

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРЕНИРОВКИ ПО ЗАМКНУТОМУ ЦИКЛУ МОЩНОСТИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОРГАНИЗМА

Вишневецкий Владимир Антонович

кандидат биологических наук, доцент, Сургутский государственный университет
sakurasurgut@mail.ru

EFFECTIVENESS OF CLOSED-LOOP LOAD LEVEL TRAINING FOR INCREASING OF FUNCTIONAL ABILITIES OF AN ORGANISM

V. Vishnevsky

Summary: The physiological mechanisms and effectiveness of variable cycle ergometer and treadmill closed-loop load level training were studied. It was revealed that, despite the variable nature of the work, in the 2nd and subsequent series of loads a stable standing in terms of the respiratory coefficient occurs at the level of the threshold of anaerobic metabolism with a consistently high oxygen pulse, conditions are created for increasing the oxidative potential due to the connection of fibers of the second type without pronounced accumulation products of glycolysis. The advantage of the experimental group was expressed in minimizing the pulse at 4-9 steps of work, reducing physiological costs (S), reducing the rate of increase in fatigue (α), and improving recovery processes (β).

Keywords: cycle ergometer and treadmill closed-loop load level training, physiological mechanisms, efficiency.

Аннотация: Изучены физиологические механизмы и эффективность переменной велоэргометрической и тред-милл тренировки по замкнутому циклу мощности. Выявлено, что, несмотря на переменный характер работы, во 2-й и последующих сериях нагрузки возникает устойчивое стояние по дыхательному коэффициенту на уровне порога анаэробного обмена со стабильно высоким кислородным пульсом, создаются условия для увеличения окислительного потенциала за счет подключения волокон второго типа без выраженного накопления продуктов гликолиза. Преимущество экспериментальной группы выразилось в минимизации пульса на 4-9 ступеньках работы, уменьшении физиологических затрат (S), уменьшении скорости нарастания утомления (α), улучшении восстановительных процессов (β).

Ключевые слова: велоэргометрическая и тред-милл тренировка по замкнутому циклу мощности, физиологические механизмы, эффективность.

Актуальность

Естественным прообразом тренировки по замкнутому циклу мощности, вероятно, является бег по холмистой местности, получивший широкую популярность благодаря новозеландскому тренеру Артуру Лидьярду [9], подготовившему целую плеяду выдающихся спортсменов. Согласно автору, такая тренировка воспитывает «внутреннюю дисциплину», развивает как красные, так и белые мышечные волокна, способствует увеличению мощности и гибкости голеностопных суставов, обеспечивает прибавку скорости, мощности и мышечной выносливости без чрезмерных психических напряжений. Лидьярд предполагал, что, так как в такой тренировке определить точно скорость невозможно, спортсмен подсознательно будет стремиться к темпу, близкому к устойчивому состоянию на уровне порога анаэробного обмена.

По сути, речь идет о переменном методе тренировки. Так как во время бега в гору может образовываться кислородный долг, это будет способствовать увеличению анаэробной емкости. При беге с горы стимулируются восстановительные (аэробные) процессы [2]. При этом,

несмотря на переменный характер работы, у спортсмена наступает своеобразное устойчивое состояние. При длительности подъема 1-3 минуты, значительного количества метаболитов гликолиза накопиться не успевают, при спуске они утилизируются и энергообеспечение мышечной деятельности в основном осуществляется за счет окислительных процессов. Это позволяет много раз за тренировку повторять подъемы и спуски и увеличивать окислительные возможности некоторой части смешанных волокон [10].

В тренировке квалифицированных спортсменов переменный метод используется на первых этапах годового цикла, а для начинающих он не рекомендуется, хотя серьезного обоснования для этого нет [1]. Существуют разные варианты переменной тренировки, механизмы которых требуют дальнейшего изучения. Удобной моделью для изучения процессов утомления и восстановления в процессе переменной тренировки является работа, выполняемая по замкнутому циклу мощности [3, 4, 5, 6, 7]. Для анализа физиологических сдвигов, возникающих в результате утомления и последующего восстановления строится петля гистерезиса, отражающая зависимость пульса (или какого-то другого физиологи-

ческого показателя), от мощности нагрузки. При этом, угол наклона изоакселерационная нагрузочная фаза характеризует интенсивность нарастания утомления, угол наклона изоакселерационной фазы снижения нагрузки зависит от скорости восстановления метаболических процессов, а площадь петли гистерезиса характеризует внутреннюю работу организма в процессе тренировки. Предметом данного исследования является тренировка в виде 3-х серий работы на велоэргометре или тредмилле по замкнутому циклу мощности.

