill A.V. - *Proc. Roy. Soc.*, 1950, B, V.137, 273-280.
132. Hill A.V. - *Lancet*, 1951, V.2, 947-951.
133. Hill A.V. - *The Time Review of the progress of Science*, 1951, V.1, N 1, 13.
134. Hill A.V. - *Science*, 1960, V.131, 897-903.
135. Hill A.V. *Traile and Trials in Physiology*. London: E. Arnold, 1965.
136. Hill A.V., Howarth J.V. - *Proc. Roy. Soc.*, 1959, B, V.151, 169-193.
137. Hill L. - *J. Physiol.*, 1977, V.266, 677-685.
138. Hoehmuth G. In: *Biomchanica I. 1st Int. Seminar, Zurich*, 1967, Karger, Basel/New York, 1968, 155-160.
139. Hof A.L., Geelen B.A., Van den Berg J.W. - *J. Biomech.*, 1983, V.16, 523-537.

140. Hoffer J.A., Andreassen A. - J. Neurophysiol., 1981, V.45, 267-285.
141. Hollmann V.W., Hettinger T.H. - Sportarzt und Sportmedizin, 1969, V.20, 344-348.
142. Homsher E., Kean C.J. - Ann. Rev. Physiol., 1978, V.40, 93-131.
143. Hulsbosch M.A.M., Binkhorst R.A., Foldersing H.T. - Eur. J. Appl. Physiol., 1981, V.47, 77-81.
144. Huxley A.F. - J. Physiol., 1974, V.243, 1-43.
145. Huxley A.F., Simmons R.M. - J. Physiol., 1971, V.218, pp59-69.
146. Infante A.A., Klaupiks D., Davies R.E. - Science, 1964, V.144, N 3626, 1577-1578.
147. Jewell B.R., Wilkie D.R. - J. Physiol., 1958, V.143, 515-540.
148. Johanson J. - Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz), 1901, V.11, 273.
149. Johnson B.L. - Med. Sci. Sports., 1972, V.4, 111-115.
150. Jones A. - Iron Man, 1973, V.34, 36.
151. Jonss M., Watt D.G.D. - J. Physiol., 1971, V.219, 709-727.
152. Jørgensen K. - In: Biomechanics V-A (Ed. Komi P.V.). University Park Press, Baltimore, London, Tokyo, 1976, 145-151.
153. Jottard M., Flaghki L. - Arch Int. Physiol. Biochim., 1976, V.84, 892-894.
154. Joyce G.C., Rack M.H., Westbury D.R. - J. Physiol., 1969, V.204, 461-474.
155. Kamon E. - J. Appl. Physiol., 1970, V.29, 1-5.
156. Katz B. - J. Physiol., 1939, V.96, 45-64.
157. Klausen K., Knuttgen H.G. - Acta Physiol. Scand., 1971, V.83, 319-323.

158. Komarek L. - *Cs.fysiol.*, 1971, V.20, 483-486.
159. Komi P.V. - In: *Medicine and Sport*, V.8: *Biomechanics III* (Ed. E.Jokl), 224-229 (Karger, Basel, 1973).
160. Komi P.V. - In: *New developments in electromyography and Clinical neurophysiology*, ed. J.E. Desmedt, V.1, 596-606 (Karger, Basel, 1973).
161. Komi P.V., Boaco G. - In: *Biomechanics*, VI-A (Eds. by E.Aamuseen, K.Jørgensen), University Park Press, Baltimore, 1978, 79-85.
162. Komi P.V., Boaco G. - *Med. Sci. Sports*, 1978, V.10, 261-265.
163. Komi P.V., Buskirk E.R. - *Ergonomics*, 1972, V.4, 417-434.
164. Komi P.V., Rusko H. - *Scand. J. Rehab. Med.*, 1974, Suppl.3, 121-126.
165. Komi P.V., Viitasalo J.T. - *Acta Physiol. Scand.*, 1977, V.100, 246-254.
166. Komi P.V., Viitasalo J.T., Vihko V., Rusko H. - *Research report from the department of biology of physical activity. University of Jyväskylä. Finland, N 4, 1974.*
167. Knuttgen H.G., Bonde-Petersen F., Klausen K. - *Med. Sci. Sports*, 1971, V.3, 1-5.
168. Knuttgen H.G., Klausen K. - *J.Appl.Physiol.*, 1971, V.30, 632-635.
169. Knuttgen H.G., Petersen F.B., Klausen K. - *Acta Paediat. Scand.*, 1971, Suppl., V.217, 42-46.
170. Kreszeley W.N. - *J. Am. Phys. Ther. Ass.*, 1963, V.43, 263-264.
171. Lewin A., Wyman J. - *Proc. Roy. Soc.*, 1927, B, V.101, 218-243.

