

48.303  
4-464

605  
12/V.701

АКАДЕМИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ НОРМАЛЬНОЙ И ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ФИЗИОЛОГИИ

*Трусы*  
*Дизе*

На правах рукописи

В. Н. ЧЕРЕМИСИНОВ

# КИСЛОРОДНЫЙ ДОЛГ ПРИ НАПРЯЖЕННОЙ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

специальность — физиология человека и животных (102)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Москва — 1970

111  
211

Работа выполнена на кафедре биохимии (зав. кафедрой профессор П. С. Васильев) Государственного центрального ордена Ленина института физической культуры (ректор доцент И. И. Никифоров).

Научные руководители:

доктор химических наук, профессор П. С. Васильев,  
кандидат биологических наук, доцент Н. И. Волков.

Официальные оппоненты:

доктор медицинских наук В. Б. Малкин,  
профессор, доктор биологических наук В. С. Фарфель.

Защита диссертации состоится « 28 » V 1970 г.  
в Институте нормальной и патологической физиологии АМН СССР  
(Москва, Балтийская ул., дом № 8).

Автореферат разослан « 28 » V 1970 г.

Проблема кислородного долга является одной из наиболее актуальных и сложных проблем современной физиологии и биохимии. Образование кислородного долга включает в себя множество механизмов, локализирующих свое действие как на клеточном, так и на организменном уровне (Тейлор Х., 1961; Консолацио С. с колл., 1963). Являясь мерой участия процессов анаэробного преобразования энергии в энергетическом обеспечении жизненных функций организма, кислородный долг дает интегрированную оценку функционального состояния организма и степени физиологического воздействия (Робинсон С., 1942; Отис А., 1962; Волков Н. И., 1968).

Изучение кислородного долга, наряду с большой теоретической значимостью, позволяет успешно решать ряд важнейших практических вопросов, связанных с оценкой работоспособности человека, его реакции на неблагоприятные воздействия. В расширении исследований по этой проблеме заинтересованы физиология и гигиена труда, авиационная и космическая медицина, а также и некоторые клинические дисциплины.

Особый интерес к этой проблеме проявляет физиология спорта. Рост спортивных достижений, интенсификация тренировочного процесса предъявляют высокие требования к организму в отношении энергетического обеспечения. Поскольку мощность аэробных процессов, связанных с поставкой кислорода к тканям, ограничена уровнем 10—20-кратного увеличения от значения расхода энергии в покое (Робинсон С., 1961; Дилл Д., 1960), то всякое дальнейшее увеличение мощности упражнения может быть обеспечено энергией только за счет анаэробных процессов. С этой точки зрения вопрос о размерах анаэробных резервов в организме, условиях и скорости образования кислородного долга и его максимальных величинах, а также вопрос о путях развития анаэробных возможностей человека являются одними из наиболее актуальных вопросов для физиологии спорта. Кроме того, из всех показателей анаэробного обмена величина кислородного долга является наиболее информативным и в то же время наиболее доступным для измерения показателем.

По проблеме кислородного долга имеется значительное число исследований (Хилл А., 1926, 1927; Маргариа Р. с колл., 1933;

Дилл Д. с колл., 1936 и др.). Однако все они касаются по преимуществу лишь частных, главным образом феноменологических аспектов этой проблемы.

Результаты этих исследований чрезвычайно трудно сопоставимы друг с другом, поскольку они выполнены, как правило, в различных условиях. По существу, целый ряд актуальных вопросов этой проблемы до сих пор остается мало или недостаточно изученным. Так, отсутствует полная ясность в вопросе о природе кислородного долга, большие дискуссии вызывает вопрос о максимуме анаэробных возможностей человека и, в частности, вопрос о максимальных размерах кислородного долга. Отсутствуют систематические данные об изменениях кислородного долга в зависимости от характера выполняемой работы. Совершенно недостаточно изучен вопрос о влиянии систематической спортивной тренировки на изменения анаэробных возможностей, в частности, вопрос о средствах, в наибольшей мере стимулирующих образование кислородного долга, и многие другие вопросы.

Учитывая все вышеизложенное, представляется вполне очевидной необходимость проведения специальных исследований, направленных на систематическое изучение характера и условий образования кислородного долга при мышечной деятельности. В задачу данного исследования входило:

- 1) изучить феноменологию кислородного долга при мышечной деятельности;
- 2) исследовать влияние факторов физической нагрузки на образование кислородного долга;
- 3) изучить взаимосвязь между показателями кислородного долга.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Испытуемыми в наших экспериментах были мужчины, спортсмены высокой квалификации (мастера спорта и перворазрядники) специализирующиеся в одном из следующих видов спорта: легкоатлетический бег, плавание, велосипедные гонки, гребля.

В первой серии опытов, где изучалась феноменология кислородного долга, участвовали 12 испытуемых. Во второй серии опытов, где изучалось влияние факторов физической нагрузки на образование кислородного долга, участвовало 6 испытуемых, специализирующихся в беге на короткие и средние дистанции. В качестве материала для установления взаимосвязи между показателями кислородной задолженности были использованы данные, полученные на 23 испытуемых.

Наряду с антропометрическими измерениями у всех испытуемых определялось максимальное потребление кислорода и уровень потребления  $O_2$  в состоянии относительного покоя.