Организация и методы исследования

На первом этапе в исследовании приняли участие 20 студентов укрупненного направления "Физическая культура", которые выполняли 3-х серийную работу на велоэргометре по замкнутому циклу мощности в течение 27 минут. Каждая серия включала 9 ступенек по 1 минуте с шагом 15 Вт сначала повышающейся, а затем понижающейся мощности. Исходная мощность подбиралась с учетом массы тела по таблице В.Л. Карпмана [8]. Для измерения респираторных и метаболических показателей во время тренировки применялась мобильная система "COSMEDK5". В процессе компьютерного анализа физиологических сдвигов строилась петля гистерезиса, отражающая зависимость показателей от мощности нагрузки. При этом, оценивались углы наклона изоакселерационной нагрузочной фазы (α), фазы снижения нагрузки (β) и площадь петли гистерезиса (S) [3, 4, 5].

Для проверки специфичности наблюдаемых изменений было проведено исследование скандинавской ходьбы на тредмилле, в котором приняли участия 37 студентов. Ходьба выполнялась по замкнутому циклу мощности и состояла из 3-х серий по 9 минут каждая. Мощность нагрузки регулировалась путем изменения скорости и угла подъема. Мощность 1-й ступеньки нагрузки подбиралась по пороговому пульсу, ниже которого тренировочный эффект не возникает (220 - возраст - ЧСС покоя).

Для оценки эффективности предлагаемого варианта тренировки был проведен педагогический эксперимент, в котором участвовали 28 студентов основной медицинской группы. Экспериментальная группа три раза в неделю выполняла тренировку в виде 3-х серий циклической работы на велоэргометре по замкнутому циклу мощности. Контрольная группа также занималась три раза в неделю по 27 минут с использованием равномерной и интервальной тренировки. Педагогический эксперимент продолжался 7 недель.

Результаты исследования

Основные параметры петли гистерезиса по частоте сердечных сокращений (ЧСС) в велоэргометрической

тренировке по замкнутому циклу мощности представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры петли гистерезиса по ЧСС в велоэргометрической тренировке по замкнутому циклу мощности.

Показатель M±σ, n = 20	Первая серия	Вторая серия	Третья серия
α	0,443±0,080	0,293±0,071*	0,275±0,073#
β	0,150±0,111	0,197±0,087	0,212±0,087#
S	793±385	406±124*	281±135*#

* - изменения достоверны по сравнению с предыдущей серией при $p < 0,05$

- изменения достоверны между 1-й и 3-й сериями при $p < 0,05$

Ее анализ свидетельствует, что угол наклона изоакселерационной нагрузочной фазы (α) достоверно снижается уже ко второй серии, отражая меньшую скорость нарастания утомления, а затем сохраняет наметившуюся тенденцию. Позитивные достоверные изменения изоакселерационной фазы снижения нагрузки (β), отражающие эффективность восстановительных метаболических процессов, проявляются к 3-й серии. Наиболее разительно меняется площадь петли гистерезиса (S), отражая снижения физиологических затрат на нагрузку и нарастание процессов экономизации.

Ключ к пониманию происходящих изменений дает анализ динамики кардиореспираторных показателей организма в процессе выполнения тренировки. Важнейшим с точки зрения управления нагрузкой в процессе тренировки является дыхательный коэффициент (RQ, VCO_2/VO_2), который при значениях 0,95 - 1,15 характеризует наступление порога анаэробного обмена [10]. Его динамику отражает таблица 2.

Таблица 2.

Динамика дыхательного коэффициента (RQ) в процессе 3-х серийной велотренировки по замкнутому циклу мощности (n=20).