172. Lichtneckert S.J.A., Thomeon D.A., Akesson S.L. - Scand. J. Clin. Lab. Invest., 1969, V.24, 373-375.
173. Lichtneckert S.J.A., Thomson D.A., Colliander Y. - Scand. J. Clin. Lab. Invest., 1971, V.27, 201-205.
174. Lloyd B.B., Zacks. - J. Physiol., 1972, V.223, 355-363.
175. Logan G.A. - M.S. thesis. University of Illinois, 1952 (цит. по Raech P.J., 1974).
176. Luhtanen P. - Studies in sport physical education and health (University of Jyvaskyla, Jyvaskylä), 1980, N 13, 1-58.
177. Luhtanea P., Komi P.V. - Eur. J. Appl. Physiol., 1978, V.38, 41-48.
178. Luhtanen P., Komi P.V. - Eur. J. Appl. Physiol., 1980, V.44, 279-289.
179. Mannheimer J.S. - Physiol. Ther., 1969, V.49, 1201-1207.
180. Marechal G. - Arch. Int. Physiol Biochim., 1964, V.72, 306-309.
181. Marechal G., Le Metabolisme de la Phosphorylcreatine et de l'Adenosine Triphosphate durant la Contraction Musculaire. Brussels: Editions Arsica, 1964, 1-184.
182. Maréchal G., Beckers - Bleux G. - J. Physiol. (Paris), 1965, V.57, 652-653.
183. Marechal G., Mommaerts W.F.H., Serayadarian K. - J. Mechanochem. Cell. Motility, 1974, V.3, 39-54.
184. Margaria R. - Atti Reale Acc. Naz. Lincei, 1938, V.7, 299-368.
185. Margaria R. - Int. Z. Angew. Physiol., 1968, V.25, 339-351.
186. Margaria R. - Biomechanics and energetics of muscular exercise. Clarendon Press Oxford, 1976.

187. Margaria R.G., Cavagua G.A., Saibene F.P. - *Boll. Soc. Ital. Biol. Sper.*, 1963, V.34, 1815-1816.
188. Maxwell J.H., Bloor C.M.- *Enzyme*, 1981, V.26, 171-181.
189. McGlynn G.H., Laughlin N.P., Vivienne B.S. - *Am. J. Phys. Med.*, 1979, V.58, 139-148.
190. McCrorey H.L., Gale H.H., Alpart N.R. - *Am. J. Physiol.*, 1966, V.210, 114-120.
191. Miyamura M., Folgering H.T., Binkhorst R.A., Smoldors F.D.J., Kreuzer F. - *Pflugers Arch.*, 1976, V.364, 7-15.
192. Mohod H., Scharrer J. - In: *Medicine and Sport, Vol.8: Biomechanics III*, Karger, Basel, 1973, 261-267.
193. Moore J.C. - *Arch. Phys. Med. Rehab.*, 1971, V.52, 264-269.
194. Morrison J.B. - *Biomed. Engng.*, 1968, V.4, 164-170.
195. Morrison J.B. - *J. Biomech.*, 1970, V.3, 431-451.
196. Morrison J.B. - *J. Biomech.*, 1970, V.3, 51-61.
197. Müller E.M. - *Arbeitaphysiol.*, 1953, V.15, 196-200.
198. Müller E., Hettinger T. - *Ztschr. Orthop.*, 1952, V.83, 132-137.
199. Muller E., Hettinger T. - *Z. Orthop.*, 1952, V.81, 525.
200. Nadel E.R., Bergh H., Saltin B. - *J. Appl. Physiol.*, 1972, V.33, 553-558.
201. Nagle F.J., Balke B., Naughton J.P.- *J. Appl. Physiol.*, 1965, V.20, 745-748.
202. Newham D.J., Mills K.R., Quigley B.M., Edwards R.H.T. - *Clin. Sci.*, 1983, V.64, 55-62.
203. Nielsen B. - *Acta Physiol. Scand.*, 1966, V.68, 215-227.
204. Nielsen B. - *Acta Physiol. Scand., Suppl.*, 1969, V.323, 1-74.
205. Nielsen B., Nielsen S.L., Bonde-Petersen F. - *Acta Physiol., Scand.*, 1972, V.85, 249-257.