У испытуемых второй серии опытов, кроме того, дополнительно определялись размеры максимального кислородного долга.

Исследование газообмена в наших экспериментах проводилось с помощью модифицированного метода Дугласа-Холдена.

Определение содержания молочной кислоты в крови проводилось по методу Баркера и Саммерсона.

Регистрация частоты сердечных сокращений осуществлялась с помощью двухканального чернильнопишущего электрокардиографа типа ЭКСПЧ-3. Подсчитывались зубцы R за интервалы 10—60 сек с последующим пересчетом за минуту.

Для определения максимального потребления кислорода применялась методика со ступенчатым повышением нагрузки (Хольман В., 1963). Каждое определение дублировалось. За максимальное потребление кислорода принимался наибольший результат двух определений.

Максимальный кислородный долг определялся по методике, предложенной Н. И. Волковым (1964, 1968), состоящей в четырехкратном повторении одностимотных истощающих упражнений, разделенных сокращающимися от повторения к повторению интервалами отдыха в 3, 2 и 1 мин.

При планировании факторного эксперимента по изучению влияния факторов физической нагрузки на образование кислородного долга были использованы методы «математической теории планирования экстремальных экспериментов».

Эффект взаимодействия факторов физической нагрузки, под которым понималось такое положение, когда изменение результата на разных уровнях одного фактора не одинаково для всех уровней другого (Хикс Ч., 1967), оценивался путем графического представления данных.

При статической обработке экспериментальных данных использовались общепринятые методы расчета регрессионных и корреляционных зависимостей, проводимые в соответствии с общими указаниями, имеющимися в руководствах (Снедекор Г., 1956; Фишер Р., 1959; Митропольский А. К., 1961; Плохинский Н. А., 1961 и др.).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1. Феноменология кислородного долга

В целях изучения спорных моментов в вопросе о феноменологии кислородного долга была осуществлена специальная серия экспериментов с регистрацией восстановительного «излишка»  $O_2$ -потребления в разные моменты периода восстановления в упражнениях различной мощности и продолжительности. Продолжительность упражнений варьировала от 22 сек до 60 мин. Тяжесть работы, которая оценивалась по отношению  $O_2$  — запроса упражнения к уровню максимального потребления кислорода (единицы максимального метаболического уровня — MMR), варьировала от 0,25 до 6,0 MMR.

Было установлено, что в условиях напряженной мышечной деятельности оплата кислородного долга носит фазовый характер. У тренированных лиц второй, лактатный компонент в кривой восстановительного «излишка»  $O_2$ -потребления появляется при работе, тяжесть которой соответствует уровню потребления кислорода, составляющего приблизительно 75% от максимального. Этот критический уровень мощности характеризуется также частотой пульса при работе около 150 уд/мин и содержанием молочной кислоты в крови в количестве около 46 мг%.

При кратковременной (менее 1 мин) мышечной деятельности высокой интенсивности в кривой восстановительного  $O_2$ -потребления появляется еще один нарастающий компонент, отражающий повышение скорости потребления кислорода на первых 10—20 сек восстановительного периода.

У некоторых испытуемых в условиях напряженной мышечной деятельности кривая оплаты кислородного долга распадалась на три экспоненциально уменьшающихся компонента, из которых 1 и 3 по своей скорости оплаты соответствовали алактатной и лактатной фракциям кислородного долга. Второй же занимал промежуточное положение, приближаясь, однако, по скорости оплаты к значениям алактатного процесса.

Размеры кислородного долга при напряженной мышечной деятельности обнаруживали закономерную связь с мощностью и продолжительностью работы. Величина общего  $O_2$ -долга экспоненциально увеличивается с мощностью упражнения. Скорость этого увеличения зависит от продолжительности работы, она тем выше, чем продолжительнее упражнение. Вплоть до 6—10 мин увеличение продолжительности работы сопровождается увеличением суммарного «излишка»  $O_2$ -потребления, при дальнейшем продолжении работы размеры общего кислородного долга уменьшаются.

Величина алактатного долга с увеличением мощности упражнения возрастает в линейной зависимости. Однако более продолжительные упражнения характеризуются значительно более быстрым увеличением размеров алактатного долга с повышением тяжести работы, чем менее длительные задания. Влияние продолжительности работы на величину алактатного долга показывает определенную зависимость от мощности выполняемого упражнения. В упражнениях малой интенсивности (менее 0,5 MMR) величина алактатного долга, повышаясь на первых 10—12 мин работы, в дальнейшем практически не меняется. При более интенсивной работе алактатный долг увеличивается на всем ее протяжении. Скорость этого увеличения тем выше, чем тяжелее работа.

Размеры лактатного долга тесно связаны с мощностью выполняемого упражнения: они увеличиваются непропорционально быстро с ростом тяжести работы. Скорость этого увеличения зависит от общей продолжительности работы: она тем выше, чем длительнее выполнялось задание.

Начальный уровень алактатного  $O_2$ -потребления линейно увеличивается с тяжестью работы вплоть до мощности 1,0 MMR. При дальнейшем повышении тяжести упражнения скорость увеличения этого показателя замедляется, а начиная с тяжести работы, соответствующей 2,5 MMR, повышение мощности приводит к снижению начального уровня алактатного  $O_2$ -потребления. Продолжительность упражнения не оказывала существенного влияния на характер указанных изменений этого показателя.