Показатель M±σ	RQ 1-я серия	RQ 2-я серия	RQ 3-я серия
1-я ступенька	0,913±0,075	1,024±0,061	1,000±0,054
2-я ступенька	0,883±0,068	1,004±0,062	0,987±0,059
3-я ступенька	0,816±0,052	0,979±0,059	0,966±0,050
4-я ступенька	0,911±0,074	0,962±0,055	0,962±0,068
5-я ступенька	0,963±0,076	0,968±0,054	0,964±0,071
6-я ступенька	0,999±0,067	0,998±0,073	0,976±0,068
7-я ступенька	1,020±0,067	1,019±0,078	0,992±0,070
8-я ступенька	1,039±0,079	1,028±0,073	1,003±0,067
9-я ступенька	1,031±0,065	1,013±0,068	0,998±0,072

Этот вегетативный показатель обладает большой инертностью, поэтому его пик мы наблюдаем только к концу первой серии на 8-й ступеньке работы. Причем, величина RQ находится как раз в зоне порога анаэробного обмена. При этом она положительно коррелирует с вентиляционным эквивалентом по кислороду ($r = 0,564$, $p < 0,01$), частотой сердечных сокращений ($r = 0,667$, $p < 0,01$) и содержанием кислорода в выдыхаемом воздухе ($r = 0,490$, $p < 0,01$).

Эта инертность сохраняется и в последующих сериях, поэтому его увеличение наблюдается на этапах снижения мощности нагрузки. Следует также отметить, очень узкий диапазон колебаний дыхательного коэффициента во 2-й и 3-й сериях, т.е., несмотря на переменный характер работы, возникает устойчивое состояние практически на уровне порога анаэробного обмена. При этом сохраняется и прежний характер корреляционных связей: на 8-й ступеньке 2-й серии - с вентиляционным эквивалентом по кислороду ($r = 0,533$, $p < 0,01$) и частотой сердечных сокращений ($r = 0,484$, $p < 0,01$); на 8-й ступеньке 3-й серии – с вентиляционным эквивалентом по кислороду ($r = 0,603$, $p < 0,01$), частотой сердечных сокращений ($r = 0,500$, $p < 0,01$) и содержанием кислорода в выдыхаемом воздухе ($r = 0,544$, $p < 0,01$). Обращает на себя внимание тот факт, что прогрессирующего закисления организма в процессе работы не происходит, так как с каждой последующей серией уровень RQ приобретает тенденцию к снижению.

Особую роль в оценке характера перестроек кардиореспираторной системы имеют качественные показатели ее функций. Одним из таких показателей является кислородный пульс (VO₂/HR, таблица 3). Его динамика очень близка к динамике потребления кислорода. Наибольший прирост показателя, как в интервальной тренировке, наблюдается на этапах снижения мощности нагрузки.

Таблица 3.

Динамика кислородного пульса (VO₂/HR) в процессе 3-х серийной велотренировки по замкнутому циклу мощности (n=20).

Показатель M±σ Ступенька	VO ₂ /HR mL/beat 1-я серия	VO ₂ /HR mL/beat 2-я серия	VO ₂ /HR mL/beat 3-я серия
1-я ступенька	3,41±1,43	10,26±2,99	9,61±2,51
2-я ступенька	4,88±1,67	9,54±2,67	9,18±2,56
3-я ступенька	8,67±2,84	9,32±2,71	9,35±3,68
4-я ступенька	9,74±2,79	9,47±2,66	9,26±2,38
5-я ступенька	9,97±2,96	9,92±2,68	9,88±2,89
6-я ступенька	10,38±3,03	10,48±2,67	10,31±2,58
7-я ступенька	10,74±3,04	10,56±3,08	10,79±2,95
8-я ступенька	10,84±2,94	10,31±2,50	10,39±2,65
9-я ступенька	10,44±2,84	10,05±2,34	9,96±2,59

Для нас же принципиально важным является тот факт, что во 2-й и 3-й сериях он находится на стабильно высоком уровне, а, значит, никакого снижения сократительной способности сердца не происходит. Это подтверждает и характер корреляционных связей. Так, на 8-й ступеньке 1-й серии, когда VO₂/HR достигает максимума, он обнаруживает очень высокие связи с дыхательным объемом ($r = 0,836$, $p < 0,01$) и потреблением кислорода ($r = 0,907$, $p < 0,01$), при этом связи с пульсом – недостоверные. Столь же высокими остаются связи и конце второй ($r = 0,772$, $p < 0,01$ и $r = 0,691$, $p < 0,01$) и конце третьей ($r = 0,880$, $p < 0,01$ и $r = 0,879$, $p < 0,01$) серий.

