

Н.И. Волков, В.И. Олейников

БИОЭНЕРГЕТИКА *Спорта*

Монография



МОСКВА
2011

УДК 796/799/61
ББК 75.0
В67

Рецензенты:

В.К. Бальсевич, доктор биологических наук, член-корреспондент РАО;

Р.В. Тамбовцева, доктор биологических наук, профессор.

Волков Н. И.

В67 Биоэнергетика спорта : Монография [Текст] / Н. И. Волков, В. И. Олейников. — М. : Советский спорт, 2011. — 160 с. : ил.

ISBN 978-5-9718-0525-0

В представленной монографии обобщены результаты многолетних исследований авторов в избранной научной дисциплине с участием высококвалифицированных спортсменов из состава национальных сборных команд по различным видам спорта. Результаты выполненных исследовательских работ систематизированы и разведены по основным направлениям современных биоэнергетических исследований в спорте.

Книга предназначена для студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей институтов физической культуры, а также для специалистов в области теории и практики спорта, спортивных врачей, спортсменов, тренеров и всех интересующихся новейшими достижениями в области биохимии и биоэнергетики спорта.

**УДК 796/799/61
ББК 75.0**

ISBN 978-5-9718-0525-0

© Волков Н. И., Олейников В. И., 2011
© Оформление. ОАО «Издательство
"Советский спорт"», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Введение	6
Глава 1. Биоэнергетические процессы при напряженной мышечной деятельности	9
1.1. Кинетическая модель энергетического обмена при напряженной мышечной деятельности	13
1.2. Методы и организация экспериментальных исследований	21
1.3. Динамика механической производительности и кинетика процессов анаэробного образования энергии в упражнениях максимальной мощности	25
1.4. Кинетика молочной кислоты в крови у спортсменов при напряженной мышечной деятельности	30
1.5. Кинетика потребления кислорода при напряженной мышечной деятельности	35
1.6. Кинетика оплаты O_2 -долга при напряженной мышечной деятельности	43
1.7. Кислородный запрос и энергетическая стоимость напряженной мышечной деятельности	48
Глава 2. Биоэнергетические факторы спортивной работоспособности	56
2.1. Методы и организация экспериментальных исследований	58
2.2. Биоэнергетический профиль спортсменов высокой квалификации и факторная структура спортивной работоспособности	60
Глава 3. Биоэнергетические критерии срочного тренировочного эффекта физических нагрузок	68
3.1. Выбор параметров нагрузок, направленных на развитие анаэробной работоспособности спортсменов	68
3.2. Биоэнергетические эффекты повторного выполнения кратковременных упражнений максимальной мощности с различными интервалами отдыха	74

Глава 4. Биоэнергетические критерии оптимизации тренировочного процесса в спорте	83
Глава 5. Биоэнергетические критерии эффективности применения эргогенических средств в спорте	88
5.1. Применение метода аутогемотрансфузии для повышения работоспособности спортсменов	89
5.2. Влияние направленных сдвигов рН внутренней среды на работоспособность спортсменов	95
5.3. Применение препаратов антигипоксического действия для повышения работоспособности спортсменов	98
5.4. Применение препаратов креатина и креатинфосфата для повышения работоспособности спортсменов	104
5.5. Повышение работоспособности спортсменов под влиянием приема препарата милдронат	111
Заключение	115
Словарь ключевых терминов	123
Литература	132

ПРЕДИСЛОВИЕ

Материалы научных исследований, составившие предмет настоящей монографии, были собраны и представлены в официальных отчетах о проделанной НИР и в многочисленных научных публикациях сотрудников и аспирантов кафедры биохимии и проблемной лаборатории биоэнергетики ГЦОЛИФК (ныне Российский государственный университет физической культуры, спорта и туризма — РГУФКСИТ) за 50-летний период с 1956 по 2006 г. при участии ведущих спортсменов, тренеров и руководителей спортивных организаций нашей страны. Большая помощь в организации и проведении научных исследований в сборных командах страны по отдельным видам спорта была нам оказана председателем Комитета по физической культуре и спорту СССР С. П. Павловым, зам. председателями Комитета Л. С. Хоменковым и В. М. Игуменовым, гл. тренером по легкой атлетике Г. В. Коробковым, а также гл. тренером по плаванию С. М. Войцеховским и гл. тренером по конькобежному спорту Б. А. Степиным. Особо значимый вклад в экспериментальную разработку и практическое осуществление планируемых исследований внесли сотрудники кафедры биохимии и лаборатории биоэнергетики ГЦОЛИФК проф. В. Н. Черемисинов, доц. М. А. Мелихова, инженеры В. С. Цирков и Г. В. Барина, а также аспиранты и докторанты кафедры биохимии А. Д. Алтухов, Ю. Л. Войтенко, Т. Габрысь, А. В. Карасев, А. Н. Конрад, Г. А. Макарова, Е. А. Разумовский, И. А. Савельев, М. Хосни, В. В. Шиян. Без их участия и творческого энтузиазма эта работа вряд ли была бы выполнена.

*Заслуженный деятель науки РФ,
доктор биологических наук,
профессор Н. И. Волков,
кандидат педагогических наук В. И. Олейников*

ВВЕДЕНИЕ

Биоэнергетика спорта — относительно новая научная дисциплина, возникшая на стыке биохимии и физиологии мышечной деятельности. Основы этой научной дисциплины были заложены в трудах выдающихся ученых, создававших современную науку о спорте, таких как лауреат Нобелевской премии в области биологии и медицины А. В. Хилл (A. V. Hill, 1924, 1925, 1927, 1929); Д. Л. Дилл, руководитель лаборатории утомления в Гарвардском университете (D. L. Dill, 1936, 1962); Е. Симонсон, первый директор научно-исследовательского института физической культуры в г. Харькове (E. Simonson, 1927, 1938), а также представители скандинавской физиологической школы Е. Христенсен, П. Остранд, Б. Салтин, Л. Хермансен (E. Christensen, 1931, 1960; P.-O. Åstrand, 1955, 1956; B. Saltin, 1964, 1973; L. Chermansen, 1969, 1973); Р. Маргариа, руководитель лаборатории физиологии Миланского университета (R. Margaria, 1964, 1966, 1976); В. С. Фарфель, руководитель лаборатории физиологии спорта Центрального научно-исследовательского института физической культуры в г. Москве (1945, 1949). Заметный вклад в развитие современных знаний о биоэнергетических процессах при занятиях спортом внесли работы Н. Н. Яковлева (1954, 1974), Н. И. Волкова (1969, 1986, 2001), Дж. А. Брукса (G. A. Brooks, 1985, 1991), Ф. Голлника (P. D. Gollnick, 1969, 1973), Й. Кейля (J. Keul, 1969, 1972), Д. Л. Костилля (D. L. Costill, 1970, 1984, 1986), П. Е. ди Прамперо (P. E. di Prampero, 1971, 1972, 1981).

До недавнего времени основное внимание специалистов в области биохимии и физиологии мышечной деятельности было направлено на изучение изменений в сфере энергетического обмена при физических нагрузках, не превышающих значение критической мощности, при котором достигается максимальная активизация аэробного метаболизма в тканях (L. Brouha, 1940; E. Asmussen, 1965; М. И. Виноградов, 1941, 1958; P.-O. Åstrand, 1956; L. Kaijser, 1970; S. Robinson, 1961). Лишь

в последние годы под влиянием запросов спорта высших достижений и ряда практических дисциплин (авиация, космонавтика и т.п.) резко возрос интерес исследователей к изучению анаэробной энергетики и ее роли как лимитирующего фактора спортивной работоспособности при нагрузках, заметно превышающих уровень критической мощности, когда в полной мере проявляется действие причин, приводящих к развитию тканевой гипоксии (Н.И. Волков, 1969; L. Chermansen, 1969; D. L. Costill, 1986; D. L. Dill, 1962; J. L. Fallowfield, D. M. Wilkinson, 1999). В прикладной физиологии труда и спорта такие физические нагрузки обычно относят к категории напряженной мышечной деятельности от уровня критической мощности, где фиксируется максимум потребления O_2 , и вплоть до уровня максимальной анаэробной мощности, где достигается предельно высокий уровень АТФ-азной активности в работающих мышцах (E. Hultman et al., 1967; W. Kindermann, J. Keul, 1977; K. Sahlin, 2004).

Большинство видов профессиональной трудовой деятельности человека по шкале энергетических затрат располагаются существенно ниже значения критической мощности и только в исключительных случаях приближаются к этому значению. Лишь в одной сфере человеческой деятельности — в спорте высших достижений — регулярно используются нагрузки, по уровню энергетических затрат значительно превышающие значение критической мощности, и эти нагрузки составляют основу современной методики тренировки и практики соревновательной деятельности спортсменов высокой квалификации. Проведение систематических исследований в этой области осложняется тем обстоятельством, что особенности биоэнергетических отпавлений при таких нагрузках в достаточной степени полно выявляются, когда избранные упражнения выполняются в режиме «до отказа» после достаточно длительного периода специальной подготовки, и потому они доступны только для хорошо тренированных спортсменов. По этому поводу пионер биоэнергетических исследований в спорте А. В. Хилл в одной из своих статей писал:

«...Почему мы исследуем спортсменов? На этот вопрос можно дать два ответа: во-первых, процессы, происходящие при выполнении физических упражнений, просты и измеримы, упражнения выполняются с большой напряженностью и, как правило, до предела возможностей человека, чего нет в трудовых процессах; во-вторых, сами спортсмены, будучи здоровыми и в состоянии динамического равновесия, могут быть объектом изучения, и без всякой опаски для здоровья повторять вновь и вновь с совершенной точностью, заданные упражнения».

В этом высказывании классика мышечной биоэнергетики весьма точно сформулированы основные аргументы в пользу необходимости изучать биоэнергетические проблемы в сфере напряженной мышечной деятельности человека в опытах с участием высококвалифицированных спортсменов. Данное положение мы приняли как основополагающее при составлении программы наших собственных исследований в этой области. Приступая к осуществлению этой программы, в пятидесятых годах прошедшего столетия мы ставили целью изучить кинетические взаимодействия процессов аэробного и анаэробного метаболизма у спортсменов в упражнениях различной мощности и предельной продолжительности с тем, чтобы выявить ведущие биоэнергетические факторы, лимитирующие уровень рекордных достижений в спорте, и изыскать эффективные способы и методы тренировки, позволяющие увеличивать работоспособность человека в спорте.

В настоящей монографии представлены основные результаты выполненных нами исследований для решения поставленных задач в области биоэнергетики спорта.

ГЛАВА 1

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ НАПРЯЖЕННОЙ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Преобразование энергии в процессе мышечной деятельности осуществляется за счет метаболических превращений трех видов: два из них происходят анаэробным путем без участия кислорода, а третий является аэробным процессом, идущим с поглощением кислорода из атмосферы (В.П. Скулачев, 1968; Н.Н. Яковлев, 1974; P.-O. Åstrand, K. Rodahl, 1970; G.A. Brooks, T.D. Fahey, 1985; E.L. Fox, D.K. Mathews, 1981; P.D. Gollnick, D.W. King, 1969; P.W. Hachachka, D.W. Samper, 1984; L. Hermansen, 1969; J. Keul, E. Doll, D. Keppeler, 1969, 1972; G. Lehmann, 1961; A.L. Lehninger, 1972; E. Lundsgaard, 1930, 1938; R. Margaria, 1966, 1967, 1972, 1976; R.W. McGilvery, 1970; W.C. McMurray, 1980; W.F.H. Mommaerts, 1969; E.A. Newsholme, T. Leech, 1983; P.E. di Prampero, 1972, 1980, 1981; W. Roth, 1987; B. Saltin, 1973). Как следует из нижеприведенной схемы (рис. 1), один из происходящих анаэробных процессов заключается в распаде содержащихся в мышце фосфагенов (АТФ и КрФ) с последующим их восстановлением в ходе реакций окислительного и гликолитического фосфорилирования. Эту последовательность метаболических превращений принято обозначать как алактатный анаэробный процесс (М.И. Виноградов, 1941; R. Margaria, 1976).

В роли другого анаэробного процесса выступает гликолиз — ферментативный распад углеводов, приводящий к образованию молочной кислоты в работающих мышцах. Третьим источником энергии служит окисление пищевых веществ, главным образом, углеводов и жиров, происходящее в ходе аэробного метаболического процесса.

Каждый из отмеченных выше метаболических процессов, участвующих в преобразовании энергии при мышечной деятельности, обладает своими особыми кинетическими характеристиками и отличается по присущим

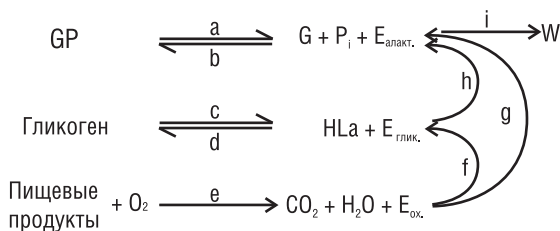


Рис. 1. Схема метаболических процессов, связанных с преобразованием энергии при мышечной деятельности (R. Margaria, 1976):

GP — фосфагены (*АТФ* + *КрФ*), P_i — неорганический фосфат, *HLa* — молочная кислота, E_n — энергия, высвобождаемая в ходе метаболических процессов, *W* — энергия, преобразованная в механическую работу. Стрелки, обозначенные индексами *h*, *g* и *f*, соответствуют реакциям гликолитического и окислительного фосфорилирования

ему значениям скорости метаболических потоков и емкости используемых субстратных фондов (М. И. Виноградов, 1941; P. Cerretelli, D. W. Rennie, D. P. Pendegast, 1980; J. Keul, E. Doll, D. Keppler, 1969; M. Mahler, 1980; R. Margaria, 1976; R. W. McGilvery, 1975; E. A. Newsholme, C. Start, 1973; P. E. di Prampero, 1971, 1981; B. J. Whipp, K. Wasserman, 1972). По этой причине аэробный и анаэробные источники энергии по-разному используются в упражнениях различной мощности и предельной продолжительности (Н. Н. Яковлев, 1974; E. Asmussen, 1968; D. L. Costill, 1986; J. H. Ettema, 1966; E. L. Fox, 1984; F. M. Henry 1954; W. Hollman, 1963; A. V. Hill, 1925, 1926, 1927; H. Howald, 1980; B. B. Lloyd, 1966; W. Roth, 1987; J. H. Wilmore, 1982).

Наиболее «быстрыми» кинетическими характеристиками и самой высокой метаболической мощностью обладает алактатный анаэробный процесс (P. Cerretelli, D. W. Rennie, P. P. Pendergast, 1980; R. Margaria, 1976; R. W. McGilvery, 1970; P. E. di Prampero, 1971). Он первым включается в действие и доминирует в общем энергетическом балансе работы в первые

10–15 с от ее начала. По мере истощения емкости алактатного анаэробного источника, которая лимитируется внутримышечными запасами АТФ и КрФ, в действие вступает анаэробный гликолитический процесс. Его наибольшая мощность достигается на 20–40 с от начала упражнения, и она быстро снижается по ходу работы из-за истощения внутримышечных резервов гликогена и накопления конечных продуктов анаэробного распада в тканях (В.В. Дынник, 1977, 1984; W.H. DanFarth, 1965; E. Halltman, 1967, 1971; J. Karlsson, 1971, 1979; R. Margaria, 1967; R. Margaria, P. Cerretelli, F. Mangili, 1964; A. Mader, A. Heck, 1986; E.A. Newsholme, T. Leech, 1983; P.E. di Prampero, 1971; K. Saltin, 1978; K. Saltin, J. Karlsson, 1971; W.M. Stainsby, 1986). Наиболее «медленные» кинетические характеристики присущи аэробному метаболическому процессу. Из-за ограничения поставки O_2 в работающие мышцы, обусловленной деятельностью систем внешнего дыхания и кровообращения, максимальная мощность этого процесса составляет только около 1/3 значений мощности алактатного анаэробного процесса, и она достигается только на 2–3 мин от начала упражнения (Р.-О. Åstrand, B. Saltin, 1961; P. Cerretelli, D.W. Rennie, P.P. Pandergast, 1980; F.N. Craig, 1972; F.M. Henry, J.C. DeMoor, 1956; A.V. Hill, 1927; V.L. Katch, 1973; M. Mahler, 1980; R. Margaria, F. Mangili, F. Cuttica, P. Cerretelli, 1965; J. Royce, 1962; B. Saltin, P.D. Gollnick, K. Piehl, B. Eriksson, 1971; B.J. Whipp, K. Wasserman, 1972; B.J. Whipp, K. Wasserman, J.A. Davis, N. Lamara, 1980). Исходя из этих данных, общая схема последовательности включения различных источников энергии и истощения их метаболической емкости может быть представлена следующим образом (рис. 2).

В соответствии с известными фактами о кинетике биоэнергетических процессов на схеме выделены несколько временных диапазонов упражнения. В каждом из этих диапазонов обозначены моменты достижения максимальной мощности процессов — t_1 , t_2 и t_3 , а также предельная длительность удержания максимальной мощности метаболического процесса, обусловленная его емкостью. Временные диапазоны упражнения, обозначенные цифрами 1, 2 и 3, соответствуют метаболическим

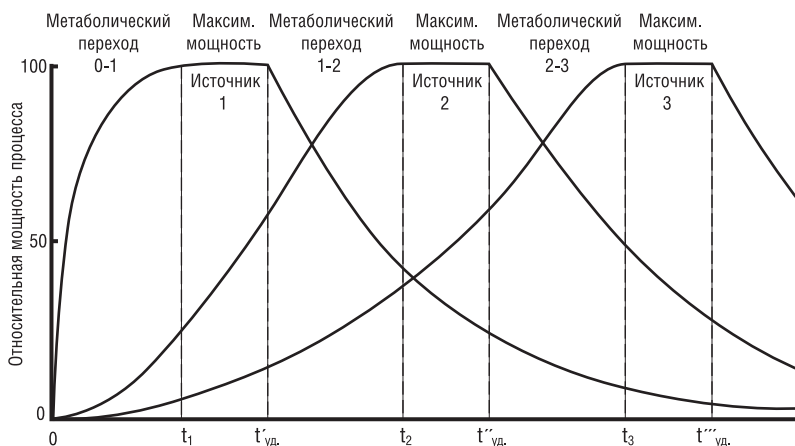


Рис. 2. Последовательность включения различных источников энергии и графика метаболических состояний при мышечной работе

состояниям, где явно преобладает один из источников энергии — алактатный, гликолитический, аэробный. Промежутки между этими диапазонами обозначают зоны метаболических переходов от одного способа производства энергии к другому.