206. Nissan M. - J. Biomech., 1980, 375-381.
207. Nissan M. - Engng. Med., 1981, V.10, 39-43.
208. Norman R.W., Sharratt M.T., Pezzack J.C., Noble E.G. - In: Biomechanics V-B (Ed. P.V.Komi). University Park Press, Baltimore. London. Tokyo, 1975, 87-93.
209. Olson V.L., Smidt G.L., Johnston R.C. - Phys. Ther., 1972, V.52, 149-157.
210. Orsini D., Passmore R. - J. Physiol., 1951, V.115, 95-100.
211. Pahud P., Ravussin E., Acheson K.J., Jequier E. - J. Appl. Physiol., 1980, V.49, 16-21.
212. Pandolf K.B., Kamon E., Noble B.J. - J. Sports Med., 1978, V.18, 227-236.
213. Parmley W.W., Yeatman L.A., Sonnenblick E.H. - Am. J. Physiol., 1970, V.219, 546-550.
214. Pasquier P.E., Monod H. - Trav.Hum., 1966, V.22, 323-328.
215. Passmore R., Durnin J.V.G.A. - Physiol. Rev., 1955, V.35, 801-840.
216. Paul J.P. Biomechanics and related bioengineering topics. Pergamon. Edinburgh, 1965.
217. Pedotti A. - Biol. Cybernetics, 1977, V.26, 53-62.
218. Pedotti A., Krishnan V.V., Stark L. - Math. Biosc., 1978, V.38, 57-76.
219. Pierrynowski M.R., Winter D.A., Norman R.W. - Ergonomics, 1980, V.23, 147-156.
220. Pennycuik C.J. - J. Exptl. Biol., 1964, V.41, 113-118.
221. Quanbury A.O., Winter D.A., Reimer G.D. - J. Hum. Movement Studies, 1975, V.1, 59-69.
222. Rack M.H., Westbury D.R. - J. Physiol., 1974, V.240, 331-350.

223. Ralston H.J., Lukin L. - *Ergonomica*, 1969, V.12, 39-46.
224. Raach P.J. - *Amar. Corr. Ther. J.*, 1974, V.28, 77-78, 90-94.
225. Reilly D.T., Martens M. - *Acta orthop. Scandinav.*, 1972, V.43, 126-137.
226. Richardson M. - *J. Appl. Physiol.*, 1966, V.21, 1078-1082.
227. Robertson G.E., Winter D.E. - *J. Biomech.*, 1980, V.13, 845-854.
228. Rodgers K.L., Berger R.A. - *Med. Sci. Sports.*, 1974, V.6, 253-259.
229. Rohrle H., Scholten R., Sigolotto C., Sollbach W., Kellner H. - *J. Biomech.*, 1984, V.17, 409-424.
230. Saadat M.M. *Disa. Dokt. Maschinenw., Hannover*, 1979, 1-110.
231. Scherrer J., Bourguignon A, marty K. - *J. Physiol.(Paris)*, 1957, v.49, N 1.
232. Schwane J.A., Jobinson S.R., Vandenakker C.B., Armstrong R. B. - *Med. Sci. Sports Exer.*, 1983, V.15, 51-56.
233. Seirec A., Arvikar R.J. - *J. Biomech.*, 1975, V.8, 89-102.
234. Seireg A., Gray W. - *J. Bioeng.*, 1978, V.2, 159-166.
235. Seliger V., Dolejs L., Karas V. - *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1980, V.45, 235-244.
236. Saliger V., Dolejs L., Karas V., Pachlopnikova I. *Int. Z. angew. Physiol.*, 1968, V.26, 227-234.
237. Siefman M.J., Butler T.M., Mooers S., Daviea R.E. - *Science*, 1976, V.191, 383-385.
238. Sing M., Karpovich P.V. - *J. Appl. Physiol.*, 1966, V.21, 1435-1437.
239. Sing M., Karpovich P.V. - *J. Appl. Physiol.*, 1967, V.23, 742-745.