Таким образом, в предлагаемом варианте тренировки создаются условия для улучшения окислительных возможностей как за счет увеличения плотности митохондрий, так и за счет увеличения систолического объема крови. Кроме того, на вершине нагрузки такая тренировка позволяет вовлечь в работу часть мышечных волокон 2-го типа (подтип окислительно-гликолитический). При этом, последующее снижение мощности в каждой серии обеспечивает недопущение прогрессирующего накопления продуктов промежуточного обмена гликолиза.

Имело ли смысл увеличивать количество тренировочных серий? На наш взгляд, в данном случае, нет. Об этом свидетельствует динамика еще одного качественного показателя деятельности кардиореспираторной системы – вентиляционного эквивалента по кислороду (VE/VO₂). Его динамика очень близка к динамике дыхательного коэффициента (чем эффективнее VE/VO₂, тем меньше закисление организма (RQ)). В этом отношении, качество вентиляции несколько улучшается от 1-й к 3-й ступеньки первой серии. Затем, по мере накопления кислородного долга, когда аэробные процессы еще до конца не развернулись, идет ее некоторое ухудшение и возвращение к исходному уровню к концу 1-й серии. В дальнейшем вентиляционный эквивалент по кислороду поддерживается на достаточно стабильном уровне, но имеет общую тенденцию некоторого ухудшения от 1-й к 3-й серии, на фоне тенденции снижения дыхательного коэффициента. Причиной этого может быть как необходимость удаления неметаболического углекислого газа, образовавшегося в результате работы бикарбонатной и фосфатной буферных систем, белков сывортки и гемоглобина крови, который стимулирует дыхательный центр, так и утомление дыхательных мышц, имеющих низкий коэффициент полезного действия. Об этом свидетельствует характер корреляционных связей VE/VO₂ к концу 3-й серии: частота дыхания ($r = 0,770$, $p < 0,01$); дыхательный коэффициент ($r = 0,603$, $p < 0,01$); вентиляционный эквивалент по углекислому газу ($r = 0,878$, $p < 0,01$); содержание кислорода ($r = 0,984$, $p < 0,01$) и углекислого газа ($r = -0,865$, $p < 0,01$) в выдыхаемом воздухе; частота сердечных сокращений ($r = 0,704$, $p < 0,01$). С дыхательным объемом связи недостоверные.

Для проверки специфичности наблюдаемых изменений было проведено аналогичное исследование со скандинавской ходьбой на тредбане, в котором приняли участия 37 студентов (таблица 4).

Таблица 4.

Основные параметры петли гистерезиса по ЧСС при скандинавской ходьбе по замкнутому циклу мощности на тред-милле.

Показатель M±σ, n = 37	1 серия	2 серия	3 серия
Угол нагрузочной фазы (∠α)	0,885±0,136	0,799±0,159*	0,832±0,143
Угол фазы снижения нагрузки (∠β)	0,710±0,162	0,749±0,192	0,784±0,153#
Площадь петли гистерезиса (S)	233±130	168±98*	143±91#
ЧСС на 1-й ступеньке	116±8	122±10*	124±10
ЧСС на 2-й ступеньке	120±8	126±10*	128±10
ЧСС на 3-й ступеньке	129±9	132±10	134±10#
ЧСС на 4-й ступеньке	140±11	142±11	144±11
ЧСС на 5-й ступеньке	152±11	154±12	155±12
ЧСС на 6-й ступеньке	149±13	151±14	152±13
ЧСС на 7-й ступеньке	141±14	143±14	144±14
ЧСС на 8-й ступеньке	133±13	134±12	135±13
ЧСС на 9-й ступеньке	125±11	125±11	126±11