Установление диапазонов упражнений с различными метаболическими состояниями могло бы иметь практическое значение при разработке методов диагностики физической работоспособности (А. Mader, Н. Неск, 1986) и в процессе программирования спортивной тренировки (Ю.В. Верхошанский, 1985). Чтобы конкретизировать приведенную выше схему последовательного включения различных источников энергии и установить истинную долю участия каждого из них в обеспечении энергетической потребности работы, необходимо выполнить детальные исследования кинетики аэробного и анаэробного процессов в упражнениях разной мощности и продолжительности.

1.1. Кинетическая модель энергетического обмена при напряженной мышечной деятельности

Основной путь утилизации O_2 в тканях сводится к ионизации молекулярного кислорода митохондриальной цитохромоксидазой с последующим присоединением протонов, переносимых из межмембранного пространства в матрикс через АТФ-синтазу, и восстановлением O_2 до H_2O (В.Л. Скулачев, 1972, 1981; Л.Д. Лукьянова, Б.С. Болмуханов, А.Т. Уголев, 1982; У. Уайт, Ф. Хендлер, Э. Смит, Р. Хилл, И. Леман, 1981; D.G. Nicholls, 1982; W.C. McMurray, 1977; P.F. Wilson, M. Erecinska, 1972, 1978). При адекватном снабжении тканей кислородом скорость потребления его в клетках определяется наличием субстратов окисления (донаторов водорода) и скоростью переноса электронов в дыхательной цепи митохондрий. (С.В. Северин, 1955; B. Chance, 1957, 1959; H.A. Krebs, 1959, 1970; R.G. Hansford, 1986; F.F. Jöbsis, 1964; B. Sacktor, 1961; J.R. Williamson, 1979). В процессе мышечной деятельности образование субстратов окисления и дыхательная активность митохондрий строго контролируются со стороны сократительного миофибриллярного механизма мышц (Н.С. Пантелеева, 1962; В.В. Дынник, 1985; R.J. Baskin, 1965, P.D. Boyer, 1964, B. Chance, 1959; F.F. Jöbsis, W.N. Stainsby, 1968). Согласно имеющимся данным (В.В. Дынник, 1985; В.П. Скулачев, 1969; G.F. Azzzone, 1961; B. Chance 1956, 1959, 1963; B. Chance, B. Hess, 1959; M. Klingenberg, 1961; A.L. Lehninger, 1961, 1982; E. Racker, 1976), этот метаболический контроль осуществляется посредством АДФ, образующийся при распаде АТФ в процессе мышечных сокращений и принимающей участие в реакциях субстратного и окислительного фосфорилирования.

Показано (B. Chance, G. Mauriello, X.M. Aubert, 1962; R.E. Davies, 1973; D.F. Cain, A.A. Infante, R.E. Davies, 1962; D.K. Pearl, L.D. Carlson, B.B. Sherwood, 1956; P.E. di Prampero, 1963, 1973; P.E. di Prampero, R. Margaria, 1968; M. Mahler, 1985; W.N. Stainsby, 1973), что между скоростью дефосфорилирования АТФ при мышечной работе и уровнем стимуляции тканевого дыхания суще-

ствуется линейная зависимость. Эта зависимость обуславливает линейный характер увеличения скорости потребления O_2 с ростом мощности выполняемой нагрузки вплоть до уровня, при котором вступают в действие лимиты кровоснабжения работающих мышц (А.Б. Гандельсман, 1939, 1973; В.С. Фарфель, 1945, 1949; P.O. Åstrand, K. Rodahl, 1970; G.A. Brooks, T.D. Fahey, 1985; E.H. Christensen, 1932, 1939; D.L. Costill, 1986; A.V. Hill, H. Lupton, 1922; J. Holmer, 1972; R. Margaria, 1976; B. Saltin, 1973).

В тех случаях, когда поступление O_2 в работающие мышцы становится неадекватным их энергетическому запросу, потребность в восполнении затрачиваемых на сократительную активность фосфатных макроэргов приводит к значительному усилению анаэробного гликолиза. Образующаяся при гликолитической оксидоредукции молочная кислота диффундирует из работающих мышц в кровь и может затем использоваться как субстрат окисления и глюконеогенеза в неработающих мышцах, сердце, печени и корковом слое почек (Е.С. Лондон, Я.А. Ловицкий, 1938; G.A. Brooks, 1973, 1986; A. Carlsten, B. Hallgren, R. Yagenburg, A. Svanborg, L. Werks, M.G. Eggleton, C.L. Evans, 1930; L. Hermansen, J. Stensvold, 1972; L. Hermansen, O. Vaage, 1979; J. Koul, E. Doll, H. Steim, U. Filler, H. Reindell, 1965; R.J. Baskin, 1965; M.N. Lery, 1962; R. Margaria, 1969; L.B. Rowell, E.J. Masoro, M.J. Spencer, 1965).

Принимая во внимание эти экспериментально установленные факты, при разработке математической модели, описывающей кинетику процессов потребления O_2 и образования молочной кислоты при напряженной мышечной деятельности, нами в качестве исходных постулатов были выдвинуты следующие положения:

а) скорость окислительных превращений при мышечной деятельности, отражающаяся в размерах потребления O_2 при работе, прямо пропорциональна количеству имеющихся в наличии субстратов окисления;

б) количество субстратов окисления, образовавшихся в процессе мышечной деятельности, находится в линейной зависимости от размеров дефосфорилирования АТФ (коли-

чества распавшихся фосфагенов GP) или количества выполненной работы;

в) разобщающие влияния на процесс окислительного фосфорилирования, возникающие по ходу работы, незначительны по величине и ими можно пренебречь;

г) в процессе мышечной деятельности не возникает каких-либо аномальных соотношений в метаболической активности взаимодействующих циклов (таких, например, как обратный пастеровский эффект), которые могут привести к падению скорости утилизации O_2 в тканях;

д) объем фазовых пространств (компартментов), в которых происходят процессы аэробного и анаэробного обмена, существенно не изменяется за время выполнения работы.

В условиях напряженной мышечной деятельности образующийся субстрат окисления диффундирует в кровь и устраняется в ходе окислительных превращений, происходящих не только в работающих мышцах, но и в других тканях и органах.

Схематическое изображение кинетической модели энергетического обмена для такой ситуации представлено на рис. 3, А.

На данной схеме: W — количество выполненной работы; X_i — концентрация образованного субстрата окисления в различных обменивающихся между собой компартментах. Поскольку согласно исходному постулату (д) объем метаболических пространств организма за время работы не претерпевает заметных изменений, то в количественных формулировках значения концентрации могут быть использованы вместо значений количества субстрата окисления; Y — количество окисленного субстрата, эквивалентное количеству потребленного O_2 ; α — константа пропорциональности, связывающая количество выполненной работы с количеством образованного субстрата окисления; k — константа скорости окисления, определяемая соотношением между имеющимся в наличии количеством субстрата и скоростью его окислительного устранения; P_{ij} — константы ско-

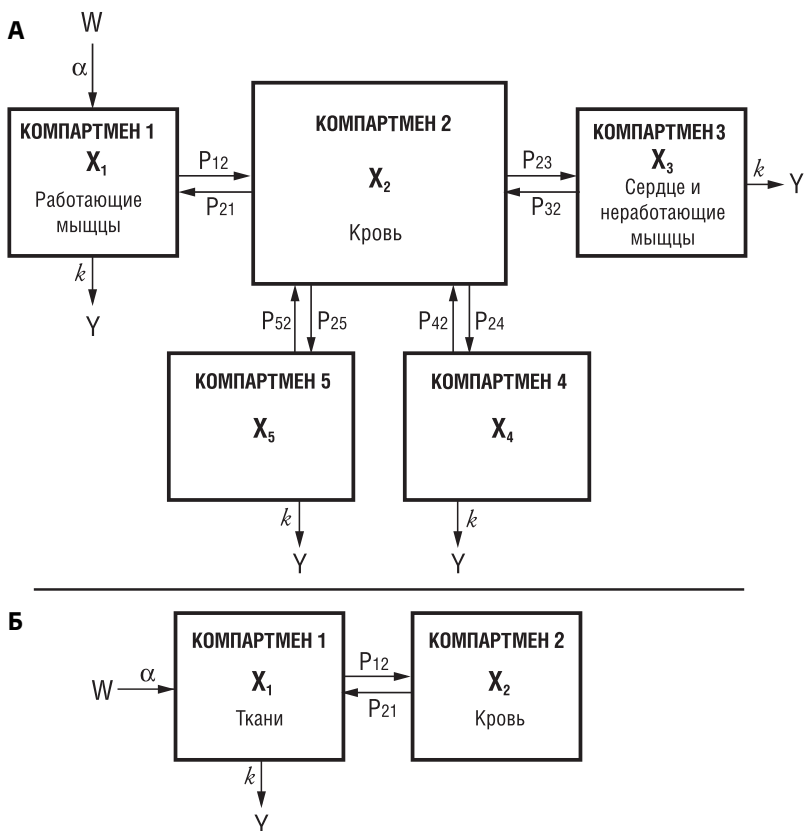


Рис. 3. Схематическое представление кинетической модели энергетического обмена в условиях напряженной мышечной деятельности:

А — схема модели, построенной на основе известных фактов образования, распределения и устранения в организме человека субстратов окисления, образующихся при мышечной работе; Б — схема обобщенной двухкомпонентной системы, эквивалентной многокомпонентной системе А

рости диффузии образующегося субстрата окисления между отдельными компартментами. Как следует из приводимой

схемы, компартмент 1 (работающие мышцы), где образуется и частично устраняется субстрат окисления, связан посредством диффузии с центральным компартментом 2 (кровь), который объединяет между собой несколько периферийных компартментов (3–5). Основываясь на известных данных о локализации центров окисления молочной кислоты в организме человека, в данной модели помимо работающих мышц были выделены еще четыре органа, где может устраняться молочная кислота: сердце, печень, корковый слой почек и неработающие мышцы.

Согласно общему правилу кинетики многокомпонентных систем (В.Н. Новосельцев, 1978; J. Jacauez, 1972; H.D. Landahl, 1963; C.M. Mathews, 1957; C.W. Sheppard, 1962; P.G. Welling, 1986), поведение метаболита, обменивающегося между отдельными компартментами в системе, следует сложной экспоненциальной зависимости, для которой число слагаемых экспоненциалов должно быть равно числу периферических компонентов плюс один центральный компонент. В нашем случае это должно привести к уравнению, состоящему из шести экспоненциальных слагаемых. В то же время ни в одном из прежних исследований кинетики кислородного потребления и динамики молочной кислоты в крови у человека при мышечной деятельности (W.E. Berg, 1947; V. Brodan, J. Marek, E. Kuhn, 1965; P. Cerretelli, D. Shindell, P.R. Pendorgast, P.E. di Prampero, D.W. Rennie, 1977; F.M. Henry, 1951, 1959; F.M. Henry, J. De Moor, 1956; A.V. Hill, H. Lupton, 1922, 1923; M. Mahler, 1979, 1960; R. Margaria, 1976; R. Margaria, F. Mangili, F. Cuttica, P. Cerretelli, P.E. di Prampero, 1965; J. Royce, 1962; B. Whip, 1971) не было обнаружено более двух экспоненциальных составляющих. Такое положение вещей, когда, несмотря на заведомо более сложное построение метаболизирующей системы, кинетическая кривая следует биэкспоненциальной зависимости, описано рядом авторов (C.W. Sheppard, A.S. Householder, 1951; M.L. Shore, 1961; M.L. Shore R. Callahan, 1962, 1963) и обычно трактуется как результат слияния (lumping) нескольких периферических компартментов системы в один общий.

Основываясь на этих фактах, для вывода уравнений, описывающих накопление субстрата окисления в условиях напряженной мышечной деятельности, мы использовали более упрощенную схему метаболизирующей системы, составленную только из двух обменивающихся между собой компартментов (см. рис. 3, Б). На этой схеме компартмент 1 представляет собой все ткани организма, где происходит образование и устранение субстрата окисления. Компартмент 2, связанный с компартментом 1 константами переноса P_{12} и P_{21} представляет центральное фондовое пространство, объединяющее между собой отдельные органы и ткани. В организме человека таким центральным фондовым пространством является кровь.

Исходя из представленных на схеме взаимосвязей метаболических переменных, динамика содержания субстрата X_1 в компартменте 1, где происходит его окислительное устранение, должна описываться следующим однородным линейным дифференциальным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$\frac{d^2x_1}{dt} + (k + p_{12} + p_{21}) \frac{dx_1}{dt} + k \times p_{21} X_1 = p_{21} \times a \times W. \quad (1)$$

Его решением будет:

$$X_1 = -\alpha_1 e^{-k_1 t} - \alpha_2 e^{-k_2 t} + \alpha_3. \quad (2)$$

Здесь α_i — постоянные интегрирования, определяемые из начальных условий, k_1 и k_2 — корни соответствующего характеристического уравнения, при этом $|k_1| > |k_2|$.

В начальный момент работы при $t=0$, $\alpha_3 = \alpha_1 + \alpha_2$. Исходя из этого, уравнение (2) может быть преобразовано в следующий вид:

$$X_1 = \alpha_1 (1 - e^{-k_1 t}) + \alpha_2 (1 - e^{-k_2 t}). \quad (3)$$

В период восстановления после окончания упражнения, когда W становится равным нулю, в соответствии с описанной кинетической моделью мы имеем:

$$\frac{d^2x_1}{dt} + (k + p_{12} + p_{21}) \frac{dx_1}{dt} + k \times p_{21} X_1 = 0. \quad (4)$$

Решением для этого дифференциального уравнения будет:

$$X_1 = b_1 e^{-k_1' t} + b_2 e^{-k_2' t}. \quad (5)$$

Константы скорости в уравнении (5) определяются теми же выражениями, что и соответствующие константы в уравнении (2). Значения же постоянных интегрирования b_1 и b_2 также устанавливаются, исходя из начальных условий.

Поскольку скорость потребления O_2 в организме человека равна скорости окислительных превращений в тканях, то

$$V_{O_2} = \frac{dY}{dt} = kX, \quad (6)$$

для того чтобы перейти от уравнений, описывающих изменения субстрата окисления, к выражениям для скорости потребления O_2 , следует умножить обе части уравнений (3) и (5) на значение константы скорости окисления k .

В этом случае для скорости потребления O_2 во время упражнения можно будет записать:

$$V_{O_2} = V_{O_2}^1 (1 - e^{-k_1 t}) + V_{O_2}^2 (1 - e^{-k_2 t}), \quad (7)$$

а для скорости потребления O_2 в период восстановления —

$$V_{O_2} = V_{O_2}^1 \times e^{-k_1' t} + V_{O_2}^2 \times e^{-k_2' t}, \quad (8)$$

где $V_{O_2}^1$ и $V_{O_2}^2$ — значения составляющих фракций общего потребления O_2 в стационарном режиме работы или в на-

чальный момент восстановления, k_1 , k_2 , и k_1' , k_2' — константы скорости потребления O_2 во время работы и в период восстановления, t — время работы или восстановления.

Суммарное количество O_2 , потребленного за время упражнения, определяется выражением:

$$\Sigma V_{O_2} = V_{O_2}^1 \left(t + \frac{1}{k_1} e^{-k_1 t} - \frac{1}{k_1} \right) + V_{O_2}^2 \left(t + \frac{1}{k_2} e^{-k_2 t} - \frac{1}{k_2} \right), \quad (9)$$

а величина «восстановительного излишка» потребления O_2 , т.е. величина кислородного долга, — выражением

$$\Sigma V_{O_2} = \frac{V_{O_2}^1}{k_1'} + \frac{V_{O_2}^2}{k_2'} . \quad (10)$$

Уравнение, описывающее динамику содержания молочной кислоты в крови, имеет вид:

$$L_t = L_o (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t}), \quad (11)$$

где L_t — концентрация молочной кислоты в крови в любой момент после начала работы, L_o — наивысшая концентрация молочной кислоты в крови, достигаемая при выполнении упражнения, λ_1 и λ_2 — константы скорости накопления и устранения молочной кислоты ($\lambda_1 > \lambda_2$).

Для подтверждения действительности условий, постулированных в представленной выше кинетической модели, необходимо проверить экспериментальным путем пригодность выведенных уравнений кинетики O_2 -потребления и содержания молочной кислоты в крови в возможно более широкой области мышечных усилий, существенно различающихся по уровню энергетического запроса.

1.2. Методы и организация экспериментальных исследований

На различных этапах проводимых исследований в качестве испытуемых приняли участие 175 спортсменов высокой квалификации (от I разряда до мастеров спорта международного класса) в возрасте от 17 до 32 лет и весом тела от 56 до 92 кг. В момент проведения исследований все испытуемые были здоровы и находились в состоянии высокой тренированности.

Для установления динамики механической производительности и метаболических сдвигов в усилиях максимальной мощности две группы испытуемых численностью в 12 и 70 человек выполнили на велоэргометре «Монарк» (Швеция) серию упражнений с установкой на достижение максимальной частоты педалирования при следующей градации продолжительности усилий — 3, 5, 6, 9, 10, 12 и 15 с. Испытуемые первой группы в каждом из указанных временных диапазонов развивали максимальную мощность при постоянной величине сопротивления 7 килопаунд. В покое и сразу после окончания упражнения у этих испытуемых с помощью игольчатой биопсии из латеральной части *M. quadriceps femoris* брали пробы мышечной ткани для определения содержания гликогена, молочной кислоты, креатинфосфата, а также для установления активности креатинфосфокиназы (КФК). В покое перед стартом, непрерывно по ходу выполнения упражнения и в течение 20 мин восстановительного периода производились заборы проб крови для определения концентрации молочной кислоты и кислотно-щелочного равновесия. Испытуемые второй группы в указанных временных интервалах стремились развить максимальную частоту педалирования при разной величине механического сопротивления — от 3 до 7,5 килопаунд. В остальном программа экспериментов в этой группе не отличалась от таковой в первой группе испытуемых.

При изучении динамики скорости в спринтерском беге были обследованы две группы спортсменов: первая группа состояла из 35 высококвалифицированных бегунов на короткие дистанции, вторая группа была составлена из 23 начинающих спортсменов. Для регистрации скорости бега был использован спидографический метод, разработанный В.М. Абалаковым (1960). При расчете основных параметров кривой скорости бега применяли графоаналитический метод, где в качестве математической модели изучаемого явления было использовано биэкспоненциальное уравнение, предложенное Ф.М. Генри (F.M. Henry, 1954).