Изменение начального уровня алактатного  $O_2$ -потребления с продолжительностью упражнения зависит от его тяжести. В упражнениях невысокой интенсивности ( $< 0,75$  MMR) уровень алактатного  $O_2$ -потребления заметно снижается при больших интервалах времени работы. При большей тяжести работы данный показатель повышается с увеличением продолжительности упражнения. Скорость этого повышения тем выше, чем тяжелее работа.

Начальный уровень лактатного потребления кислорода отчетливо увеличивается с повышением тяжести работы. Эта зависимость имеет близкий к линейному характер, который сохраняется в пределах всех исследованных продолжительностей упражнения. Однако скорость увеличения лактатного уровня  $O_2$ -потребления в связи с повышением мощности зависит от продолжительности работы: она выше в более длительных заданиях.

На первых 8—10 мин работы начальный уровень лактатного  $O_2$ -потребления повышается с увеличением продолжительности упражнения. Это повышение происходит тем быстрее, чем выше мощность упражнения. При больших интервалах времени работы наблюдается отчетливое снижение данного показателя.

Алактатная константа скорости почти линейно «убыстрятся» с повышением тяжести работы вплоть до мощности, соответствующей приблизительно 1,5 MMR. Дальнейшее повышение мощности приводит к снижению скорости изменений этой константы. Отчетливая зависимость алактатной константы скорости от продолжительности работы выявляется только в упражнениях небольшой интенсивности, где при значительных интервалах времени работы отмечается отчетливое «замедление» этой константы.

Лактатная константа скорости быстро «замедляется» с повышением тяжести работы. Изменения продолжительности упражнения на характер данной зависимости не оказывает сколько-либо существенного влияния. Только при самых кратковременных упражнениях ( $\leq 30$  сек) лактатная константа скорости несколько более медленно «замедляется» с повышением тяжести работы.

Достаточно отчетливая зависимость лактатной константы скорости от продолжительности работы обнаружена только в упражнениях, мощность которых не превышает 1,0 MMR, где обнаружена тенденция к «замедлению» этой константы при больших значениях времени работы.

## 2. Исследование влияния факторов физической нагрузки на образование кислородного долга

Было проведено две серии экспериментов: в лабораторных условиях с работой на велоэргометре и в беге по дорожке стадиона. В первой серии изучалось влияние на образование кислородного долга 4 факторов физической нагрузки: мощности упражнения, его продолжительности, количества повторений и продолжительности интервалов отдыха. Во второй серии — только трех факторов. Значение показателя мощности в этой серии опытов во всех случаях было максимальным для выбранной продолжительности упражнения.

В таблице 1 приведены результаты лабораторных экспериментов по изучению влияния факторов физической нагрузки на некоторые показатели кислородной задолженности. В правой верхней части таблицы приведены результаты экспериментальных измерений величины  $O_2$ -долга и других показателей кислородной задолженности (средние данные шести испытуемых) при различных вариантах физической нагрузки. В левой верхней части приведена матрица планирования, в нижней левой части — соответствующие значения коэффициентов регрессии и оценка существенности нуля гипотезы ( $b_i = 0$ ).

Как видно из таблицы 1, на изменение величины общего кислородного долга и размеров его лактатной фракции в наибольшей степени влияют вариации мощности упражнения и продолжительности интервалов отдыха: повышение мощности и сокращение интервалов отдыха приводит к увеличению этих показателей. Уровни значимости соответствующих коэффициентов регрессии составили: для величины общего кислородного долга, соответственно, 85,0 и 92,0%, для его лактатной фракции — 88,0 и 95,0%. Значения указанных показателей повышаются также под влиянием увеличения продолжительности упражнения и числа повторений. Однако существенность влияния этих последних факторов не столь высока.

Суммарный «излишек» легочной вентиляции и его медленная составляющая существенно увеличиваются под влиянием повышения мощности и увеличения продолжительности упражнения (для суммарного вентиляционного долга, соответственно, 92,3 и 93,4% для его медленной составляющей 93,4 и 91,1%), а также, хотя и в значительно меньшей степени, под влиянием сокращения продолжительности интервалов отдыха (соответственно,  $p = 80,1\%$  и  $p = 82,5\%$ ).

Увеличение размеров суммарного пульсового долга и его медленной составляющей в наибольшей мере связано с повышением мощности упражнения, увеличением его продолжительности, а также с сокращением интервалов отдыха между повторными сеансами работы. Уровни значимости соответствующих коэффициентов



Матрица планирования и результаты исследования влияния факторов физической нагрузки на показатели кислородной задолженности в работе на велоэргометре