* – изменения достоверны по сравнению с предыдущей серией при $p < 0,05$

– изменения достоверны между 1-й и 3-й сериями при $p < 0,05$

Они свидетельствуют, что динамика основных параметров петли гистерезиса при скандинавской ходьбе очень похожа на аналогичную динамику при велоэргометрии. Угол нагрузочной фазы достоверно уменьшается ко 2-й серии работы, отражая меньшую интенсивность нарастания утомления, а затем достоверно не меняется. Угол фазы снижения нагрузки ко 2-й серии приобретает тенденцию к увеличению, а к 3-й достигает достоверных различий, по сравнению с первой, отражая более высокую скорость восстановления организма. Площадь петли гистерезиса, отражающая общие физиологические затраты организма и экономичность физиологических процессов также достоверно меняется в позитивном направлении.

О том, что при скандинавской ходьбе по замкнутому циклу мощности также устанавливается истинное устойчивое состояние с особой очевидностью подтверждает динамика частоты сердечных сокращений на стандартных ступеньках мощности. Так, на 1-й и 2-й ступеньке пульс достоверно увеличивается уже ко 2-й серии. На

3-й ступеньке достоверные различия обнаруживаются только к 3-й серии, а с 4-й по 9-ю ступеньку достоверных различий между сериями не наблюдается. В конечном итоге, если в первой серии разница по пульсу между 1-й и 9-й ступеньками работы составила 9 уд/мин, то ко второй серии она сократилась до 3 уд/мин, а к третьей - до 2 уд/мин. В конечном итоге, разница между сериями по пульсу на вершине нагрузки (5-я ступенька работы) составила всего 152 - 155 уд/мин, что оптимально как для развития аэробных возможностей, так и для увеличения сократительной способности сердца. Разница по пульсу к концу серий (9-я ступенька работы) составила всего 125-126 уд/мин, что характеризует хороший уровень восстановления и отсутствие прогрессирующего накопления кислородного долга.

Результаты педагогического эксперимента по оценке эффективности 3-х серийной тренировки по замкнутому циклу мощности отражает таблица 5, в которой представлены достоверно изменившиеся показатели.

Результаты, представленные в таблице, свидетельствуют о несомненном преимуществе экспериментальной группы. В первой серии тренировки по замкнутому циклу мощности оно выразилось в минимизации пульса на 4-9 ступеньках работы, уменьшении физиологических затрат на серию в целом (S) и уменьшении скорости нарастания утомления (α). Это отражает адаптационные перестройки, направленные на экономизацию функций и меньшее подключение к энергообеспечению анаэробных процессов. Во второй и третьей сериях пробы преимущество экспериментальной группы в основном связано с улучшением восстановительных процессов, что подтверждает ЧСС на последних ступеньках серий и увеличение угла наклона изоакселерационной фазы снижения нагрузки (β).

Заключение

На наш взгляд, преимущество экспериментальной группы обусловлено несколькими обстоятельствами:

Во-первых, тренировочная нагрузка в экспериментальной группе носила специфический характер с использованием тех же мышечных групп, что и при выполнении стандартной функциональной пробы для оценки эффективности эксперимента.

Во-вторых, при такой тренировке к концу первой и, особенно, во второй и третьей сериях, наступает устойчивое состояние на уровне порога анаэробного обмена – наиболее эффективного уровня нагрузки для развития аэробных возможностей. При этом отсутствует закисление, так как интенсивность находится в 1-й и 2-й аэробной зоне (70 - 85% от ЧСС максимальной).

В-третьих, оптимальность пульсовой зоны (120 - 150

Таблица 5.

Результаты оценки эффективности тренировки по замкнутому циклу мощности.