Исследования кинетики молочной кислоты в крови, потребления кислорода в период работы и отдыха и энергетической стоимости упражнений проводили на трех группах испытуемых численностью 41, 48 и 54 человека, которые были обследованы в работе на велоэргометре, плавании и беге на различные дистанции. Испытуемые первой группы выполнили в лабораторных условиях на велоэргометре серию упражнений с предельной продолжительностью 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360 и 600 с. Кроме того, все эти спортсмены прошли испытания в тесте «на удержание критической мощности». Спортсмены, вошедшие в состав второй группы, были обследованы на различных дистанциях бега, преодолеваемых на разной скорости, в том числе и на рекордной в условиях ответственных соревнований. Спортсмены третьей группы были обследованы на различных дистанциях плавания, преодолеваемых разным стилем в условиях контрольных «прикидок» и соревнований.

Пробы крови на определение содержания молочной кислоты и кислотно-щелочного равновесия в этих опытах брали из разогретых кончиков пальцев рук непрерывно во время работы (в лабораторных опытах) и в течение 30 мин восстановительного периода. В ряде лабораторных опытов с работой на велоэргометре непрерывный забор проб крови осуществляли путем катетеризации α brachialis. Заборы проб выдыхаемого воздуха в покое, после разминки перед началом

упражнения, непрерывно во время работы и в течение 30 мин восстановительного периода осуществляли с помощью автоматического газового коллектора с заборными емкостями вместимостью от 8 до 20 л воздушной смеси. Испытуемые дышали через маску с небольшим «мертвым» пространством, снабженную двумя дыхательными клапанами и соединенную пластиковой трубой с автоматическим коллектором. Конструкция автоматического коллектора позволяла производить заборы проб выдыхаемого воздуха непрерывно от вдоха к вдоху или по заранее установленному кратному числу выдохов или по времени забора.

Определение концентрации O_2 и CO_2 в заборных емкостях производилось с помощью оксиганализатора ММГ-7 и CO_2 -анализатора ГУМ-3 отечественного производства, а также с использованием анализаторов ОМ-11 и В-2 фирмы «Беккман» (США), которые предварительно калибровались по стандартным газовым смесям. Измерения объема забранных проб воздуха выполняли с помощью сухого газометра высокой точности. В части опытов газометрические определения осуществляли с использованием мониторной системы ММС фирмы «Беккман». Измерения на этой аппаратуре велись в режиме ручного управления от вдоха к вдоху.

Данные газометрических измерений через преобразователь «аналог — код» Ф-722 вводились в цифровую вычислительную машину БЭСМ-6. Программа расчетов на ЭВМ предусматривала получение в форме телетайпной записи значений минутного объема легочной вентиляции, уровня потребления O_2 и выделения CO_2 , приведенных к условиям STPD, значений дыхательного коэффициента и «неметаболического излишка» CO_2 . Наряду с расчетом этих показателей вычислительная программа обеспечивала также аппроксимацию экспериментальных данных о потреблении O_2 в период работы и восстановления по уравнению биэкспоненциальной зависимости. Общие размеры образованного O_2 -долга рассчитывали как сумму его быстрого и медленного компонентов. Размеры общего O_2 -запроса упражнения определяли, как сумму величин

O₂-прихода и O₂-долга, уровень O₂-запроса упражнения устанавливали путем деления величины общего O₂-запроса на время работы. Размеры аэробной энергопродукции устанавливали путем умножения величины O₂-прихода за время упражнения на калорический коэффициент 5 (1 л O₂, потребленного при работе, эквивалентен 5 ккал выделенной энергии). Для расчета величин гликолитической анаэробной энергопродукции использовали установленные значения максимума накопления молочной кислоты в крови. Исходя из допущения, что в момент достижения максимума молочной кислоты в крови устанавливается равновесие между ее концентрациями в тканевом и кровяном компартментах, по известному уравнению (R. Margaria, 1963) определяли общее количество молочной кислоты, образованной за время работы: $L \text{ (г/кг)} = 0,6/0,8 : 100 \times L \text{ (мг\%)}$, где $L \text{ (г/кг)}$ — общее количество образованной молочной кислоты г на кг веса тела, $L \text{ (мг\%)}$ — концентрация молочной кислоты в крови (мг%), 0,6 — относительная концентрация воды в тканях, 0,8 — относительная концентрация воды в крови. Калорический коэффициент для 1 г молочной кислоты, образованной в ходе гликолиза, был принят равным 220 кал (R. Margaria, 1976; P.E. di Prampero, 1973).

Величины энергопродукции в алактатном анаэробном процессе устанавливали по размерам «быстрой» фракции O₂-долга, полагая, что 1 л «восстановительного излишка» потребления O₂ эквивалентен 2,82 ккал, выделенных при расщеплении КрФ в анаэробной фазе работы.

Для определения концентрации молочной кислоты в крови использовали колориметрический метод Баркера и Саммерсона (S.B. Barker, W.H. Summerson, 1941), частично, в модификации Штрома (G. Ström, 1949). Концентрацию молочной кислоты в мышечной ткани определяли с помощью энзиматического метода (H.J. Hohorst, 1977), используя для этой цели стандартные наборы реактивов фирмы «Берингер» (ФРГ).

Для определения содержания креатинфосфата в мышечной ткани применяли энзиматический метод Фаваз и Даля (E.N. Fawaz, G. Fawaz, R. von Dahl, 1962). Измерения показателей

кислотно-щелочного равновесия крови выполняли с использованием микроанализаторов ИЛ-213 фирмы «Инструментейшн лаборатории» (США) и BMS-2М фирмы «Радиометр» (Дания).

1.3. Динамика механической производительности и кинетика процессов анаэробного образования энергии в упражнениях максимальной мощности

Распад фосфагенов при мышечной работе прямо пропорционален мощности выполняемого упражнения (P. Cerretelli, J. Piiper, F. Mangili, 1964; J. Karlsson, 1979; M. Makler, 1980; R. Margaria, 1967, 1976; R. W. McGilvery, 1970, 1975; P. E. di Prampero, 1971, 1973, 1981; R. J. Shephard, 1976). Исходя из этого факта, можно предположить, что отслеживание кинетики алактатного анаэробного процесса возможно выполнить как путем прямых биохимических измерений содержания АТФ и КрФ в работающих мышцах, так и путем эргометрических определений мощности и количества выполненной работы при максимальных мышечных усилиях. Реализация этих возможностей была осуществлена нами в двух видах упражнений, допускающих точную количественную регистрацию величины мышечных усилий, — в работе на велоэргометре и в спринтерском беге.

Динамика показателей механической мощности, содержания КрФ в работающих мышцах и накопления молочной кислоты в крови у спортсменов при выполнении на велоэргометре максимальных упражнений разной длительности изображена на графике рис. 4.

Максимальные значения мощности выполняемого упражнения обычно достигаются на 3-й с от начала работы, они поддерживаются неизменными несколько более 5 с упражнения ($t_{уд.} = 5,31 \pm 0,43$), а затем обнаруживают систематическое понижение с увеличением времени работы. За время, в течение которого удерживается максимальная мощность, содержание КрФ в работающих мышцах уменьшается от 17,6 мМ до 8,7 мМ,

т.е. примерно на половину от исходного значения в покое. До тех пор пока не будет израсходован этот резерв фосфагенов в работающих мышцах, не отмечается сколь-нибудь заметной активации анаэробного гликолиза, вызывающей увеличение содержания молочной кислоты в работающих мышцах и крови. В тот момент, когда отмечается снижение максимальной мощности упражнения, содержание молочной кислоты в крови лишь ненамного превышает значение покоя (около 30 мг%), но в интервалах времени упражнения, превышающих значение t_{yA} , скорость накопления молочной кислоты резко усили-

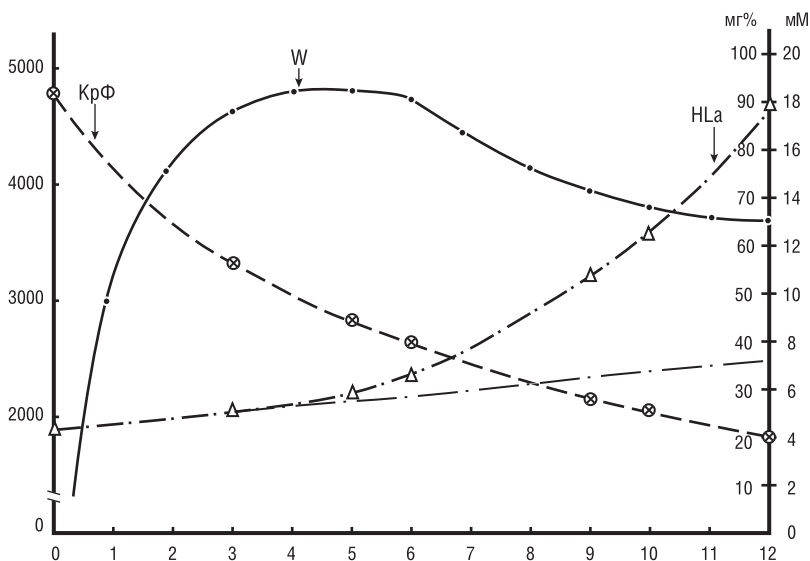


Рис. 4. Динамика показателей мощности, содержания креатинфосфата в работающих мышцах и накопления молочной кислоты в крови у спортсменов при выполнении максимальных упражнений:

на ординате: слева – мощность выполняемого упражнения, кгм/мин; справа – содержание КрФ в мышцах, мм/кг сырого веса мышечной ткани, и концентрация молочной кислоты в крови, мг%;
на абсциссе – время выполнения упражнения, с

вается. На 12-й с максимального упражнения, концентрация молочной кислоты в крови у обследованных нами спортсменов составляла уже $79 \pm 3,4$ мг%.

Между образованием молочной кислоты и содержанием фосфагенов в работающих мышцах при максимальных усилиях существует обратная зависимость (рис. 5).

При малых значениях времени упражнения, когда еще возможно поддержание максимальной мощности, отмечается быстрое расходование внутримышечных запасов фосфагенов

(отношение $\frac{dPG}{dHLA} \geq 1,5$). В фазе утомления, где отмечается снижение мощности выполняемого упражнения, соотношение темпов расхода фосфагенов и образования молочной кислоты

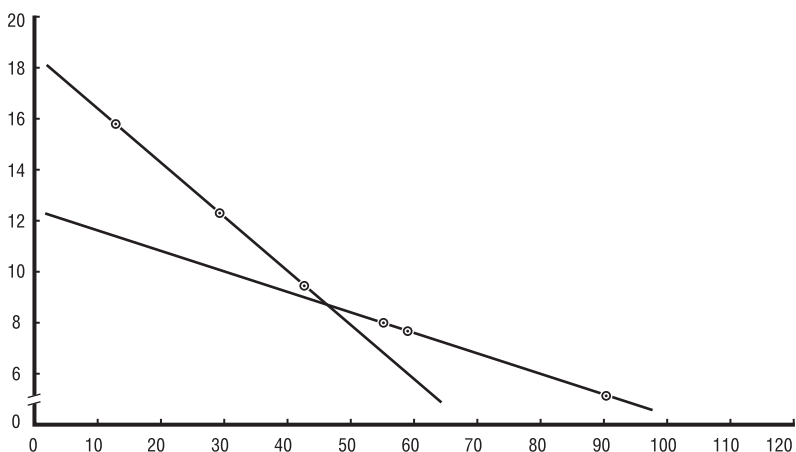


Рис. 5. Взаимосвязь между содержанием креатинфосфата в работающих мышцах и концентрацией молочной кислоты в крови у спортсменов при выполнении на велоэргометре упражнений максимальной мощности:

на ординате — содержание КрФ в мышцах, мМ/кг сырого веса;

на абсциссе — концентрация молочной кислоты в крови, мг%

резко изменяется в пользу последней (отношение $\frac{dPG}{dHL_a} \leq 1,0$).

При развитии и поддержании максимальной мощности между количеством распавшихся фосфагенов и общим объемом выполненной работы обнаруживается прямая зависимость (рис. 6). При этом скорость алактатной анаэробной энергопродукции линейно возрастает с увеличением относительной мощности выполняемого упражнения.

В спринтерском беге изменения механической производительности достаточно точно могут быть описаны с помощью следующего экспоненциального выражения:

$$v(t) = v_0 (e^{-k_2 t} - e^{-k_1 t}), \quad (12)$$

где $v(t)$ — скорость бега, достигнутая к моменту времени t ,

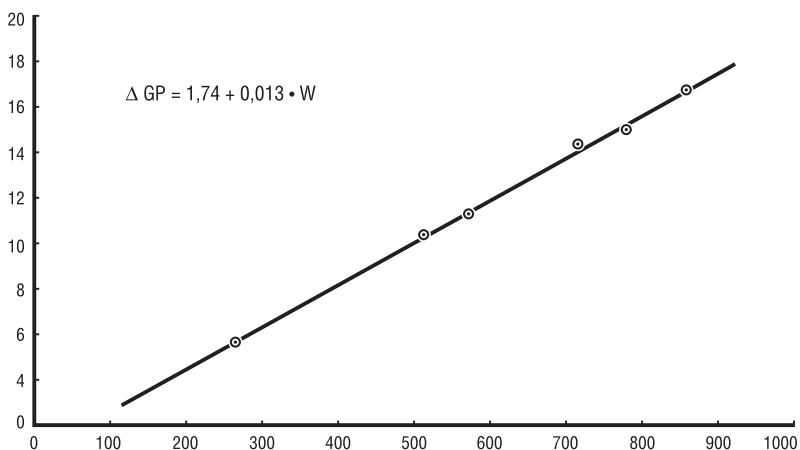


Рис. 6. Взаимосвязь между количеством распавшегося креатинфосфата и общим объемом выполненной работы при максимальных упражнениях на велоэргометре:

на ординате — количество распавшегося КрФ, мм/кг сырого веса мышц;

на абсциссе — количество выполненной механической работы, кгм

v_0 — наибольшее значение скорости, которое может быть достигнуто в отсутствии утомления;

k_1 — константа скорости, характеризующая стартовое ускорение;

k_2 — константа скорости, определяющая снижение механической производительности в беге из-за утомления.

График кривой скорости в спринтерском беге с обозначением основных параметров экспоненциального уравнения (12) приведен на рис. 7.

Средние значения основных параметров кривой скорости и соответствующие им величины стандартного отклонения, рассчитанные по данным испытуемых, имевших разный уровень подготовки в спринтерском беге, а также критерии достоверности различий между выборочными средними приведены в табл. 1.

Достоверные различия между квалифицированными спринтерами и начинающими бегунами обнаруживаются в показателях максимальной и предельно достижимой ско-

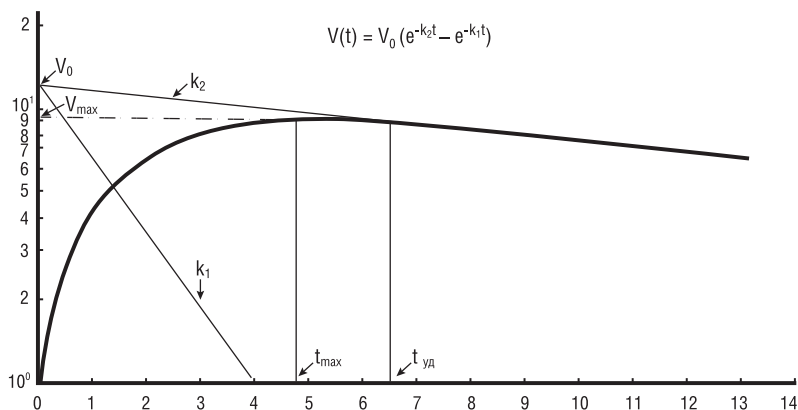


Рис. 7. Кривая скорости в спринтерском беге, представленная в полулогарифмической системе координат:

на ординате (логарифмическая шкала) — скорость бега, $мс^{-1}$;

на абсциссе — время бега, $с$

Таблица 1. Значения основных параметров кривой скорости бега у спринтеров и начинающих бегунов

№ п/п	Показатели	Спринтеры (n=35)	Начинающие бегуны (n = 23)	Достоверность различий
1.	$v_{\max}$, м/с	9,005±0,223	7,586±0,572	<0,001
2.	$v_{0'}$, м/с	12,008±0,697	9,939±1,014	<0,001
3.	$t_{\max}$, с	4,658±0,362	4,211±0,208	<0,001
4.	$t_{уд.}$, с	6,582±0,390	6,926±0,715	<0,01
5.	k_1 , с	0,604±0,094	0,602±0,046	>0,05
6.	k_2 , с	0,027±0,027	0,025±0,015	>0,05
7.	$t_{30\text{ м}^*}$, с	4,229±0,167	4,902±1,260	<0,001
8.	$t_{100\text{ м}^*}$, с	11,023±0,362	14,408±1,040	<0,001
9.	Рекордные $t_{100\text{ м}^*}$, с	10,770±0,334	–	–

рости, а также времени достижения максимальной скорости. Не отмечено достоверных различий между бегунами разной степени подготовки в показателях скорости стартового разбега k_1 и скорости развития утомления k_2 . Это совпадает с результатами исследований Ф.М. Генри (F.M. Henry, 1954), который также не обнаружил каких-либо различий в константах k_1 и k_2 у квалифицированных бегунов на короткие дистанции и студентов университета.

1.4. Кинетика молочной кислоты в крови у спортсменов при напряженной мышечной деятельности

Молочная кислота — конечный продукт анаэробного распада углеводов в работающих мышцах. Ее образование в результате гликолитической оксидоредукции происходит в строгой стехиометрии к количеству метаболизируемых субстратов (глюкозы или гликогена) и количеству АТФ, ресинтезируемой в реакциях гликолитического фосфорилирования

(В. В. Дынник, 1984; В. П. Скулачев, 1969; G. A. Brooks, T. D. Fahey, 1985; P. W. Hochachka, 1980; P. D. Gallnick, L. Hermansen, 1973; L. Hermansen, 1969, 1971; E. Hultman, L. H. Nilsson, 1971; J. Karlsson, 1971; J. Keul, E. Doll, D. Keppler, 1969; A. L. Lehninger, 1973, 1978; E. Newsholme, T. Leech, 1983; R. Margaria, 1969, 1976; R. W. McGilvery, 1975; P. E. di Prampero, 1971, 1978). Относительно небольшая по своим размерам молекула молочной кислоты легко диффундирует из работающих мышц во внеклеточное пространство (E. Asmussen, 1950; A. V. Hill, 1928; E. Newmann, 1938) и с током крови быстро перераспределяется в организме В. Diamant, J. Karlsson, B. Saltin, 1969; A. Holmgren, G. Ström, 1959; J. L. Newton, S. Robinson, 1965). Отслеживая кинетику молочной кислоты в крови, нетрудно составить точное представление о степени усиления анаэробного метаболизма при работе и установить предельные возможности человека противостоять утомлению, возникающему в условиях неадекватного снабжения тканей кислородом.