№ опыта	Факторы	Мощность, %	Продолжит. упржнения в мин	Число повторений	Интервал отдыха в мин	Результаты							
						Общий O <sub>2</sub> долг, л	Лактатный долг, л	Суммарн. пульсовый долг, уд	Меленная состав-ляющая долг, уд	«Излишек» легочной вентил. лин, л	Состав-ляющая вентил. лин, л	«Излишек» вентил. лин, л	Меленная состав-ляющая вентил. лин, л
1		80 (-)	0,5 (-)	2 (-)	11,0 (-)	4,70	2,61	841	760	236	155	2,89	
2		100 (+)	0,5 (-)	2 (-)	3,0 (+)	8,09	5,52	2250	2136	402	314	5,30	
3		80 (-)	1,5 (+)	2 (-)	3,0 (+)	7,29	4,81	2192	2057	508	385	4,73	
4		100 (+)	1,5 (+)	2 (-)	11,0 (-)	7,70	4,71	2122	2005	557	420	5,28	
5		80 (-)	0,5 (-)	4 (+)	3,0 (+)	8,14	5,24	1375	1281	313	220	3,43	
6		100 (+)	0,5 (-)	4 (+)	11,0 (-)	6,97	4,02	1885	1771	429	333	3,07	
7		80 (-)	1,5 (+)	4 (+)	11,0 (-)	7,23	4,40	1871	1757	335	218	3,38	
8		100 (+)	1,5 (+)	4 (+)	3,0 (+)	8,29	6,15	2346	2247	767	627	4,43	
	Общий O <sub>2</sub> долг	+0,461 85,0%	+0,326 77,0%	+0,356 79,0%	+0,651 92,0%								
	Лактатный долг	+0,420 88,0%	+0,344 80,0%	+0,335 78,0%	+0,748 95,0%								
	Суммарный пуль-совый долг	+290,5 92,5%	+272,5 91,1%	+8,6 50,0%	+180,5 82,5%								
	Меленная составляющая пульсового долга	+288,0 91,1%	+264,7 89,8%	+12,2 50,0%	+178,5 81,0%								
	«Излишек» легоч-ной вентилиации	+95,4 92,3%	+98,4 93,4%	+17,7 61,4%	54,1 80,1%								
	Меленная составляющая вентилиационного «Излишка»	+89,5 93,4%	+78,5 91,1%	+15,5 55,0%	+52,5 82,5%								
	Неметаболический «Излишек» CO <sub>2</sub>	+0,449 86,0%	+0,384 83,0%	-0,479 86,0%	+0,416 84,0%								

Примечание. В левой нижней части таблицы:  $b_i$  — значения коэффициентов регрессии, связывающих пока-затели кислородной задолженности с факторами физической нагрузки;  $P$  — уровни значимости соответствующих коэффициентов регрессии.

регрессии составили: для суммарного пульсового долга 92,5; 91,1 и 82,5% и для его медленной составляющей 91,1; 89,8 и 81,0%.

Неметаболический «излишек»  $\text{CO}_2$  увеличивается с повышением мощности упражнения, увеличением его продолжительности, сокращением числа повторений и укорочением интервалов отдыха. Однако уровни значимости соответствующих коэффициентов регрессии были не очень высоки и составили, соответственно, 86,0; 83,0; 86,0 и 84,0%.

Варьирование отдельных факторов физической нагрузки оказывает существенно влияние также и на изменения ряда иных показателей кислородной задолженности. Так, начальный уровень алактатного  $\text{O}_2$ -потребления заметно повышается с увеличением продолжительности упражнения в пределах выбранного интервала варьирования ( $p = 93,4\%$ ). Повышение начального уровня лактатного  $\text{O}_2$ -потребления сопряжено главным образом с увеличением мощности упражнения ( $p = 95,0\%$ ). Изменения значений константы скорости оплаты алактатного долга в связи с варьированием факторов физической нагрузки выражены недостаточно отчетливо. Наибольшей значимостью обладает «убыстряющее» влияние со стороны сокращения числа повторений ( $p = 89,0\%$ ). Лактатная константа скорости существенно «убыстряется» в связи с сокращением числа повторений ( $p = 95,7\%$ ).

Наряду с установлением общих зависимостей по среднегрупповым данным было изучено также влияние варьирования факторов физической нагрузки на индивидуальные значения показателей кислородной задолженности в работе на велоэргометре у 4 испытуемых. Это позволило выявить индивидуальные особенности, выразившиеся в том, что у разных испытуемых определяющее влияние на изменения отдельных показателей кислородной задолженности оказывали различные факторы физической нагрузки.

Результаты изучения влияния факторов физической нагрузки на важнейшие показатели кислородной задолженности в беге представлены в таблице 2. Как видно из таблицы, размеры общего кислородного долга и его лактатной фракции обнаруживают значимую взаимосвязь с изменениями всех трех рассматриваемых факторов физической нагрузки. Увеличению значений этих показателей способствует укорочение пробегаемых отрезков дистанции (соответственно,  $p = 99,5\%$  и  $p = 98,4\%$ ), сокращение продолжительности интервалов отдыха ( $p = 98,5\%$  и  $p = 98,6\%$ ) и уменьшение числа повторений ( $p = 95,0$  и  $p = 97,0\%$ ).

Размеры суммарного «излишка» легочной вентиляции и его медленной составляющей наиболее значительно увеличиваются при укорочении длины отрезков дистанции (соответственно,  $p = 98,0$  и  $p = 98,2\%$ ) и сокращении продолжительности интервалов отдыха ( $p = 98,5\%$  и  $p = 99,0\%$ ).