Показатели	До эксперимента		После эксперимента	
	Контроль n = 16	Эксперимент n = 12	Контроль n = 16	Эксперимент n = 12
ЧСС 4-я ступенька 1-й серии, уд/мин	142±11	139±14	137±11	128±11*
ЧСС 5-я ступенька 1-й серии, уд/мин	149±12	148±14	143±10	134±11*
ЧСС 6-я ступенька 1-й серии, уд/мин	150±13	149±15	143±12	133±12*
ЧСС 7-я ступенька 1-й серии, уд/мин	147±14	148±16	141±12	130±11*
ЧСС 8-я ступенька 1-й серии, уд/мин	143±13	146±16	136±12	126±11*
ЧСС 9-я ступенька 1-й серии, уд/мин	139±14	141±15	132±12	121±11*
Угол α петли гистерезиса 1-й серии, рад	0,510±0,139	0,471±0,087	0,474±0,121	0,374±0,116*
Площадь петли гистерезиса 1-й серии, у.ед.	805±402	958±380	716±298	464±265*
ЧСС 9-я ступенька 2-й серии, уд/мин	141±9	146±18	138±9	127±16*
Угол β петли гистерезиса 2-й серии, рад	0,192±0,056	0,202±0,101	0,175±0,067	0,271±0,079*
ЧСС 9-я ступенька 3-й серии, уд/мин	144±11	145±16	136±10	126±12*
Угол β петли гистерезиса 3-й серии, рад	0,176±0,121	0,228±0,083	0,232±0,055	0,311±0,095*

* – изменения достоверны по сравнению с контрольной группой при $p < 0,05$.

уд/мин) для тренировки сердечной мышцы и систолического объема крови. При этом, на вершине нагрузок, и особенно в фазу ее снижения, возникает эффект интервальной тренировки в виде нагрузки сердца объемом и увеличении систолического выброса за счет повышения сократительной способности миокарда.

В-четвертых, переменный характер работы способствует увеличению окислительного потенциала за счет

подключения на вершине нагрузки окислительно-гликолитических волокон без чрезмерного закисления продуктами гликолиза в связи с наличием в каждой серии фазы снижения нагрузки.

Наконец, наличие компьютерного анализа параметров петли гистерезиса позволяет использовать работу по замкнутому циклу мощности одновременно для целей диагностики, развития и мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

- Алимбоева Р.Д. Спорт для повышения производительности труда// Проблемы науки №3 (51), 2020 – 29 с.
- Бизин В.П., Гуменный В.С. Физическая подготовка студентов первого курса политехнических вузов// Физическое воспитание студентов творческих специальностей/ ХГ АДИ (ХХПИ). – Харьков, 2003. - № 2. – с. 85-93
- Вишневский В.А. К проблеме прогностических возможностей пробы с циклической работой, выполняемой по замкнутому циклу мощности / В.А. Вишневский // Теория и практика физической культуры. – 2017. - № 11. – С. 83-85.
- Вишневский В.А. Прогностические возможности пробы, связанной с циклической работой по замкнутому циклу мощности / В.А. Вишневский, В.В. Апокин, Т.Е. Гафиятуллин // Теория и практика физической культуры. – 2019. - № 9. – С. 90-92.
- Вишневский В.А. Сравнительный анализ проб с циклической работой, выполняемой по замкнутому циклу мощности, и «до отказа»/ В.А. Вишневский, В.В. Апоки, В.А. Григорьев// Югра научно-спортивная. – 2020. - №5. – 89.
- Давиденко В.И. Проблема резервов адаптации организма спортсменов/ Давиденко В.И. Мозжухин А.С., Телегин В.В.// Ученые записки. – 1982. - №18. – С. – 1-3.
- Давиденко Д.Н. Методика оценки мобилизации функциональных резервов организма по его реакции на дозированную нагрузку / Д.Н. Давиденко, Г.В. Руденко, В.А. Чистяков // Учебные записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2010. – Вып. №12 (70). – С. 52-57.
- Карпман В.Л. Тестирование в спортивной медицине / В.Л. Карпман, З.Б. Белоцерковский, И.А. Гудков. – М.: Физкультура и спорт, 1988. – С. 21-46.
- Лидьярд А., Гилмор Г. Бег с Лидьярдом. — М.: Физкультура и спорт, 1987. – 163 с.
- Попов Д.В., Грушин А.А., Виноградова О.Л. Физиологические основы оценки аэробных возможностей и подбора тренировочных нагрузок в лыжном спорте и биатлоне / Д.В. Попов, А.А. Грушин, О.Л. Виноградова. – М.: Советский спорт, 2014. – 78 с.

© Вишневский Владимир Антонович (sakurasurgut@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»