Примеры кинетических кривых «накопление — устранение» молочной кислоты и показателей кислотно-щелочного равновесия крови у спортсменов при выполнении на велоэргометре упражнений разной мощности и продолжительности приведены на графиках рис. 8. Сходные кинетические кривые были зарегистрированы при плавании и беге на разные дистанции.

Примененная в наших исследованиях методика быстрых, непрерывных заборов проб крови позволила выявить в кинетической кривой «накопление — устранение» молочной кислоты ряд деталей, которые при обычной методике взятия проб крови оставались незамеченными. К числу таких наиболее важных кинетических моментов следует отнести наличие кратковременного (15–30 с) лаг-периода в начале упражнения, появление отставленного максимума после окончания упражнения и обнаруживающиеся на многих индивидуальных кривых выраженные осцилляторные отклонения от экспоненциального хода кривой в процессе восстановления.

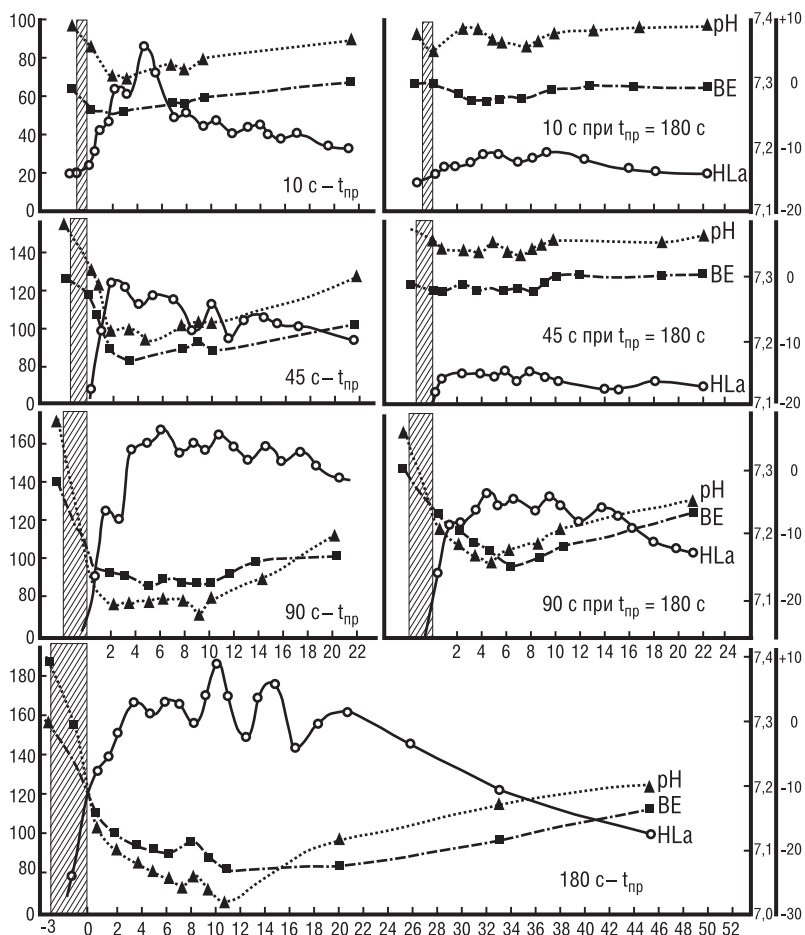


Рис. 8. Кинетика молочной кислоты и показателей кислотно-щелочного равновесия в крови у спортсменов при выполнении упражнений разной мощности и продолжительности:

на ординате: слева — концентрация молочной кислоты в крови, мг%; справа — значения pH и BE крови (мЭкв/л);
на абсциссе — время работы и восстановления, мин (заштрихованное пространство соответствует времени работы)

Для установления наличия осцилляторных изменений в кривой «накопление — устранение» молочной кислоты был использован следующий прием. После выравнивания экспериментальных точек и определения параметров сглаженной кривой в полулогарифмическом графике, разности действительных значений концентрации молочной кислоты в крови и соответствующих им значений расчетной кривой откладывали против времени в обычном графике, где были нанесены 95% доверительные пределы для ошибки метода. Наличие осцилляторности считалось доказанным, если размах колебаний разностных значений выходил за границы доверительной области (рис. 9).

Установлено, что осцилляторность в кривых «накопление — устранение» молочной кислоты в крови увеличивается с возрастанием тяжести нагрузки (табл. 2).

Проявление осцилляторности в кинетике молочной кислоты при напряженной мышечной работе носит индивидуальный характер: у отдельных испытуемых осцилляторность вообще не удавалось наблюдать, ни при каких условиях работы.

В настоящее время не представляется возможным строго идентифицировать причины наблюдаемой осцилляции в кривой «накопление—устранение» молочной кислоты в крови. Тем не менее установление количественных характеристик осцилляторной кинетики молочной кислоты может

Таблица 2. Частота появления осцилляторности в индивидуальных кривых «накопление — устранение» молочной кислоты в крови у спортсменов при разной относительной мощности выполняемых упражнений

Уровень относительной мощности упражнения, ед. MMR	Общее число проанализированных случаев	Относительная частота появления осцилляторности в кинетических кривых ($N_{\text{осц.}}/N_{\text{общ.}}$)
1 – 3 ед. MMR	463	0,31
3 – 6 ед. MMR	1021	0,67
6 – 12 ед. MMR	346	0,92

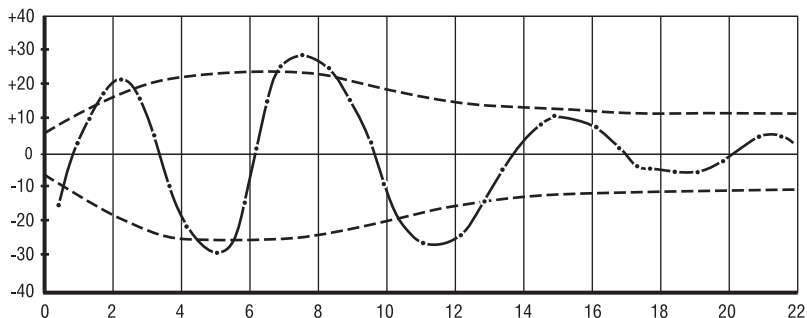


Рис. 9. Проверка гипотезы о существенности осцилляторных изменений в кривой «накопление — устранение» молочной кислоты в крови:

на ординате — значения разности между измеренными значениями концентрации молочной кислоты в крови и значениями, рассчитанными путем аппроксимации экспериментальных данных по уравнению (16), мг%;
на абсциссе — время, мин. Пунктирные линии на графике ограничивают доверительную область, установленную по значениям ошибки метода

иметь столь же важное значение, как и определение основных кинетических параметров — $L_{\max}$, λ_1 , λ_2 .

Зависимость максимума накопления молочной кислоты в крови от мощности выполняемого упражнения представлена на графике (рис. 10, А), где отложены результаты опытов в работе на велоэргометре. Она имеет вид линейной функции, наклон которой повышается вместе с увеличением продолжительности упражнения. С увеличением продолжительности упражнения, выполняемого при фиксированном значении мощности, максимум накопления молочной кислоты растет в экспоненциальной манере, достигая своих наивысших значений при предельной продолжительности упражнения в 60–90 с (рис. 10, Б).

Изменение кинетических констант скорости накопления и устранения молочной кислоты в условиях напряженной мышечной работы иллюстрирует график на рис. 11.

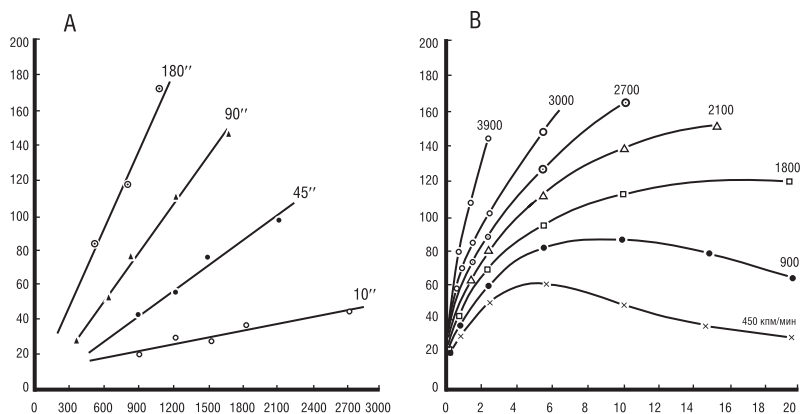


Рис. 10. Зависимость максимума накопления молочной кислоты в крови от мощности и времени выполнения упражнения:

на ординате — значения максимума накопления молочной кислоты в крови, мг%;

на абсциссе — А — мощность, кпм/мин, Б — предельное время, мин

Кинетическая константа, характеризующая изменения скорости образования молочной кислоты в процессе анаэробного гликолиза, линейно увеличивается вместе с ростом «относительной мощности» выполняемого упражнения. Константа скорости устранения молочной кислоты, зависящая от скорости диффузии, величины кровотока в работающих мышцах и скорости окислительного устранения молочной кислоты в тканях, экспоненциально понижается с увеличением относительной тяжести упражнения.

1.5. Кинетика потребления кислорода при напряженной мышечной деятельности

В кинетике потребления O_2 при напряженной мышечной деятельности находят свое интегральное выражение все те сложные, многообразные процессы, которые

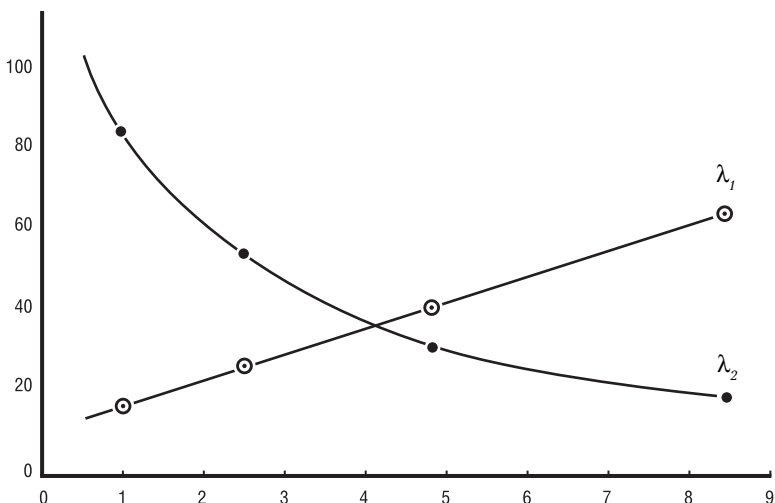


Рис. 11. Зависимость скоростей накопления и устранения молочной кислоты в крови — от относительной мощности упражнения:

по оси абсцисс — относительная мощность упражнения, ег. ММР;

по оси ординат — значения констант скорости накопления (λ_1) и скорости устранения (λ_2) молочной кислоты (мин^{-1}). Светлые кружки, соединенные тонкой линией, представляют изменения константы скорости накопления молочной кислоты; темные кружки, соединенные сплошной жирной линией, представляют изменения константы скорости устранения молочной кислоты. Константе скорости накопления молочной кислоты соответствуют значения ординаты, умноженные на 10^{-2} , а константе скорости устранения — те же значения, умноженные на 10^{-3}

обеспечивают усиление аэробного метаболизма в тканях (J. Auchincloss, R. Gilbert, J. Keighley, G. Baule, 1964; P. Cerretelli, D. W. Rennie, P. P. Pendergrast, 1980; F. M. Henry, 1951; F. M. Henry, J. DeMoor, 1956; A. V. Hill, H. Lupton, 1922; V. L. Katch, 1973; M. Mahler, 1979, 1980; R. Margaria, 1976; K. Wasserman, B. J. Whipp, 1975; B. G. Whipp, 1975;

В. J. Whipp, K. Wasserman, J. A. Davis, N. Lamara, 1980). Поэтому анализ кинетических особенностей кривой потребления O_2 во время упражнения имеет особо важное значение для количественной оценки изменений, происходящих в сфере энергетического обмена при напряженной мышечной деятельности.

Так же, как и в случае анализа кинетики молочной кислоты в крови, применение техники быстрых непрерывных заборов проб выдыхаемого воздуха дозволило выявить ряд существенных деталей в динамике потребления O_2 при мышечной работе, которые ранее выпадали из поля зрения исследователей. Для сравнения на рис. 12 представлены данные о динамике потребления O_2 , полученные с помощью традиционной техники Дугласа—Холдена и при использовании техники быстрых непрерывных измерений при выполнении 180-секундной предельной работы на велоэргометре. Как видно, результаты, полученные с помощью метода Дугласа—Холдена при длительных заборах проб выдыхаемого воздуха, дают сильно упрощенную картину динамики «рабочего» потребления O_2 . При применении техники быстрых кинетических измерений обнаружались следующие важные детали кривой потребления O_2 :

- а) заметное повышение уровня потребления O_2 в предстартовом периоде перед началом упражнения;
- б) наличие определенной задержки в увеличении скорости потребления O_2 в первые 10—15 с после начала работы;
- в) существование выраженных осцилляторных изменений потребления O_2 при выходе на стационарный режим работы.

Общая картина кинетики потребления O_2 при выполнении упражнений разной мощности и длительности представлена на графиках рис. 13. Здесь хорошо просматриваются отмеченные выше детали поведения кривой «рабочего» потребления O_2 .

С целью более детального анализа кинетики потребления O_2 в начальный период напряженной мышечной деятель-

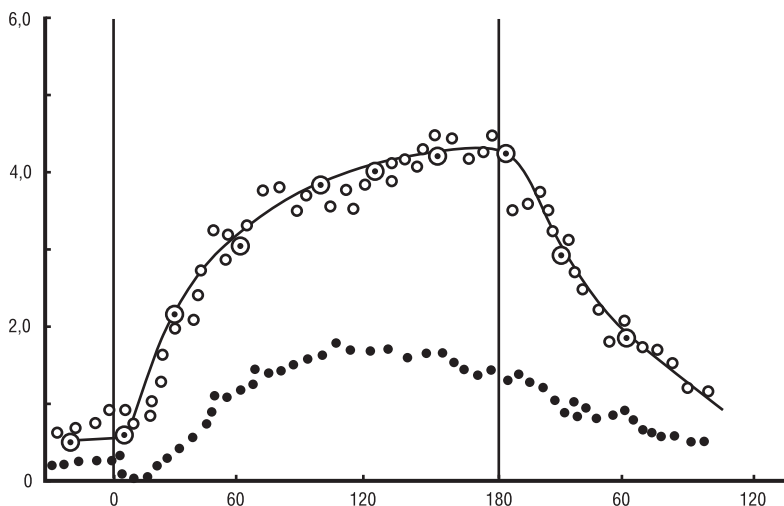


Рис. 12. Кинетика потребления O_2 во время выполнения предельной 180-секундной работы на велоэргометре при разных методах забора проб выдыхаемого воздуха (средние данные шести испытуемых):

на ординате — уровень потребления O_2 и выделения $ExhCO_2$, л/мин;

на абсциссе — время, с;

светлые кружки — заборы проб воздуха за малые интервалы времени с помощью автоматического коллектора; сплошной линией соединены точки, соответствующие заборам проб за 30-секундный интервал времени с использованием методики Дугласа—Холдена. Темные кружки — результаты определения $ExhCO_2$. Вертикальная сплошная линия — начало работы

ности экспериментальные данные были отложены на шкале с большей разверткой времени (см. рис. 14).

На приводимых графиках, построенных по данным одного испытуемого при выполнении им упражнений разной мощности и продолжительности, хорошо заметно пред-

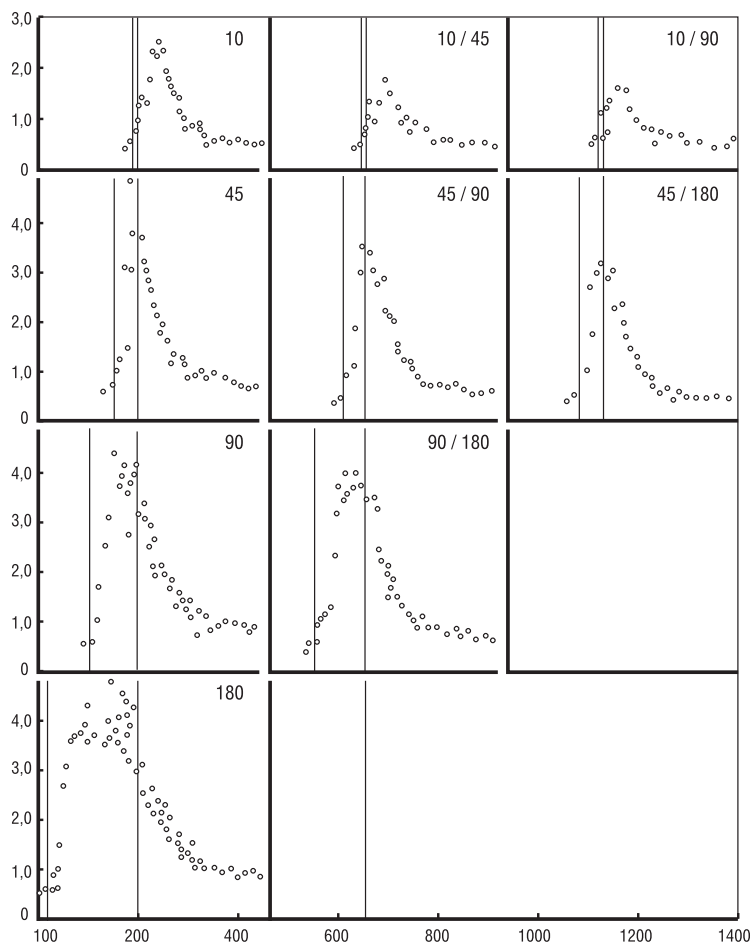


Рис. 13. Кинетика потребления кислорода при выполнении упражнений разной мощности и продолжительности:

на ординате — потребление O_2 , л/мин, на абсциссе — время, с;

обозначения: 10, 45, 90, 180 — упражнения предельной продолжительности в 10, 45, 90 и 180 с; 10/45, 10/90, 45/90, 45/180, 90/180 — в числителе указана продолжительность выполненного упражнения, в знаменателе — предельное время, соответствующее избранной мощности упражнения

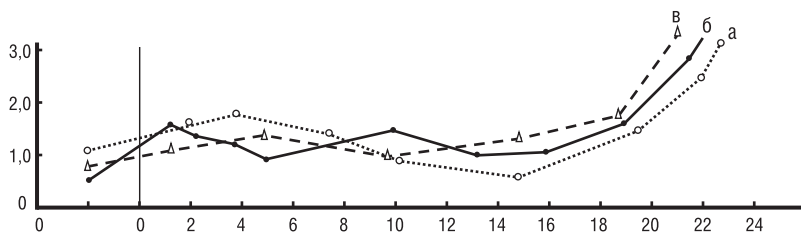


Рис. 14. Начальная задержка в увеличении скорости потребления O_2 при выполнении упражнений разной мощности и продолжительности:

на ординате — уровень потребления O_2 , л/мин,
на абсциссе — время, с;
потребление O_2 в упражнении 45-секундной (а), 90-секундной (б) и 180-секундной продолжительности (в)

стартовое повышение уровня потребления O_2 , достигающее от 0,5 до 1,0 л/мин.