240. Smilss K.A., Robinson L. - J. Appl. Physiol., 1971, V.30, 409-412.
241. Snellen J.W. - Acta Physiol. Pharmacol. Nesrl., 1967, V.14, 363.
242. Sonnenblick E.H. - Am. J. Physiol., 1964, V.207, 1330-1338.
243. Sugi H. - J. Physiol., 1972, V.225, 237-253.
244. Sugi H., Tameyasu T. - Experientia, 1979, V.35, 227-228.
245. Sugi H., Teuchiya T. - J. Physiol., 1979, V.288, 635-648.
246. Talag T.S. - Res. Q., 1973, V.44, 458-469.
247. Tameyasu T., Sugi H. - J. Exp. Biol., 1976, V.64, 497-510.
248. Tameyasu T., Sugi H. - Experientia, 1979, V.35, N 2, 210-211.
249. Thomson D.A. - Scand. J. Clin. Lab. Invsat., 1971, V.27, 193-200.
250. Thys H., Cavagna G.A., Margaris H. - Pflugers Arch., 1975, V. 354, N 3, 281-286.
251. Thys H., Faraggiana T., Margaris R. - J. Appl. Physiol., 1972, V.32, N 4, 491-494.
252. Toft R., Barne N. - J. Biomech., 1980, V.13, 353-360.
253. Viitasalo J.T., Bosco C. - Eur. J. Appl. Physiol., 1982, V.48, 253-261.
254. Walmsley B., Hodgson J.A., Burke R.E. - J. Neurophysiol., 1978, V.41, 1203-1216.
255. Wells J.B. - J. Physiol., 1963, V.178, 252-269.
256. Whipp B.J., Wasserman K. - J. Appl. Physiol., 1969, V.26, 644-648.
257. Whiting W.C., Gregor R.J., Roy R.R., Edgerton V.R. - J. Biomech., 1984, V.17, 685-694.

258. Wilkie D.R. - J. Physiol., 1956. V.134, 527-530.
259. Wilkie D.R. - Prog. Biophys. Chem., 1960, V.10, 259-298.
260. Wilkie D.B. - J. Physiol., 1968, V.195, 157-183.
261. Winter D.A. - Clin. Orthop. Relat. Res., 1983, V.175, 147-154.
262. Winter D.A. - J. Biomech., 1983, V.16, N 1, 91-97.
263. Winter D.A., Quanbury A.O., Reimer G.D. - In: Biomechanics V-A (Ed. P.V.Koni). Baltimore, London, Tokyo, 1975, 334-340.
264. Winter D.A., Quanbury A.O., Reimer G.D. - J. Biomech., 1976, V.9, 253-257.
265. Wood G.A., Marahali R.N., Anglim J., Strause G.R. - In: IV Meeting of the European Society of Biomechanics. Davos, Switzerland. September, 1984, 1-10.
266. Yamazaki H., Ishida H., Kimura T., Okada M. - J. Hum. Evol., 1979, V.8, 337-349.
267. Yousef M.K., Dill D.B., Freeland D.V. - J. Appl. Physiol., 1972, V.33, 337-340.
268. Zacks R.M. - Int. Z. angew. Physiol., 1973, V.31, 249-258.
269. Zarrugh M.Y. - J. Biomech., 1981, V.14, 157-165.

СОДЕРЖАНИЕ

Физиологическая стоимость отрицательной работы	3
1. Тестирующие процедуры с эквивалентным выполнением положительной и отрицательной работы	3
2. Метаболическая энергопродукция	8
3. Регуляция дыхания	23
4. Сердечно-сосудистая система	25
5. Особенности теплопродукции при отрицательной работе	27
6. Субъективная оценка тяжести работы	31
7. Электрическая активность мышц	31
8. Мышечные боли, вызванные эксцентрическими сокра- щениями	32
Литература	35

ФИЗИОЛОГИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Методическая разработка для студентов, аспирантов,
слушателей факультетов усовершенствования, повышения
квалификации и Высшей школы тренеров ГЦОЛИФКа.

Редактор И.Дубнова. Корректор Н.Ушакова.

Подписано к печати 14.10.86. * Объем 2,7 уч.-изд.л.

Тираж 500 экз. Зак. 3498

Издание Редакционно-издательского отдела ГЦОЛИФКа.

Учебно-произв. типография Госкомспорта СССР.

Москва, Мичуринский проспект, 40.