Суммарный пульсовый долг и его медленная составляющая увеличиваются в связи с удлинением пробегаемых отрезков дистанции, укорочением интервалов отдыха и увеличением числа

Таблица 2

Матрица планирования и результаты исследования влияния факторов физической нагрузки на показатели кислородной задолженности в беге

№ опытов	Факторы	Длина дистанции, м	Интервал отдыха, мин	Число повторений	Результаты							
					Общий $O_2$ -долг, л	Лактатный долг, л	Пулсовый долг, л/д	Медленная составляющая лактового долга, л/д	"излишек" легочной вентиляции, л	ЦНИ, л	Медленная составляющая лактового долга, л/д	Пулсовый долг, л/д
1		200 (-)	11,0 (-)	2 (-)	10,88	7,75	3334	3212	715	599	5,00	
2		600 (+)	11,0 (-)	4 (+)	9,13	5,96	4716	4590	693	542	4,05	
3		200 (-)	3,0 (+)	4 (+)	10,96	8,15	3929	3810	1139	992	5,57	
4		600 (+)	3,0 (+)	2 (-)	9,63	6,88	3953	3842	720	612	4,96	
5		600 (+)	3,0 (+)	4 (+)	11,19	7,94	4112	3987	1020	875	7,06	
6		200 (-)	3,0 (+)	2 (-)	9,64	6,94	3502	3397	868	716	5,43	
7		600 (+)	11,0 (-)	2 (-)	8,91	5,66	3448	3328	830	695	3,40	
8		200 (-)	11,0 (-)	4 (+)								
	Общий $O_2$ -долг	-1,038 99,0%	+0,953 98,5%	-0,669 95,0%								
	Лактатный долг	-0,8 98,4	+1,0 98,6	-0,8 98,4								
	Суммарный пулсовый долг	+351 94,7%	+248 89,4%	+306 92,5%								
	Медленная составляющая пулсового долга	+358 95,4%	+248 89,4%	+300 92,5%								
	Суммарный "излишек" легочной вентиляции	-166,0 98,0%	+183,2 98,5%	+56,0 79,7%								
	Медленная составляющая вентиляционного "излишка"	-167 98,2%	+188 99,0%	+43 74,5%								
	Неметаболический "излишек" $CO_2$	-0,50 84,3%	+1,45 99,1%	-1,30 98,6%								

Примечание. В левой нижней части таблицы:  $b_i$  — значения коэффициентов регрессии, связывающих показатели кислородной задолженности с факторами физической нагрузки;  $P$  — уровни значимости соответствующих коэффициентов регрессии.

повторений. Уровни значимости соответствующих коэффициентов регрессии составили 94,7; 89,4 и 92,5% в случае суммарного пульсового долга и 95,4; 89,4 и 92,5% — для его медленной составляющей.

На величину неметаболического «излишка»  $\text{CO}_2$  наибольшее влияние оказывает варьирование факторов продолжительность интервалов отдыха и числа повторений. Укорочение интервалов отдыха между повторениями и сокращение их числа способствует увеличению размеров этого показателя. Уровни значимости соответствующих коэффициентов регрессии составили 99,1 и 98,8%.

Варьирование факторов физической нагрузки в беге оказывало существенное влияние и на изменения других показателей кислородной задолженности, таких, как алактатная фракция общего кислородного долга, начальные уровни алактатного и лактатного  $\text{O}_2$ -потребления, алактатная и лактатная константы скорости, быстрые составляющие пульсового долга и «излишка» легочной вентиляции.

Было изучено также влияние факторов физической нагрузки на изменения индивидуальных значений отдельных показателей задолженности у трех испытуемых. При этом, как и в случае работы на велоэргометре, в беге обнаружены существенные межиндивидуальные различия.

Результаты проведенных нами исследований свидетельствуют о том, что взаимодействие факторов физической нагрузки существенно влияет на изменения большинства показателей кислородной задолженности. На величину кислородного долга наиболее значительное влияние оказывает взаимодействие между факторами: длина пробегаемых отрезков дистанции и число повторений, а также продолжительность интервалов отдыха — число повторений. Эффект взаимодействия между первыми отмеченными факторами проявляется также на изменениях размеров суммарного пульсового долга и суммарного «излишка» легочной вентиляции. Но на изменения последнего показателя существенное влияние оказывает также взаимодействие между длиной пробегаемых отрезков дистанции и продолжительностью интервалов отдыха, которое не было обнаружено при анализе изменений общего кислородного долга.

Были найдены также существенные индивидуальные различия во взаимодействии факторов физической нагрузки.

При одинаковых условиях опыта размеры кислородного долга зависят от вида выполняемой мышечной работы.  $\text{O}_2$ -долг больше в том случае, когда в работу вовлекаются более значительные мышечные группы.

Проведенный нами анализ средних данных показал, что в беге увеличению размеров общего кислородного долга и его лактатной фракции способствует укорочение пробегаемых отрезков дистанции, сокращение продолжительности интервалов отдыха между повторными пробежками и уменьшение числа повторений.

Наибольшие величины этих показателей отмечались при следующих значениях факторов физической нагрузки: длина пробегаемых отрезков — 400 м, продолжительность интервалов отдыха — 7 мин, число повторений — 3, скорость бега — максимальная.

Найденные условия для образования наибольших величин кислородного долга совсем не исключают необходимости индивидуального подхода в решении этого вопроса. Напротив, учитывая индивидуальные данные разных испытуемых, можно было бы внести следующую корректировку в условия образования наибольшего  $O_2$ -долга: для испытуемого Е. Ра — увеличить число повторений до 4, для испытуемого В. Су — удлинить пробегаемые отрезки дистанции до 600 м и т. п.