На приводимых графиках, построенных по данным одного испытуемого при выполнении им упражнений разной мощности и продолжительности, хорошо заметно предстартовое повышение уровня потребления O_2 , достигающее от 0,5 до 1,0 л/мин. С началом упражнения в первые 10–15 с уровень потребления O_2 существенно не изменялся, затем происходило дальнейшее экспоненциальное возрастание кривой потребления O_2 .

На рис. 15 представлены три кривые потребления O_2 , полученные по данным одного и того же испытуемого в опытах с выполнением упражнений разной мощности, но одинаковой продолжительности (45 с). Наивысший уровень потребления O_2 здесь соответствует значениям предельной мощности. Снижение мощности выполняемого упражнения сопровождается понижением уровня потребления O_2 . Скорость экспоненциального возрастания потребления O_2 в начальной фазе упражнения также зависит от тяжести нагрузки. В то же время характер изменений потребления O_2 в первые секунды упражнения

и продолжительность наблюдаемой лаг-фазы не зависят от мощности выполняемого упражнения.

В более длительных упражнениях быстрое экспоненциальное возрастание кривой потребления O_2 в период «вработывания» при приближении к стационарному уровню сменялось медленным экспоненциальным возрастанием (см. рис. 16). В упражнениях, длящихся менее 45 с, выделить медленную экспоненциальную компоненту в кривой потребления O_2 не представлялось возможным.

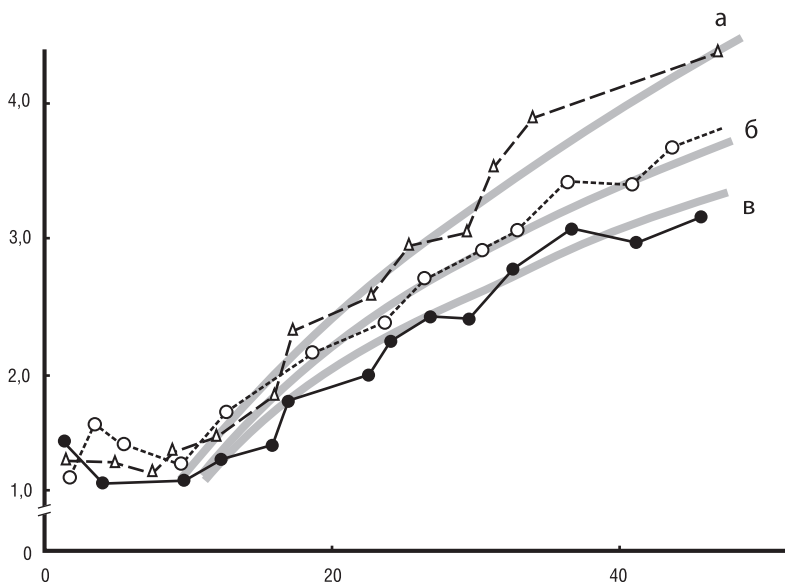


Рис. 15. Кинетика потребления O_2 при выполнении упражнений 45-секундной продолжительности с разной мощностью:

на ординате — уровень потребления O_2 , л/мин,
на абсциссе — время, с;
скорость потребления O_2 при 45-секундном (а),
90-секундном (б) и 180-секундном предельном
упражнении (в);
сплошные линии — усредненные данные

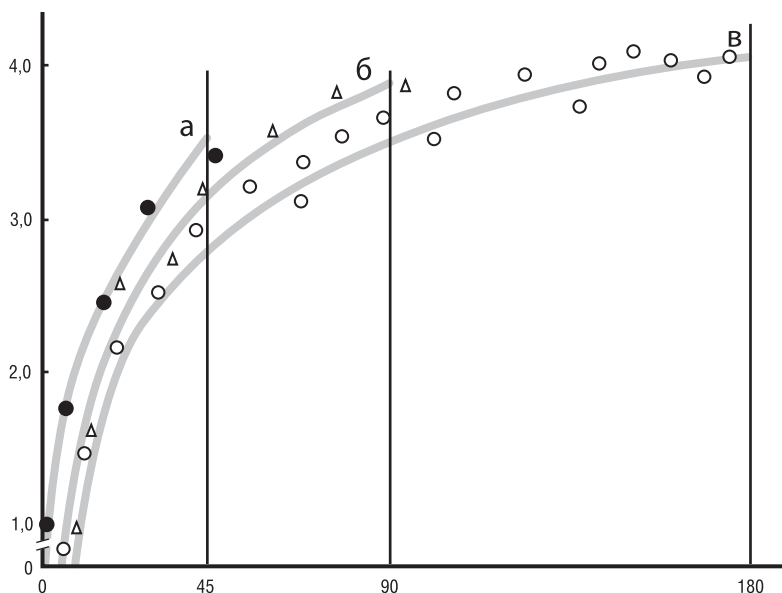


Рис. 16. Кинетика потребления O_2 при выполнении упражнений разной продолжительности при мощности, соответствующей предельной продолжительности работы в 180 с:

на ординате — уровень потребления O_2 , л/мин;

на абсциссе — время, с. Потребление O_2 в упражнении 45-секундной (а), 90-секундной (б) и 180-секундной продолжительности (в)

Поскольку интенсивность выполняемых упражнений превышала значение критической мощности, соответствующей максимальному потреблению O_2 , то уровень потребления O_2 в стационарном режиме работы соответствовал ложному устойчивому состоянию, наблюдающемуся при достижении предельных лимитов доставки O_2 к работающим мышцам. В этих условиях размеры O_2 -прихода при выполнении упражнения линейно возрастают с увеличением предельного времени работы, а уровень потребления O_2 , достигаемый к моменту окончания упражнения («пиковый» уровень), практически не меняется в широком диапазо-

не предельного времени работы, за исключением упражнений предельной продолжительности менее 2 мин, где он экспоненциально нарастает (рис. 17).

1.6. Кинетика оплаты O_2 -долга при напряженной мышечной деятельности

Усиление аэробного метаболизма в мышцах при работе не ограничивается только временем выполнения упражнения, но и распространяется на значительный промежуток времени восстановления после окончания упражнения. Этот феномен повышенного «послерабочего» потребления O_2 получил название кислородного долга (A.V. Hill, C.N. Long, H. Lupton,

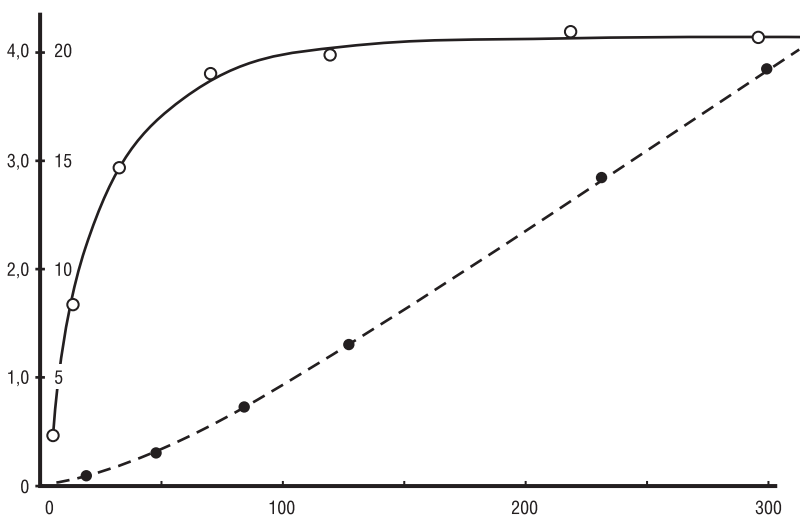


Рис. 17. Зависимость «пикового» уровня потребления O_2 и размеров O_2 -прихода от предельного времени выполнения упражнения:

на ординате: слева — уровень потребления O_2 , л/мин,
справа — величины O_2 -прихода, л;
на абсциссе — предельное время упражнения, с

1923, 1924; R. Margaria, 1963; C.A. Gaesser, G.A. Brooks, 1984). Среди причин, обуславливающих возникновение O_2 -долга при мышечной работе, обычно указываются такие, связанные с затратами АТФ, внутриклеточные процессы, как ресинтез креатинфосфата (D.B. Dill, H.T. Edwards, E.V. Newman, R. Margaria, 1935, 1936; R. Margaria, H.T. Edwards, D.B. Dill, 1933; P.C. Pearl, L.D. Carlson, W. Sherwood, 1956; J. Piiper, P.E. di Prampero, P. Cerretelli, 1968), образование внутримышечных запасов гликогена в процессе глюконеогенеза из молочной кислоты (G. Agnovik, J. Karlson, B. Diamant, B. Saltin, 1969; R.J. Bernard, M.L. Foss, C.H. Tipton, 1970; L. Hermansen, O. Vaage, 1977; H.G. Knuttgen, 1970), восстановление нарушенного при работе ионного и эндокринного равновесия (G.A. Brooks, K.L. Hittelman, J.A. Faulkner, R.E. Bayer, 1971; D.B. Dill, B. Sacktor, 1962), усиление процессов протеиносинтеза (Н.Н. Яковлев, 1974; D.B. Dill, B. Sacktor, 1962) и т.п. Изучение кинетики оплаты O_2 -долга может дать ценную количественную информацию об относительном вкладе процессов аэробного и анаэробного метаболизма в энергетику напряженной мышечной деятельности.

Примеры динамики потребления O_2 в период восстановления после выполнения упражнений на велоэргометре разной мощности и продолжительности приведены на графиках рис. 18.

На представленных графиках отражены все основные типы кинетики потребления O_2 в восстановительном периоде после напряженной мышечной работы. При кратковременных усилиях максимальной мощности ($t_{\text{пр.}} = 15$ с) сразу после окончания упражнения отмечается быстрое возрастание уровня потребления O_2 с достижением «отставленного» максимума на 20–30 с восстановления, после которого происходит экспоненциальное понижение кривой потребления O_2 . В упражнениях, где отмечаются наибольшие величины анаэробных сдвигов ($t_{\text{пр.}} = 30–60$ с), на первых секундах после окончания работы выявляется резкое западение кривой скорости потребления O_2 с последующим быстрым ее увеличением вплоть до максимума, за которым уже следует

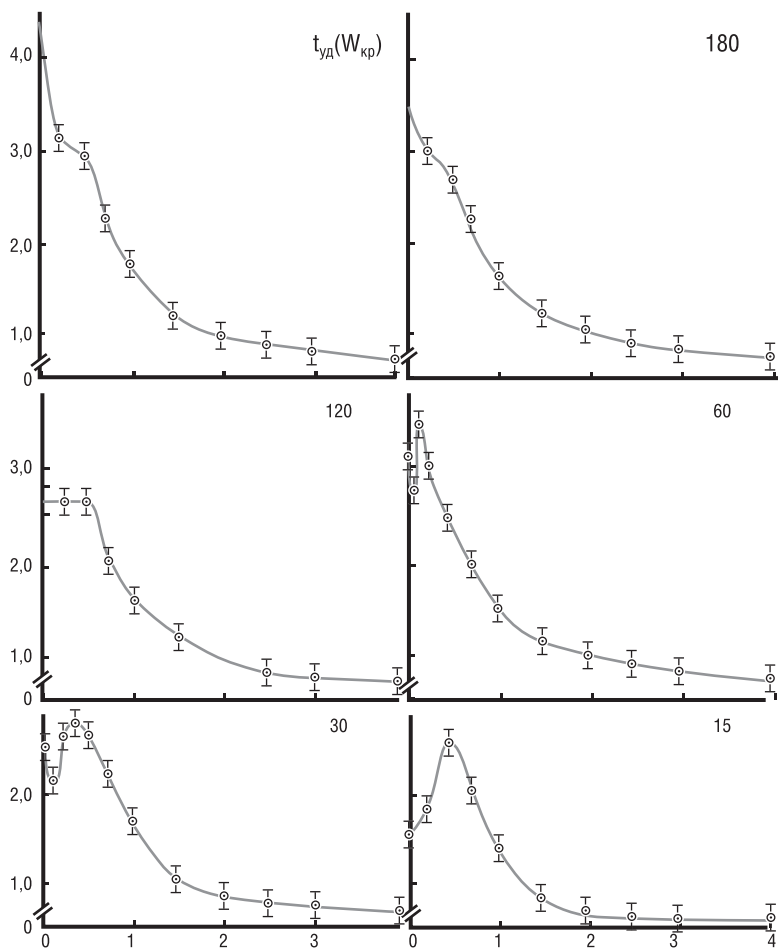


Рис. 18. Кинетика потребления кислорода в период восстановления после выполнения упражнений разной мощности и продолжительности:

на ординате — потребление кислорода, л/мин;

на абсциссе — время, мин;

цифры в углу графиков указывают предельную продолжительность упражнения

фаза экспоненциального понижения. В некоторых случаях ($t_{\text{пр.}} = 120$ с) вслед за окончанием работы возникает непродолжительное плато на кривой скорости потребления O_2 , обычно длящееся около 15–20 с и переходящее затем в фазу экспоненциального понижения. В упражнениях, предельная продолжительность которых обеспечивает выход на стационарный уровень в конце работы ($t_{\text{пр.}} > 3$ мин), экспоненциальное падение кривой потребления O_2 в полном соответствии с требованиями модели начинается сразу вслед за окончанием работы.

Чтобы выявить количественную зависимость показателей O_2 -долга от параметров выполняемого упражнения, данные измерений «восстановительного излишка» потребления O_2 , выполненные в разных типах упражнений, были представлены на единой оси относительной мощности и предельного времени работы (рис. 19 и 20).

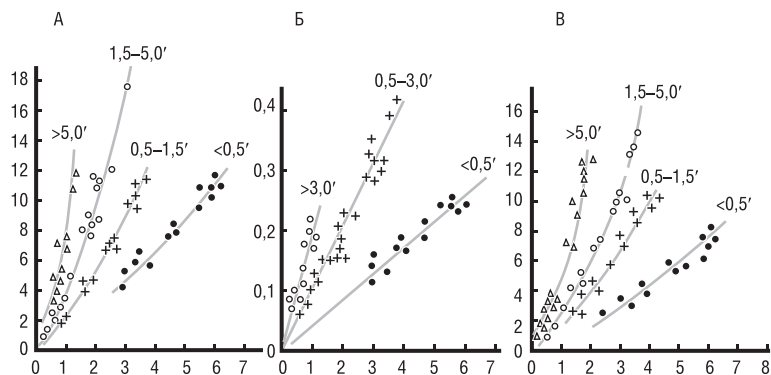


Рис. 19. Зависимость величины суммарного O_2 -долга (А) и составляющих его «быстрой» (Б) и «медленной» (В) фракций от относительной мощности упражнения:

на ординате — размеры суммарного O_2 -долга и составляющих его фракций, л;
на абсциссе — относительная мощность (ег. MMR);
цифровые обозначения у каждой кривой указывают на продолжительность упражнения (мин)

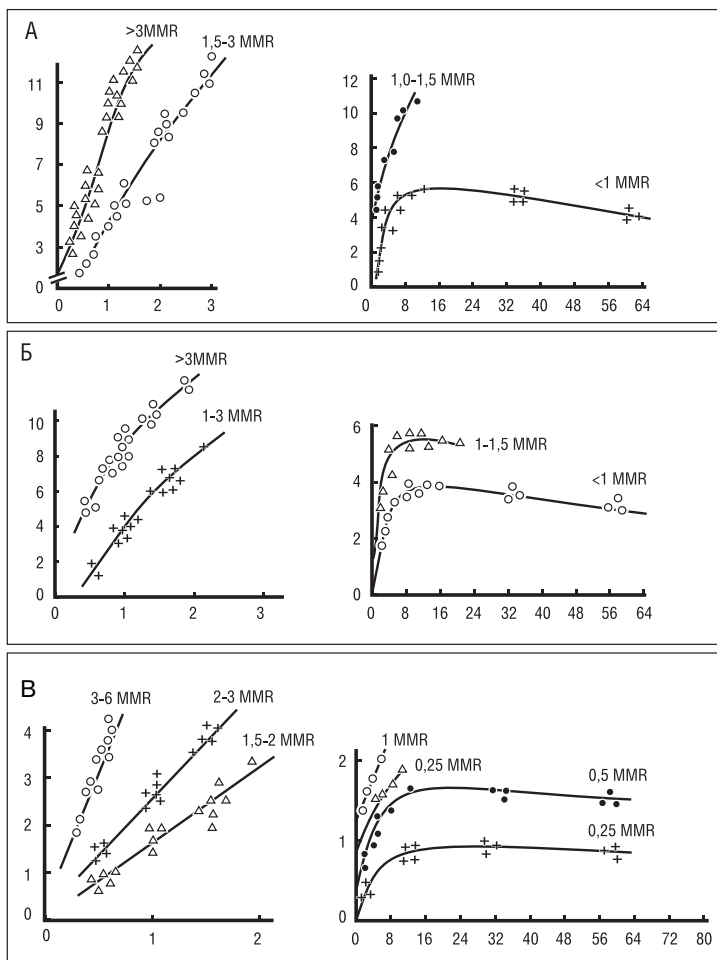


Рис. 20. Зависимость величины суммарного O_2 -долга (А) и составляющих его «быстрой» (Б) и «медленной» (В) фракций от продолжительности упражнения:

на ординате — размеры суммарного O_2 -долга и составляющих его фракций, л;
на абсциссе — продолжительность упражнения, мин;
цифровые обозначения у каждой кривой указывают на относительную мощность выполняемого упражнения

Как видно из данных рис. 19, размеры суммарного O_2 -долга и входящей в него медленной фракции экспоненциально возрастают в зависимости от значений относительной мощности выполняемого упражнения. При одинаковой мощности размеры O_2 -долга тем выше, чем больше продолжительность упражнения. Размеры быстрой фракции O_2 -долга линейно увеличиваются во всем диапазоне изученных мощностей упражнения (вплоть до 8 ед. MMR).

Как свидетельствуют данные рис. 20, размеры суммарного O_2 -долга и составляющих его фракций асимптотически возрастают с увеличением продолжительности упражнений вплоть до 10 мин. В более длительных упражнениях показатели кислородной задолженности обнаруживают тенденцию к понижению.

1.7. Кислородный запрос и энергетическая стоимость напряженной мышечной деятельности

На основе выполненных измерений накопления молочной кислоты в крови, потребления O_2 при работе и размеров образованного O_2 -долга представляется возможным рассчитать величину кислородного запроса упражнения и определить размеры энергопродукции в аэробном и анаэробных (алактатном и гликолитическом) процессах.

Изменения величин общего O_2 -запроса упражнения и составляющих его значений суммарного O_2 -прихода и O_2 -долга представлены в виде функции предельного времени работы на рис. 21.

Изменение показателей общего O_2 -запроса при напряженной мышечной деятельности обнаруживает линейную зависимость от предельного времени упражнения. Эта зависимость может быть представлена следующим уравнением линейной регрессии: $\Sigma R_{O_2} = 10,2 + 3,1 \times t_{пр}$, где значение нулевого коэффициента (10,2 л) соответствует наибольшей величине O_2 -долга, а величина углового коэффициента (3,1 л/мин)

отражает допустимые размеры увеличения потребления O_2 при работе.

Зависимость уровня O_2 -запроса от предельного времени работы иллюстрирует график на рис. 22.

Уровень O_2 -запроса экспоненциально понижается с увеличением предельного времени упражнения. Эти изменения уровня O_2 -запроса в области напряженной мышечной деятельности обусловлены в основном сдвигами в сфере анаэробного обмена, о чем свидетельствует сходство кривых O_2 -запроса и O_2 -долга.

На различную природу процессов, формирующих O_2 -запрос упражнения, указывает зависимость уровня O_2 -запроса

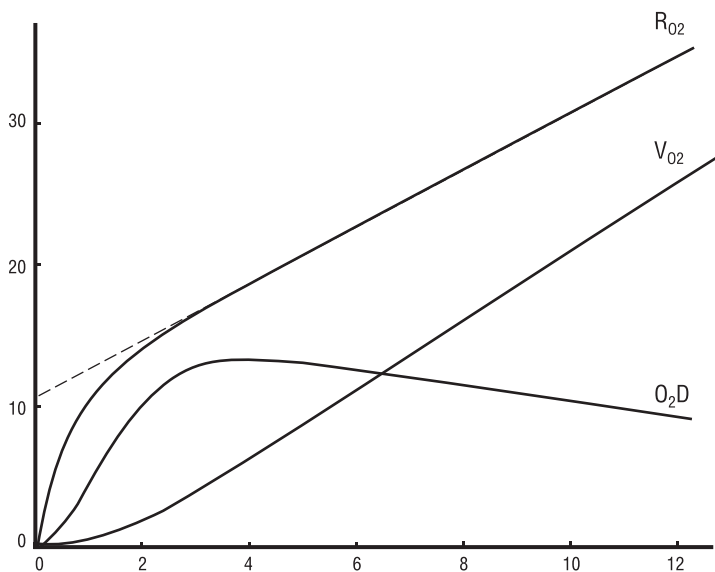


Рис. 21. Изменение величины общего O_2 -запроса в зависимости от предельного времени упражнения:

на ординате — величины общего O_2 -запроса, суммарного O_2 -прихода и O_2 -долга, л;
на абсциссе — предельное время упражнения, мин

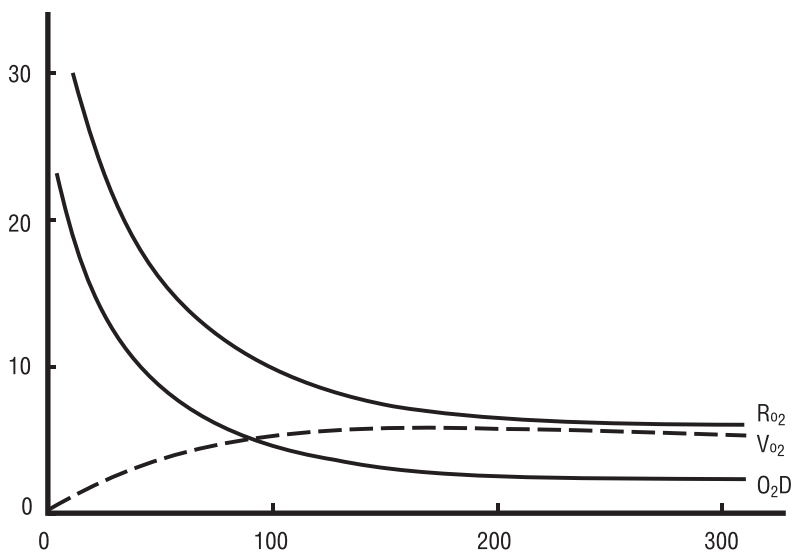


Рис. 22. Зависимость уровня O_2 -запроса от предельного времени упражнения:

на ординате — уровень O_2 -запроса, л/мин;
на абсциссе — предельное время, с

от скорости бега, приведенная на рис. 23. Эта зависимость описывается биоэкспоненциальным уравнением, в котором медленно возрастающая экспонента соответствует постепенному снижению эффективности аэробного метаболизма с увеличением тяжести нагрузки, а быстро нарастающая экспонента отражает увеличение доли малоэффективного анаэробного гликолиза в энергетике работы при высоких скоростях движения (F.M. Henry, J. C. DeMoor, 1950; B. B. Lloyd, 1966).

Изменение общих энергозатрат на выполнение упражнения в зависимости от предельного времени работы показывает график на рис. 24.

Как видно из приводимого графика, зависимость величины общих затрат энергии от предельной продолжительности работы носит линейный характер и может быть представлена следующим уравнением:

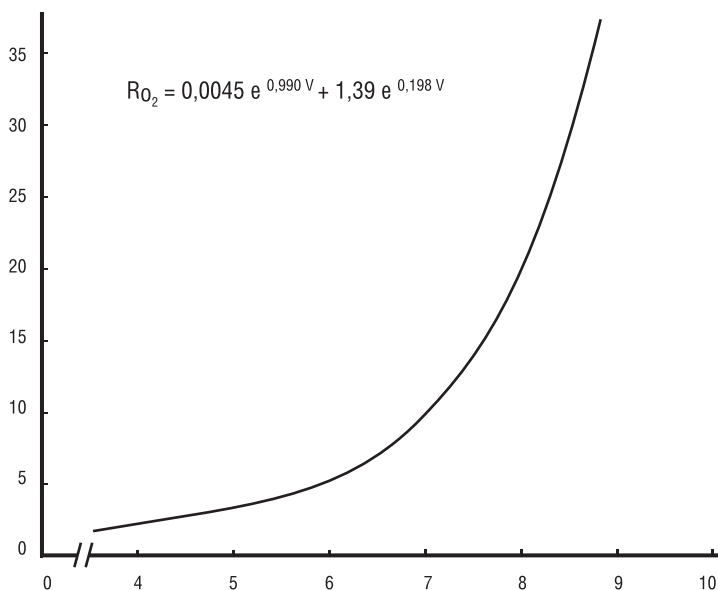


Рис. 23. Зависимость уровня O_2 -запроса от скорости бега:

на ординате — уровень O_2 -запроса, л/мин;

на абсциссе — скорость бега, м/с

$$E_{\text{tot}} = E_p + \epsilon_{\text{осн.}} \times t_{\text{пр}}, \quad (13)$$

где E_{tot} — общие затраты энергии при работе, E_p — емкость резервного источника энергии, $\epsilon_{\text{осн.}}$ — скорость энергопродукции в основном метаболическом процессе. Произведение $\epsilon_{\text{осн.}} \times t_{\text{пр.}}$ определяет общее количество энергии, высвобождаемой в процессе работы за счет основного метаболического процесса. Численные значения констант этого уравнения не остаются постоянными, а претерпевают определенные изменения при переходе от одного временного диапазона упражнений к другому. В диапазоне упражнений с предельным временем менее 20 с значение нулевого коэффициента E_p (емкость резервного источника) равно нулю, а значения скорости основного источника энергии (коэффициент $\epsilon_{\text{осн.}}$) составило 2150 кал/кг·мин, что соответствует максимальной

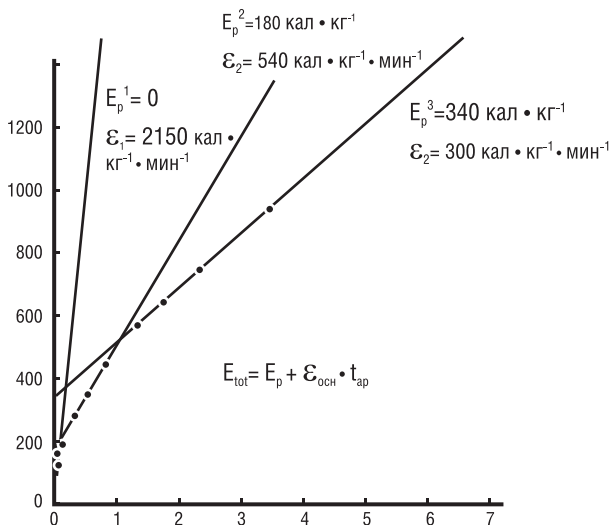


Рис. 24. Зависимость общих затрат энергии от предельного времени работы:

на ординате — величина затрат энергии, кал/кг;

на абсциссе — предельное время, мин

скорости освобождения энергии в алактатном анаэробном процессе (J. H. Ettema, 1966; A. DalMonte, 1988; E. L. Fox, 1984; R. Margaria, 1966; R. W. McGilvery, 1975). В диапазоне упражнений с предельным временем от 20 до 180 с значение нулевого коэффициента составило 180 кал/кг, что соответствует размерам алактатной анаэробной емкости (R. Margaria, 1976; P. E. di Prampero, 1973). Значение углового коэффициента в этом диапазоне упражнений равно 540 кал/кг·мин и близко к значению максимальной мощности гликолитического анаэробного процесса. (R. Margaria, 1966; E. A. Newsholme, T. Leech, 1983). В диапазоне упражнений с предельным временем более 180 с значение нулевого коэффициента E_p соответствует емкости гликолитического анаэробного процесса (340 кал/кг), а значение углового коэффициента в этом диапазоне численно равно максимальной скорости аэробного

преобразования энергии (300 кал/кг·мин).

Зависимость уровня общих энергозатрат и скорости преобразования энергии в отдельных метаболических процессах от предельного времени упражнения представлена на рис. 25.

В условиях напряженной мышечной деятельности изменения уровня общих энергозатрат определяются динамикой процессов анаэробного обмена. Скорость этих процессов достигает наибольших значений в кратковременных усилиях максимальной мощности, и она прогрессивно замедляется с увеличением предельного времени упражнения. Снижение скорости анаэробной энергопродукции (как алактатной, так и гликолитической) с увеличением времени происходит неравномерно: оно резко выражено на первой минуте упражнения и менее заметно при больших интервалах времени. В противоположность этому

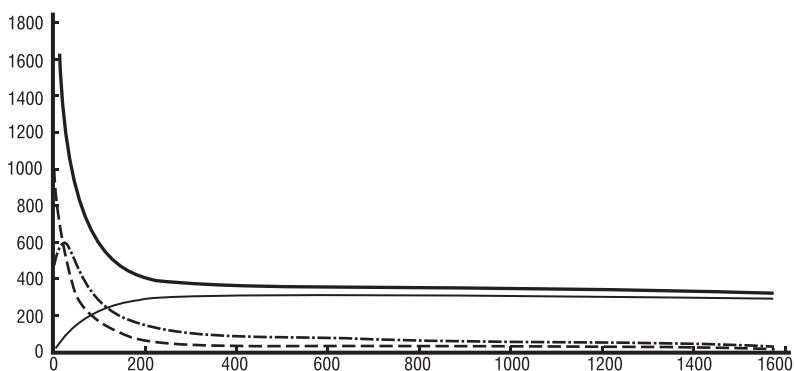


Рис. 25. Зависимость уровня энергетических затрат от предельного времени работы:

на ординате — уровень затрат энергии, кал/кг·мин;

на абсциссе — предельное время, с;

сплошной жирной линией обозначены изменения уровня общих затрат энергии, сплошной тонкой линией — изменения уровня аэробной энергопродукции, штрихпунктирной линией — изменения уровня гликолитической анаэробной энергопродукции, пунктирной — изменение уровня алактатной анаэробной энергопродукции

скорость аэробного образования энергии непрерывно возрастает с увеличением предельного времени, асимптотически приближаясь к своему наибольшему значению, равному 300 кал/кг веса тела в мин, к отметке 180 с.

Изменение скорости преобразования энергии в аэробном и анаэробных процессах в зависимости от относительной мощности выполняемого упражнения представлены на графике рис. 26.

Как видно из представленного графика, вплоть до достижения критической мощности, соответствующей максимальному потреблению O_2 (300 кал/кг · мин), энергетическое обеспечение мышечной деятельности осуществляется преимущественно за счет аэробного процесса. В области напряженной мышечной деятельности, относительная тяжесть которой превышает значения критической мощности, любое увеличение интен-

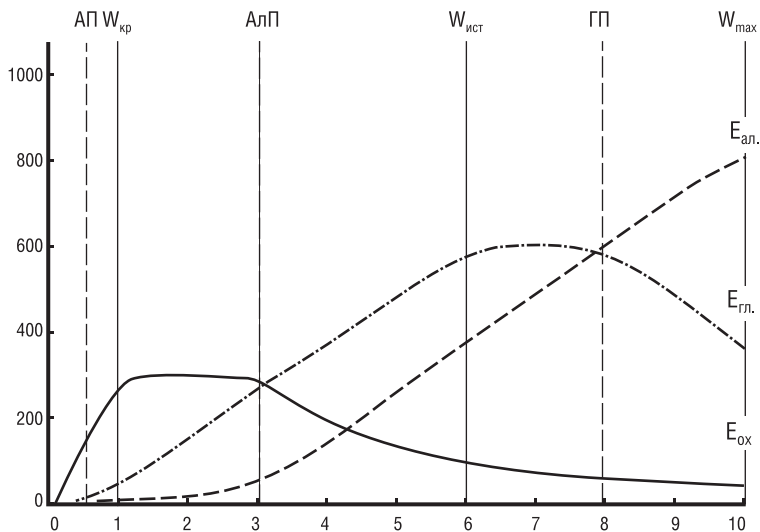


Рис. 26. Изменение скорости энергопродукции в различных метаболических процессах в зависимости от относительной мощности выполняемого упражнения:

на ординате — уровень энергопродукции, кал/кг·мин;
на абсциссе — относительная мощность, ед. MMR

сивности выполняемого упражнения сопровождается усилением процессов анаэробного ресинтеза АТФ — алактатного и гликолитического. Оба эти вида анаэробной энергопродукции увеличиваются здесь в линейной зависимости от относительной тяжести нагрузки до тех пор, пока не достигнут своих наивысших значений. Максимальные скорости образования энергии в алактатном, гликолитическом и аэробном процессах локализуются на разных уровнях относительной мощности и существенно различаются по своим абсолютным значениям. Координаты относительной мощности, соответствующие максимуму энергопродукции в аэробном и в анаэробных процессах, а также местоположение точек «перекреста» на кривых динамики аэробного и анаэробного образования энергии могут быть избраны в качестве дифференцирующих критериев при классификации метаболических состояний, возникающих при напряженной мышечной деятельности.

ГЛАВА 2

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СПОРТИВНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Работоспособность человека в спорте во многом зависит от характера и объема энергетических превращений, происходящих в организме при выполнении упражнений (В.С. Фарфель, 1941, 1949; В.А. Энгельгардт, 1927; Н.Н. Яковлев, 1974; Р.О. Åstrand, 1955, 1956; Р.О. Åstrand, K. Rodahl, 1976; G.A. Brooks, T.D. Fahey, 1987; D.L. Costill, 1986; I. Drăgon, 1988; P.W. Edington, 1976; J.H. Ettema, 1966; E.L. Fox, 1984; A.V. Hill, 1925; W. Hollmann, 1963; W. Hollmann, H. Liesen, A. Mader, 1988; J. Karvonen, 1972; J. Keul, E. Doll, D. Keppeler, 1969; H. G. Knuttgen, 1969; R. Margaria, 1972; F.J. Nagle, 1973; G. Neumann, 1988; E. Newsholme, T. Leech, 1983; H.L. Taylor, 1960; R.J. Shepherd, 1969). В зависимости от биохимической природы совершающихся энергетических процессов принято выделять три составляющих компонента физической работоспособности человека (E. Asmussen, 1968; Р.О. Åstrand, 1952, 1956; D.B. Dill, 1960, E.L. Fox, 1984; R. Margaria, 1969, 1972):

- алактатную анаэробную способность, связанную с процессами преобразования энергии в АТФ-азной и КрФ-киназной реакциях при мышечной работе;

- гликолитическую анаэробную способность, отражающую возможность усиления при работе анаэробного гликолиза, в ходе которого происходит образование молочной кислоты в работающих мышцах;

- аэробную способность, связанную с возможностью выполнения работы за счет усиления аэробных процессов в тканях при одновременном увеличении доставки и утилизации кислорода.

Каждый из отмеченных компонентов физической работоспособности количественно может быть оценен при помощи биоэнергетических критериев трех видов (R. Margaria, 1972; P.E. di Prampero, 1973):

– критериев мощности, отражающих скорость освобождения энергии в соответствующем метаболическом процессе;

– критериев емкости, в которых отражаются размеры доступных для использования субстратных фондов или общее количество метаболических изменений в организме за время работы;

– критериев эффективности, определяющих в какой степени энергия, высвобождаемая в метаболических процессах, используется для выполнения специфической мышечной работы.