### *Интеркорреляция показателей кислородной задолженности*

На данном этапе исследований были рассмотрены корреляционные связи между показателями кислородной задолженности в двух видах мышечной деятельности: в беге и при работе на велоэргометре. Были изучены индивидуальные особенности взаимосвязей показателей кислородной задолженности, а также рассчитаны уравнения регрессии, описывающие зависимость между отдельными показателями кислородной задолженности.

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что при напряженной мышечной деятельности между отдельными компонентами кислородного долга устанавливаются определенные взаимосвязи. Вид мышечной деятельности, а также индивидуальные особенности испытуемых мало влияют на характер этих взаимосвязей.

В таблице 3 приведены коэффициенты корреляции между компонентами кислородного долга в работе на велоэргометре.

Как видно из таблицы 3, наиболее тесную связь ( $r = 0,930$ ) с размерами общего кислородного долга обнаруживает его лактатная фракция. При данном виде мышечной деятельности лактатная фракция появляется в общем кислородном долге, когда размеры последнего достигают величины порядка 1,5 л. Зависимость между этими показателями описывается следующим уравнением регрессии:

$$\text{лактатный } O_2\text{-долг } (л) = -1,4 + 0,9 \cdot \text{общий } O_2\text{-долг } (л).$$

Выраженную корреляционную зависимость величина общего кислородного долга обнаруживает также с лактатной константой скорости ( $r = 0,590$ ) и размерами алактатной фракции  $O_2$ -долга ( $r = 0,473$ ).

Теснота связи общего кислородного долга с иными показателями кислородной задолженности, такими, как пульсовая долг, «излишек» легочной вентиляции, неметаболический «излишек»  $CO_2$  и т. п., во многом зависит от вида мышечной деятельности. В работе на велоэргометре достоверную связь с общим кислород-

ным долгом обнаруживают следующие показатели: суммарный пульсовой долг ( $r = 0,306$ ), его медленная составляющая ( $r = 0,498$ ), начальный уровень частоты пульса в этой фракции пульсового долга ( $r = 0,543$ ), «быстрая» ( $r = 0,448$ ) и «медленная» ( $r = 0,364$ ) константы скорости снижения частоты пульса, суммарный «излишек» легочной вентиляции ( $r = 0,842$ ), его медленная составляющая ( $r = 0,585$ ), медленная константа скорости снижения легочной вентиляции ( $r = 0,350$ ) и неметаболический «излишек»  $CO_2$  ( $r = 0,496$ ).

Таблица 3

Интеркорреляция факторов кислородного долга в работе на велоэргометре \*

	Лактатная константа скорости	Алактатная константа скорости	Начальный уровень лактатного $O_2$ -потребления	Начальный уровень алактатного $O_2$ -потребления	Лактатный долг	Алактатный долг
Общий $O_2$ -долг	-0,590	-0,356	0,254	0,144	0,930	0,473
Алактатный долг	-0,467	-0,802	-0,376	-0,390	-0,030	
Лактатный долг	-0,500	-0,115	0,390	0,010		
Начальный уровень алактатного $O_2$ -потребления	0,010	0,040	0,010			
Начальный уровень лактатного $O_2$ -потребления	0,540	0,400				
Алактатная константа скорости	0,490					

Достоверные корреляционные связи в этом виде мышечной деятельности обнаружены между алактатной фракцией кислородного долга и такими показателями, как быстрая составляющая пульсового долга ( $r = 0,512$ ), «быстрая» пульсовая константа скорости ( $r = 0,515$ ), быстрая составляющая вентиляционного «излишка» ( $r = 0,337$ ), начальный уровень легочной вентиляции в этой фазе ( $r = 0,317$ ) и «быстрая» вентиляционная константа скорости ( $r = 0,287$ ).

Достоверными были также корреляции лактатного долга с суммарным пульсовым долгом ( $r = 0,512$ ), его медленной составляющей ( $r = 0,526$ ), «быстрой» ( $r = 0,332$ ), и «медленной» ( $r = 0,303$ ) пульсовыми константами скорости, суммарным «излишком» легочной вентиляции ( $r = 0,508$ ), медленной составляющей вентиля-

\* Выделены коэффициенты корреляции, достоверные при 5%-ном уровне значимости.

ционного «излишка» ( $r = 0,540$ ), начальным уровнем легочной вентиляции в этой фазе вентиляционного «излишка» ( $r = 0,501$ ) и с неметаболическим «излишком»  $CO_2$  ( $r = 0,530$ ).

Начальный уровень алактатного  $O_2$ -потребления достоверно коррелирует с соответствующими пульсовым ( $r = 0,282$ ) и вентиляционным ( $r = 0,466$ ) начальными уровнями. Начальный уровень лактатного  $O_2$ -потребления существенную связь обнаруживает только с начальным уровнем медленной вентиляционной составляющей ( $r = 0,469$ ).

Напротив, алактатная константа скорости достоверно связана только с «быстрой» пульсовой константой скорости ( $r = 0,374$ ), в то время как лактатная — и с пульсовой ( $r = 0,442$ ) и с вентиляционной ( $r = 0,340$ ) «медленными» константами скорости.

Значительно менее выраженными были корреляционные связи между факторами  $O_2$ -долга и показателями кислородной задолженности в беге. В этом виде мышечной деятельности величина общего кислородного долга не обнаружила сколь-либо тесной связи с важнейшими показателями кислородной задолженности: суммарным пульсовым долгом, суммарным «излишком» легочной вентиляции и неметаболическим «излишком»  $CO_2$ .