В качестве представительных оценок вышеперечисленных критериев в практике физиологического контроля над спортсменами широко используются как эргометрические, так и прямые физиологические и биохимические измерения биоэнергетических функций (И.В. Аулик, 1975; В.Л. Карпман, З.Б. Белоцерковский, И.А. Гудков, 1988; K.L. Andersen, 1971; O. Baror, 1981; A. DalMonte, J. Drăgon, 1988; V. Katch, 1977; R. Margaria, 1966, 1968; F.J. Nagle, 1973; R.J. Shepherd, 1971). Для проведения такого рода измерений применяются стандартизированные лабораторные и специальные тесты (В.Л. Карпман и др., 1988; E.L. Fox, 1984; A. DalMonte, 1988; F.J. Nagle, G. Neumann, 1988; H. Mellerowice, 1979). Биоэнергетические показатели, регистрируемые при проведении таких тестов, должны обеспечить избирательную оценку каждого компонента спортивной работоспособности. Регулярно проводимые измерения биоэнергетических функций у спортсменов позволяют на строго научной основе решать вопросы выбора наиболее эффективных средств и методов тренировки и оптимизации всего процесса спортивной подготовки (Н.Н. Яковлев, 1970; B. Essen, 1978; E.L. Fox, 1978; W. Gerschler, 1968; J. Karlsson, P.O. Åstrand, B. Ekblom, 1967; J. Keul, 1967; W. Kinderman, 1975; V. Katch, 1978; W. Roth, 1987).

2.1. Методы и организация экспериментальных исследований

Общее число спортсменов высокой квалификации (I спортивный разряд, КМС, МС и МСМК), подвергнутых испытаниям в стандартизированных лабораторных и специальных тестах для оценки их аэробной и анаэробной работоспособности, составило 1294 человека. По отдельным видам спорта они распределились следующим образом: велосипедные гонки на шоссе — мужчины (51); велосипедные гонки на треке — мужчины (48), женщины (16); лыжные гонки — мужчины (42), женщины (24); бег на длинные дистанции — мужчины (56), женщины (29); бег на средние дистанции — мужчины (68), женщины (45); бег на короткие дистанции — мужчины (34), женщины (28); плавание — мужчины (112), женщины (61); скоростной бег на коньках — мужчины (66), женщины (30); спортивная ходьба — мужчины (21), женщины (14); гребля академическая — мужчины (40), женщины (18); современное пятиборье — мужчины (22); хоккей — мужчины (44); хоккей на траве — женщины (16); водное поло — мужчины (12); баскетбол — мужчины (31); борьба классическая — мужчины (16); борьба вольная — мужчины (12); борьба дзюдо — мужчины (20); горнолыжный спорт — мужчины (24); женщины (14); альпинизм — мужчины (16); футбол — мужчины (82); фигурное катание — мужчины (25), женщины (13); волейбол — мужчины (46), женщины (10); гимнастика — мужчины (32), женщины (40); бокс — мужчины (16).

В момент проведения обследований все испытуемые были здоровы и находились в состоянии высокой тренированности, большинство из них входило в составы сборных команд страны и ведущих спортивных клубов.

Программа стандартизированных лабораторных обследований спортсменов включала проведение испытаний в тестах «ступенчатого повышения нагрузки», «удержания критической мощности», «однократной предельной нагрузки», «повторной предельной нагрузки», «максимальной анаэробной мощности»,

и «повторной нагрузки максимальной мощности». В качестве тестирующих упражнений в этих лабораторных испытаниях использовали работу на велоэргометре и бег на тредбане. В группе пловцов были также применены испытания в гидродинамическом канале (P.O. Åstrand, S. Englesson, 1972). При проведении лабораторных испытаний соблюдались общепринятые условия выполнения экспериментальных процедур и требования к отбору измеряемых показателей, которые обеспечивали достаточную надежность и хорошую воспроизводимость результатов тестирования (K.L. Andersen, 1971; J. Čermak, J. Böswart, 1978; A. DalMonte, 1988; L. Hermansen, 1971; V. Katch, 1977; L.A. Larson, 1966; R. Margaria, 1965, 1967; R. Margaria et al., 1966; A. Srögy, G. Cerebetiu, 1974).

Наряду с программой стандартизированных лабораторных испытаний применялись также специализированные тесты, которые широко используются в практике отдельных видов спорта (G. Newmann, 1988). Так, тесту «ступенчато возрастающей нагрузки» по своей направленности соответствовали специальные испытания в повторном беге 6×1000 м и повторном плавании 6×200 м с возрастающей раз от раза скоростью преодоления дистанции. Тесту на «удержание критической мощности» соответствовали испытания в тесте Купера (дистанция, преодолеваемая за 12 мин), скоростной бег на коньках на заданной скорости при пульсе 170 уд./мин, лыжные гонки по заранее подготовленной лыжне со скоростью, равной критическому значению, челночный бег по баскетбольной площадке и т. п.

С использованием всей этой батареи стандартизированных лабораторных и специальных тестов мы имели возможность получить точные количественные оценки дня параметров мощности, емкости и эффективности как аэробного, так и анаэробных компонентов физической работоспособности спортсменов. Применяемая техника проведения физических и биохимических измерений и расчетов основных биоэнергетических показателей в полной мере соответствовала описаниям, приведенным в методических разделах данного доклада.

2.2. Биоэнергетический профиль спортсменов высокой квалификации и факторная структура спортивной работоспособности

Конкретные проявления физической работоспособности у спортсменов всегда носят специфический характер (L. Brouha, 1940; D.L. Costill, 1970; D.A. Cunningham, 1969; B.O. Eriksson, J. Holmer, 1978; E.L. Fox, 1973; P.D. Gollnick, L. Hermansson, 1966; J.D. Holloszy, 1973; I. Holmer, 1974; J.R. Magel et al., 1975; W. McCafferty, S.V. Horvath, 1977; H. Roskam, D. Clasing, 1967). Эта специфичность зависит от соотношения уровней развития аэробной и анаэробных способностей спортсменов, устанавливающегося под влиянием тренировки.

Основные результаты исследований биоэнергетического профиля у спортсменов различных специализаций представлены в форме диаграммы на рис. 27, 28 и 29.

Как видно из представленных данных, самые высокие показатели максимальной аэробной мощности отмечаются у бегунов на длинные дистанции, лыжников-гонщиков, конькобежцев и велосипедистов-шоссейников. Наибольшие значения алактатной анаэробной мощности демонстрируют бегуны на короткие дистанции, хоккеисты и велогонщики-трековики. Самыми большими величинами гликолитической анаэробной мощности обладают велогонщики-трековики, бегуны на средние дистанции, хоккеисты и ватерполисты. Наибольшую аэробную емкость имеют велосипедисты-шоссейники, лыжники-гонщики, бегуны на средние и длинные дистанции. Самые высокие величины алактатной анаэробной емкости демонстрируют бегуны на короткие дистанции, баскетболисты и борцы-дзюдо. Наибольшие величины гликолитической анаэробной емкости и эффективности отмечаются у бегунов на средние дистанции, велогонщиков-трековиков и хоккеистов и т.п.

Данные об относительном вкладе отдельных биоэнергетических факторов в общую изменчивость спортивных достижений в разных видах упражнений, полученные с помощью факторного анализа, приведены в табл. 4.

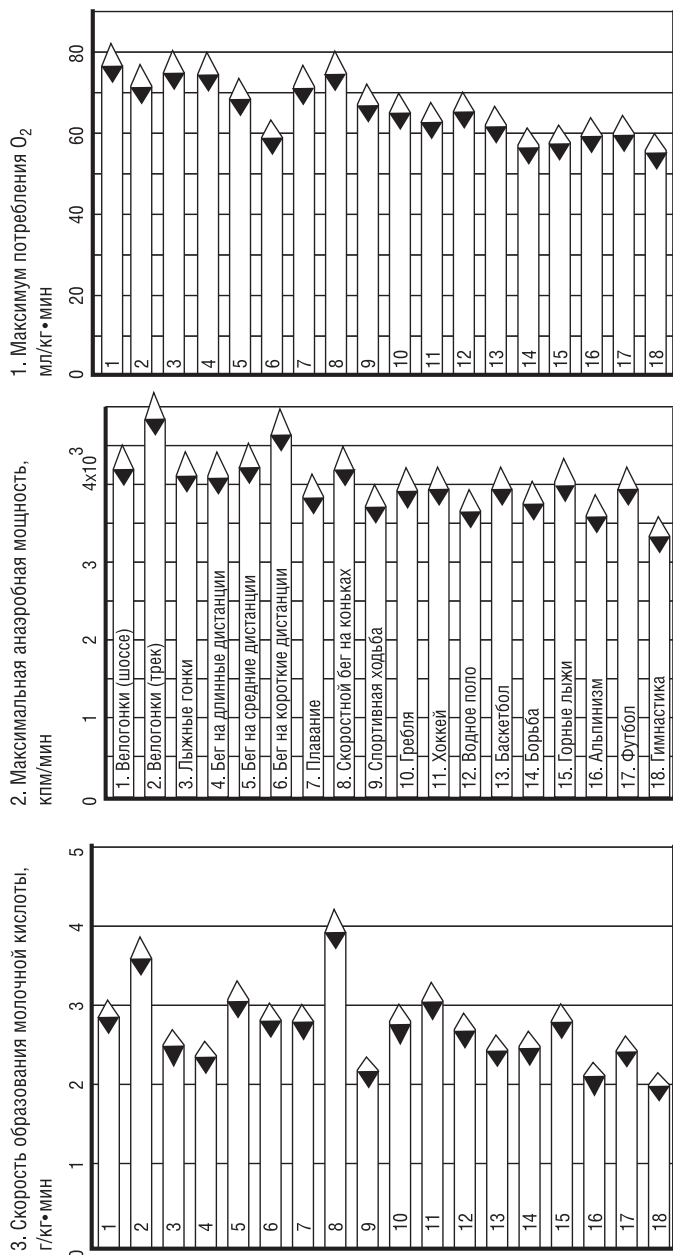


Рис. 27. Показатели мощности аэробного и анаэробных процессов у спортсменов различных специализаций

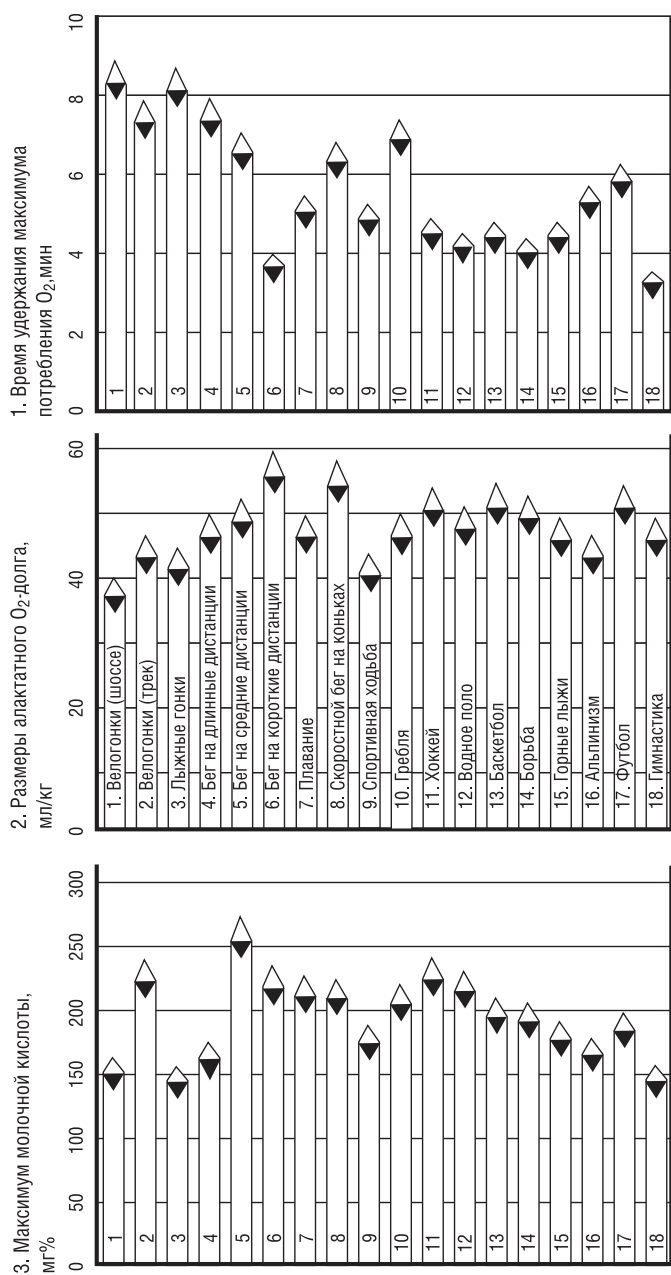


Рис. 28. Показатели емкости аэробного и анаэробных процессов у спортсменов различных специализаций

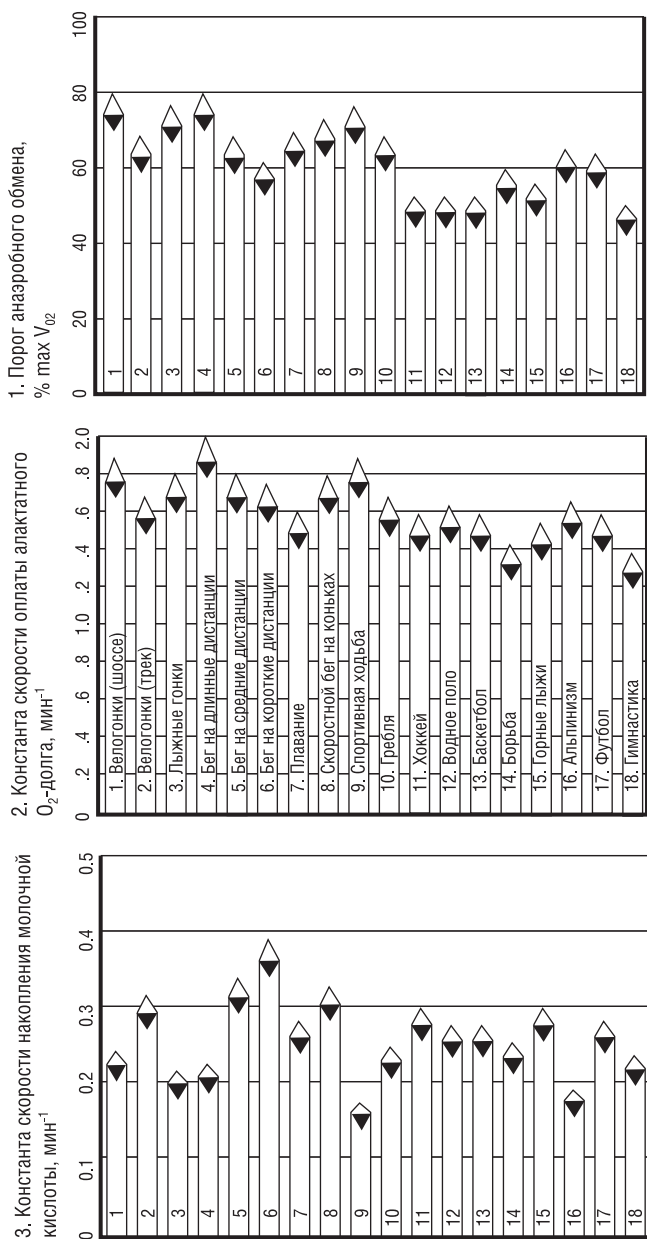


Рис. 29. Показатели эффективности аэробного и анаэробных процессов у спортсменов различных специализаций

Как следует из данных табл. 4, в каждом виде спорта существуют свои «ведущие» биоэнергетические факторы, которые оказывают определяющее влияние на уровень спортивных достижений. Так, результаты в плавании, беге на длинные дистанции и в лыжных гонках зависят главным образом от аэробной мощности и гликолитической анаэробной емкости, в скоростном беге на коньках — от аэробной эффективности и гликолитической анаэробной емкости, в плавании — от аэробной мощности и алактатной анаэробной способности, в баскетболе — от гликолитической анаэробной емкости и аэробной эффективности. Таким образом, в каждом виде спорта существует специфическая комплектация биоэнергетических факторов, оказывающих определяющее влияние на уровень спортивных достижений.

Биоэнергетические факторы спортивной работоспособности могут быть заметно улучшены в процессе тренировки. Это наглядно проявляется при сравнении показателей мощности, емкости и эффективности биоэнергетических процессов у конькобежцев различной квалификации, данные о которых приведены в табл. 5.

Как видно из приводимых в табл. 5 данных, в процессе многолетней специализированной тренировки, сопровождающейся повышением уровня квалификации спортсменов, существенно улучшаются почти все изучаемые показатели. В то же время следует отметить, что темпы прироста отдельных биоэнергетических параметров под влиянием тренировки заметно различаются. Наиболее значительные по величине и быстро нарастающие сдвиги в процессе тренировки обнаруживаются в показателях аэробной мощности (рис. 30): на 2-м и 3-м году тренировки они достигают около 90% исходного значения.

Менее выраженные сдвиги, не превышающие 50% исходного значения, обнаруживаются в показателях анаэробной мощности (алактатной и гликолитической). Наименьшие темпы приростов в процессе тренировки и наиболее длительные сроки их достижения отмечены для показателей

Таблица 4. Факторный анализ результатов определения биоэнергетических потенций у спортсменов, специализирующихся в разных видах упражнений (% общей дисперсии выборки, обусловленной влиянием биоэнергетических факторов)

	Критерии	Бег на короткие дистанции, n=84	Бег на длинные дистанции, n=56	Лыжные гонки, n=42	Плавание, n=112	Скоростной бег на коньках, n=66	Баскетбол, n=31
1.	Аэробная мощность	37	41,0	27,5	51,1	7,0	8,5
2.	Аэробная емкость	?	17,0	39,0	6,06	5,6	6,6
3.	Аэробная эффективность	?	7,7	12,0	6,8	35,7	14,6
4.	Гликолитическая анаэробная мощность	9,7	6,2	4,6	5,7	12,5	?
5.	Гликолитическая анаэробная емкость	12,9	14,8	11,7	6,3	21,0	33,0
6.	Алактатная анаэробная мощность	17,9	3,6	4,4	9,03	9,0	6,2
7.	Алактатная анаэробная емкость	7,8	?	?	?	5,7	?
8.	Метаболическая масса тела	?	3,6	2,4	?	?	10,0

гликолитической анаэробной емкости и аэробной эффективности. В этой динамике биоэнергетических показателей находит свое отражение общая закономерность развития адаптации в процессе тренировки: начальные этапы тренировки осуществляются за счет улучшения показателей мощности биоэнергетических процессов, затем — за счет показателей биоэнергетической емкости, и на заключительном этапе тренировки — за счет улучшения биоэнергетических параметров эффективности. Эту закономерность развития адаптации в сфере энергетического обмена следует учитывать при планировании и построении многолетней тренировки.