Совершенно иная картина обнаруживается при анализе индивидуальных данных. В таблице 4 представлены коэффициенты корреляции между показателями кислородной задолженности, рассчитанные по индивидуальным данным трех испытуемых.

Таблица 4

**Внутрииндивидуальная воспроизводимость корреляционных связей между показателями кислородной задолженности**

Коррелируемые показатели		Испытуемые		
$X_1$	$X_2$	В. Ба	Е. Ра	В. Су
Общий $O_2$ -долг	Суммарный пульсовый долг	0,464	0,425	0,747
Общий $O_2$ -долг	Суммарный «излишек» легочной вентиляции	0,724	0,488	0,862
Общий $O_2$ -долг	Неметаболический «излишек» $CO_2$	0,639	0,416	0,798
Алактатный долг	Быстрая составляющая пульсового долга	0,628	0,354	0,621
Алактатный долг	Быстрая составляющая вентиляционного «излишка»	0,586	0,050	0,021
Лактатный долг	Медленная составляющая пульсового долга	0,514	0,370	0,687
Лактатный долг	Медленная составляющая вентиляционного «излишка»	0,617	0,500	0,777

Примечание. Выделены коэффициенты корреляции, достоверные при 5%-ном уровне значимости.

Как видно из таблицы 4, у всех трех испытуемых общий кислородный долг достоверно коррелирует с важнейшими показателями кислородной задолженности: суммарным пульсовым долгом, суммарным «излишком» легочной вентиляции и неметаболическим «излишком»  $\text{CO}_2$ . Аналогичная картина имеет место в отношении связи лактатного долга с соответствующими составляющими пульсового долга и «излишка» легочной вентиляции. При этом во всех случаях наиболее тесная связь обнаружилась между показателями кислородного долга и показателями «излишка» легочной вентиляции.

Межиндивидуальная воспроизводимость отдельных показателей кислородной задолженности оценивалась путем вычисления парных коэффициентов корреляции для трех разных испытуемых по значениям этих показателей, зарегистрированным в сравнимых условиях эксперимента. Результаты такого корреляционного анализа, проведенного по данным трех испытуемых, представлены в таблице 5.

Таблица 5  
Корреляции индивидуальных значений показателей кислородной задолженности

Показатели	Испытуемые		
	Е. Ра—В. Су	В. Ба—В. Су	В. Ба—Е. Ра
Общий $\text{O}_2$ -долг	0,351	<b>0,670</b>	—0,059
Алактатный долг	0,217	<b>0,554</b>	—0,160
Лактатный долг	0,364	<b>0,705</b>	0,015
Алактатная константа скорости	—0,050	<b>0,393</b>	—0,131
Лактатная константа скорости	0,359	0,270	0,073
Суммарный пульсовой долг	<b>0,515</b>	<b>0,782</b>	—0,003
Суммарный «излишек» легочной вентиляции	<b>0,702</b>	<b>0,794</b>	<b>0,470</b>
Неметаболический «излишек» $\text{CO}_2$	<b>0,593</b>	<b>0,785</b>	<b>0,659</b>

Примечание. Выделены коэффициенты корреляции, достоверные при 5%-ном уровне значимости.

Из трех испытуемых, результаты анализа данных которых представлены в таблице 5, двое — В. Ба и В. Су — в момент проведения данной серии экспериментов находились в хорошем состоянии тренированности. Третий испытуемый (Е. Ра) прекратил систематические занятия спортом незадолго до начала исследований.

Как видно из приводимых коэффициентов корреляции индивидуальных значений показателей кислородной задолженности, эти показатели у разных испытуемых изменяются неодинаково в ответ на одно и то же упражнение, выполненное в сравнимых условиях эксперимента. Только два показателя — суммарный «излишек» ле-



точной вентиляции и неметаболический «излишек»  $\text{CO}_2$  — в одних и тех же условиях напряженной мышечной деятельности у всех испытуемых обнаруживали сходный характер изменений. На изменения же других показателей кислородной задолженности существенное влияние оказывают индивидуальные особенности испытуемых, в частности, уровень тренированности. Так, при сравнении данных хорошо тренированных испытуемых сходный характер изменений обнаруживают общий кислородный долг и его алактатная и лактатная составляющие. При сравнении же данных хорошо тренированного и менее тренированного испытуемых эта взаимосвязь показателей отсутствует.

## ВЫВОДЫ

1. Кислородный долг, образующийся при мышечной деятельности, служит отражением увеличения анаэробного обмена в работающих мышцах при выполнении упражнения. Величина кислородного долга зависит от характера анаэробных изменений в организме и условий выполнения работы.

2. В зависимости от тяжести выполняемой работы ликвидация кислородного долга может осуществляться в одну или в две фазы, различающиеся по скорости окислительных превращений в организме. Медленно оплачиваемая (лактатная) фракция кислородного долга у тренированных лиц обнаруживается лишь при выполнении упражнений, кислородный запрос которых составляет более 75% от индивидуального максимума  $\text{O}_2$ -потребления. Этому критическому уровню мощности соответствует частота пульса при работе, равная 150 уд/мин, и накопление молочной кислоты в крови в количестве около 46 мг%.

3. В условиях напряженной мышечной деятельности, уровень кислородного запроса которой превышает значение «порога анаэробного обмена», всякое увеличение мощности упражнения ведет к непропорционально быстрому увеличению размеров общего кислородного долга. Это увеличение размеров кислородного долга с повышением мощности может быть описано уравнением экспоненциальной зависимости.

Подобного же рода зависимость проявляется и в изменениях лактатной фракции кислородного долга в связи с изменениями мощности упражнения.

Величина алактатного  $\text{O}_2$ -долга с увеличением тяжести работы увеличивается в линейной зависимости.

4. С увеличением продолжительности работы размеры общего кислородного долга и его лактатной фракции экспоненциально возрастают вплоть до 6—10 мин упражнения. Дальнейшее увеличение продолжительности упражнения ведет к снижению этих показателей.

Величина алактатного  $\text{O}_2$ -долга также экспоненциально возрастает с увеличением продолжительности работы. Однако, достиг-

нуж своего асимптотического значения к 8—12 мин, при дальнейшем увеличении продолжительности упражнения она мало изменяется.

5. Помимо эффекта мощности и продолжительности на изменения величины общего кислородного долга существенное влияние оказывает варьирование других компонентов физической нагрузки — числа повторений и продолжительности интервалов отдыха.

При анализе изменений величины кислородной задолженности в ряде случаев обнаружен выраженный эффект взаимодействия отдельных факторов физической нагрузки.

Наибольший кислородный долг образуется, когда продолжительность работы составляет около 1 мин, упражнение выполняется с предельной мощностью, продолжительность интервалов отдыха между повторениями составляет 7 мин, а общее число повторений равно 3.

6. Среди факторов кислородного долга наибольшее влияние на его общие размеры оказывает величина лактатной фракции. Высокую степень корреляционной связи с величиной общего кислородного долга обнаруживает также лактатная константа скорости и размеры алактатной фракции. Характер взаимосвязи между этими показателями хорошо воспроизводится в разных видах упражнений и он мало зависит от индивидуальных особенностей испытуемых.

7. Изменения величины общего кислородного долга при напряженной мышечной деятельности отражаются в значениях неспецифических показателей кислородной задолженности. Наибольшей представительностью в отношении размеров общего кислородного долга, образующегося при работе, обладают показатели суммарного «излишка» легочной вентиляции, суммарного пульсового долга и неметаболического «излишка»  $\text{CO}_2$ . На характер взаимосвязи этих показателей с величиной кислородного долга существенное влияние оказывает вид выполняемого упражнения и индивидуальные особенности испытуемых.

8. Интеркорреляции между показателями кислородной задолженности обнаруживают значительную внутри- и межиндивидуальную изменчивость в разных условиях мышечной деятельности. Как правило, у высокотренированных спортсменов степень связи между показателями кислородной задолженности, зафиксированными в различных условиях, значительно более тесная и обладает лучшей воспроизводимостью, чем у менее тренированных лиц.

3587

БИБЛИОТЕКА  
Д. И. ПЕТРОВИЧ  
И. П. ПЕТРОВИЧ

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Кислородный обмен у человека при напряженной мышечной деятельности. Кислородный режим организма и его регулирование. Тезисы симпозиума, Киев—Канев, 1965 (в соавторстве).
2. Кислородный обмен у человека при напряженной мышечной деятельности. В сб.: «Кислородный режим организма и его регулирование». Изд. «Наукова Думка», Киев, 1966 (в соавторстве).
3. Динамика циркуляторных и метаболических функций при мышечной работе в нестандартном режиме. Матер. IX Всесоюзной научн. конф. по физиологии, морфологии, биохимии и биомеханике мышечной деятельности, т. I, М., 1966 (в соавторстве).
4. Кинетика  $O_2$ -потребления у человека при кратковременной напряженной мышечной деятельности. Матер. IX Всесоюзной научн. конф. по физиологии, морфологии, биохимии и биомеханике мышечной деятельности, т. III, М., 1966 (в соавторстве).
5. Betterment of physical work capacity of men, resulting from thier special training in sport. XVI-th World-Congress of Sports Medicine, Hanover, 1966 (в соавторстве).
6. Применение математической теории экстремальных экспериментов в поиске эффективных методов тренировки. Теория и практика физической культуры, № 11, 1968 (в соавторстве).
7. Влияние основных характеристик физической нагрузки на показатели анаэробного обмена. Матер. X Всесоюзной научной конф. по физиологии, морфологии, биохимии и биомеханике мышечной деятельности, т. 3, М., 1968 (в соавторстве).
8. Взаимосвязь некоторых физиологических параметров с частотой сердечных сокращений в процессе мышечной деятельности. Материалы X Всесоюзн. конф. по физиологии, морфологии, биохимии и биомеханике мышечной деятельности, т. I, М., 1968 (в соавторстве).
9. Некоторые физиологические характеристики мышечной работы на разных уровнях частоты сердечных сокращений. Материалы IV научн. конференции молодых ученых, М., 1968.
10. Физиологическая характеристика непрерывной мышечной работы, выполняемой при разной частоте сердечных сокращений. Теория и практика физической культуры, № 4, 1969 (в соавторстве).
11. Исследование корреляционных связей между показателями кислородной задолженности. Материалы V научной конференции молодых ученых. М., 1969.