Таблица 5. *Биоэнергетические критерии мощности, емкости и эффективности аэробной и анаэробной работоспособности у конькобежцев разной квалификации (n = 66)*

Квалификация спортсменов	Максимум потребления O_2 , мл/кг-мин	t_{ya} , мин	ПАНО, ед. MMR	ExhCO ₂ л/мин	Общий O_2 -долг, мл/кг	Алактатный O_2 -долг, мл/кг
Спортсмены III и II разряда, n = 10	51±3,7	4,5±1,2	0,46±0,02	1,60±0,12	101±6,3	25±1,3
I разряд и КМС, n =7	69±0,3	5,8±1,6	0,51±0,03	1,79±0,11	127±8,0	31±2,2
Мастера спорта, n = 30	72±0,9	6,4±0,8	0,56±0,01	1,92±0,07	137±3,8	34±1,4
МСМК, N = 19	76±1,2	6,9±1,3	0,60±0,02	1,97±0,04	141±3,7	35±0,9

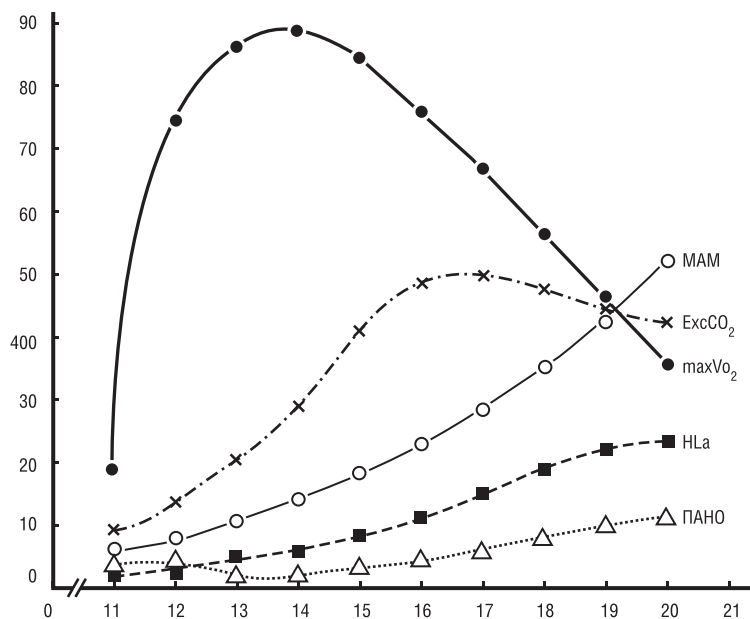


Рис. 30. Динамика улучшения биоэнергетических функций в процессе многолетней тренировки пловцов:

на ординате — % улучшения функции;
на абсциссе — возраст спортсменов

ГЛАВА 3

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ СРОЧНОГО ТРЕНИРОВОЧНОГО ЭФФЕКТА ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Эффективность тренировочного процесса определяется той степенью, с которой применяемые средства и методы способствуют улучшению ведущих факторов, оказывающих наибольшее влияние на улучшение спортивных результатов в избранном типе упражнений. Как отмечалось ранее, в качестве таких факторов могут быть использованы параметры аэробного и анаэробных метаболических процессов.

Достижимый эффект применяемых средств и методов тренировки зависит от избираемых значений основных характеристик физических нагрузок таких, как вид применяемых упражнений, их интенсивность и продолжительность, количество повторений упражнений, продолжительность пауз отдыха и т.п. Каждая из указанных характеристик оказывает специфический эффект на ведущие биоэнергетические функции (E. L. Fox, 1973; D. R. Lamb, 1984). Абсолютная величина адаптационных изменений в организме и общая направленность достигаемого тренировочного эффекта зависит от суммарной дозы назначенных физических нагрузок (М.А. Годик, 1980; Цв. Желязков, 1981). Проблема выбора необходимых значений для основных характеристик физической нагрузки, определяющих достигаемый тренировочный эффект, является одной из центральных проблем в теории и методике спортивной тренировки (Th. Reilly, 2007).

3.1. Выбор параметров нагрузок, направленных на развитие анаэробной работоспособности спортсменов

Такие параметры физических нагрузок, как длина преодолеваемой дистанции в беге, длительность интерва-

лов отдыха и количество повторений упражнения обычно рассматриваются как наиболее эффективные с тем, чтобы воздействовать на анаэробную гликолитическую работоспособность спортсменов, которая может быть установлена на основе регистрации накопления молочной кислоты в крови или размеров образованного кислородного долга.

Методы. 25 спортсменов, специализирующихся в лыжных гонках и в беге на средние дистанции, были обследованы после двукратного преодоления дистанции в беге на 100, 200, 300, 400 и 500 м, с различными интервалами отдыха. Определения уровня потребления O_2 по методу Дугласа — Холдена и накопления молочной кислоты в крови по методу Баркера и Самморсона были выполнены перед началом работы, в паузах отдыха между повторениями упражнения и во время 20 минут восстановления. Техника проведения этих измерений была подробно описана в частях 1.1, 1.3 и 1.4 данной монографии.

Интенсивность гликолитических преобразований при работе устанавливалась по значениям константы скорости накопления молочной кислоты в крови (λ_1), которая тесно связана с мощностью исполняемого упражнения. Общий объем анаэробных изменений в организме устанавливался на основе регистрируемых значений максимума накопления молочной кислоты в крови (HLa_{max}) и размеров образованного O_2 -долга при работе. В тех упражнениях, где были достигнуты наивысшие значения HLa_{max} и λ_1 , предполагалось, что избранная длина преодолеваемых отрезков дистанции бега и продолжительность интервалов отдыха обеспечивали достижение максимальной интенсификации анаэробного гликолиза при работе.

Результаты выполненных измерений показателей HLa_{max} и λ_1 на различных дистанциях бега с предельной скоростью представлены в табл. 6.

Как свидетельствуют данные табл. 6, наивысшие значения максимума содержания молочной кислоты в крови достигаются на дистанциях от 300 до 500 м, а наивысшее зна-

Таблица 6. Значение показателей максимума накопления и скорости устранения молочной кислоты в крови на различных дистанциях бега

Длина дистанции бега, м	HLa_{max} , мг %	Константа скорости устранения молочной кислоты, λ_2
100	94±17	0,432±0,02
200	179±21	0,497±0,03
300	186±12	0,396±0,03
400	195±19	0,313±0,04
500	187±13	0,260±0,05

чение константы скорости накопления молочной кислоты (λ_1) при усилении анаэробного гликолиза зафиксированы на дистанциях 300 и 400 м.

Значения интервалов отдыха, позволяющие достичь наибольшего эффекта при повторном выполнении упражнений анаэробного гликолитического воздействия, возможно установить при использовании метода «функционального анализа периода восстановления», предложенного М.И. Виноградовым (1958).

Суть этого метода заключается в том, что показатели кинетики молочной кислоты в крови, фиксируемые при каждом очередном повторении анаэробного упражнения при различных интервалах отдыха, соотносились со значениями этих показателей при предшествующих повторениях упражнения, и численные значения выведенных таким образом соотношений выкладывались на графике против значений избранной продолжительности интервалов отдыха. Конкретный пример таких расчетов, выполненных при повторном беге на дистанции 300 м, представлен в табл. 7.

На основе представленных расчетов следует заключить, что с увеличением числа повторных упражнений анаэробного воздействия продолжительность интервалов отдыха между ними должна прогрессивно сокращаться в пределах от 7,5 до 3,0 мин.

Изменения кинетических показателей кривой «накопление — устранение» молочной кислоты в крови при различном числе повторных упражнений в беге на 300 м с прогрессивно сокращающимися интервалами отдыха представлены в табл. 8

Как видно из приводимых в табл. 8 данных, интенсивность нарастания анаэробных гликолитических сдвигов в организме резко снижается при 3—4-м повторении упражнения. Из этого следует, что для развития анаэробного гликолитического компонента специальной выносливости при используемом варианте повторного бега, общее количество повторений упражнений не должно превышать 4-х. Достаточный объем направленных адаптационных изменений в организме может быть достигнут за счет выполнения

Таблица 7. Соотношение кинетических показателей молочной кислоты в крови при различных интервалах отдыха в повторном беге на дистанции 300 м

Интервалы отдыха между повторными упражнениями	Численные значения соотношения кинетических показателей	
	$HLa_{\max}^1 : HLa_{\max}^2$	$\lambda_1^1 : \lambda_1^2$
При 1-м и 2-м повторении упражнения, мин	7,26±0,19	6,53±0,33
При 2-м и 3-м повторении упражнения, мин	6,01±0,27	4,79±0,11
При 3-м и 4-м повторении упражнения, мин	2,83±0,90	3,47±0,6

Таблица 8. Изменения максимума содержания ($HLa_{\max}$) и показателей скорости накопления (λ_1) и устранения (λ_2) молочной кислоты в крови при повторном беге на 300 м с уменьшающимся интервалом отдыха

Показатели	Количество повторений упражнения			
	1	2	3	4
$HLa_{\max}$, мг %	186±3,2	192±4,4	198±2,6	199±5,1
λ_1 , мин ⁻¹	0,346±0,03	0,529±0,02	0,215±0,03	0,300±0,03
λ_2 , мин ⁻²	0,063±0,011	0,024±0,04	0,023±0,001	0,019±0,003

3–4 повторений в сериях, разделенных достаточными для восстановления интервалами отдыха.

Экспериментальная проверка выдвинутого предложения была осуществлена в ходе подготовки четырех высококвалифицированных бегунов на средние дистанции, которые использовали две различные формы тренировочных упражнений:

1) повторный бег 4×400 м на предельной скорости с постепенными сокращающимися интервалами отдыха 7,5 и 3 мин;

2) повторный бег 4×400 м с такой же скоростью, но с постоянными интервалами отдыха, равными 5 мин.

Графики, иллюстрирующие изменения потребления кислорода и концентрации молочной кислоты в крови при двух различных видах повторной работы, приведены на рис. 31.

Повторное преодоление 400-метровой дистанции с уменьшающимися интервалами отдыха сопровождалось

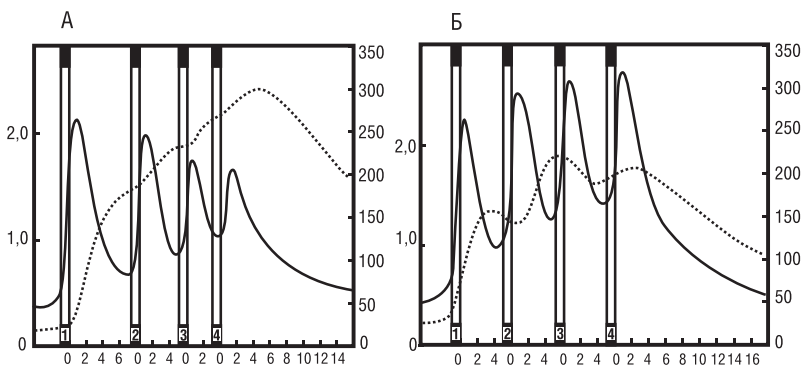


Рис. 31. Кинетика потребления O_2 и концентрации молочной кислоты в крови при повторном беге 4×400 м с прогрессивно уменьшающимися (график А) и постоянными интервалами отдыха (график В):

ордината: слева — уровень потребления O_2 , л/мин, справа — концентрация молочной кислоты в крови, мг %; абсцисса — продолжительность работы, мин

значительным усилением анаэробного гликолитического процесса, которое хорошо отслеживается по изменениям концентрации молочной кислоты в крови. Как видно из представленных данных, с увеличением числа повторных упражнений в этом виде повторной работы обнаруживается определенная тенденция к снижению уровня потребления кислорода и уменьшению скорости оплаты кислородного долга.

При повторном беге на 400 м с постоянными интервалами отдыха уровень потребления O_2 увеличивается непрерывно с увеличением числа повторяемых упражнений, а концентрация молочной кислоты в крови достигает своих максимальных значений после второго по счету упражнения и затем начинает снижаться при дальнейшем увеличении числа повторных упражнений. При 3–4-м повторении упражнения отмечается снижение скорости оплаты медленной (лактатной) фракции кислородного долга.

Еще более заметно влияние величины интервалов отдыха проявляется в метаболических показателях, суммирующих общие биоэнергетические сдвиги в организме за всю выполненную повторную работу. Такие данные представлены в табл. 9.

Таблица 9. Показатели биоэнергетических сдвигов в организме при повторной работе с уменьшающимися и постоянными интервалами отдыха

Биоэнергетические показатели	Уменьшающиеся интервалы отдыха	Постоянные интервалы отдыха
«Пиковый» уровень потребления O_2 , л/мин	1,81±0,26	3,76±0,17
O_2 приход, л	23,54±1,01	25,21±0,32
Быстрая фракция O_2 -долга, л	1,60±0,10	2,99±0,21
Медленная фракция O_2 -долга, л	17,50±1,40	12,50±0,94
Общий O_2 -долг, л	19,11±1,02	15,50±0,02
Максимум содержания молочной кислоты в крови, мг%	22,5±41	162±26

Анализируя представленные выше данные, необходимо отметить, что все показатели биоэнергетических сдвигов зафиксированных при повторной работе с прогрессивно уменьшающимися интервалами отдыха, заметно превышают значения этих показателей при повторной работе с постоянными интервалами отдыха, свидетельствуя об усилении анаэробного гликолитического воздействия нагрузки в этом виде повторных упражнений.

3.2. Биоэнергетические эффекты повторного выполнения кратковременных упражнений максимальной мощности с различными интервалами отдыха

Значение избранных характеристик физической нагрузки в определении срочного тренировочного эффекта наиболее отчетливо проявляется при попытках разрешить проблему интервальной тренировки на практике. В исследовательских работах представителей различных научных школ (Е.Н. Christensen et al., 1960; Н. Reindell et al., 1962) особое внимание уделялось различным факторам физических нагрузок. Недавно проведенные исследования были выполнены с целью изучения эффекта интервальной тренировки с использованием кратковременных упражнений максимальной мощности. Такая форма интервальной тренировки особенно эффективна в отношении развития аэробного компонента выносливости с одновременным улучшением алактатных анаэробных качеств спортсменов (Е. F. Fox, 1977; R. Margaria et al., 1969).

В задачу описываемых ниже исследований входило изучить метаболические эффекты повторного выполнения кратковременных упражнений, выполняемых на двух уровнях мощности — максимальной и критической.

Методика исследования. Испытуемыми в проводимых опытах были избраны 8 высокотренированных спортс-

менов в возрасте 21—25 лет и весом тела от 67 до 72 кг, специализирующихся в беге на средние дистанции, велосипедных гонках на шоссе и скоростном беге на коньках. Помимо участия в стандартизированных лабораторных тестах, испытуемые были обследованы в повторных 10-секундных упражнениях, выполняемых на двух уровнях мощности — максимальной и критической с различными интервалами отдыха — 10, 30, 60 и 180 с.

Непрерывные измерения газометрических показателей производились с использованием мониторинжной системы «Pneumoergotest» фирмы Егер (Германия). Определение содержания молочной кислоты в крови и показателей кислотно-щелочного равновесия выполнялись с использованием микроанализатора AVL фирмы «Радиометр» (Дания).

В условиях проводимых опытов с интервальной работой на велоэргометре «Монарк»-894-М уровень критической мощности поддерживался постоянным в течение всего времени выполнения упражнения. В этих условиях метаболические ответы на выполняемые нагрузки целиком зависели от изменений продолжительности интервалов отдыха. При повторном выполнении упражнений на уровне максимальной мощности, где от испытуемых требовалось проявить предельные усилия, обеспечить поддержание постоянной механической производительности не представлялось возможным. Как показывает график, приводимый на рис. 32, где логарифмы значений мощности представлены как функции общей продолжительности выполняемой нагрузки, механическая эффективность быстро снижается на первых 5—6 повторениях упражнения, когда используются алактатные анаэробные резервы работающих мышц. При дальнейшем увеличении длительности нагрузки скорость снижения механической производительности резко уменьшается из-за вступления в действие процессов гликолитического и окислительного ресинтеза АТФ. Локализация точки перекреста отрезков прямых линий, характеризующих различные метаболиче-

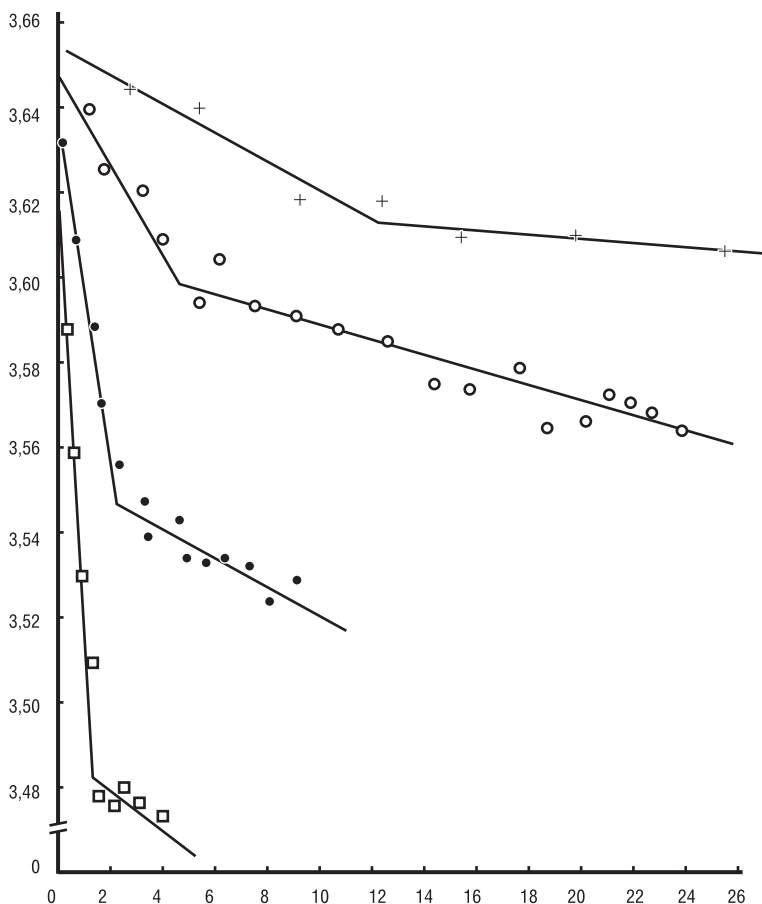


Рис 32. Изменения мощности при повторных 10-секундных упражнениях с интервалами отдыха различной продолжительности:

*ордината: значения логарифмов мощности, $\text{кгм} \cdot \text{мин}^{-1}$;
абсцисса: продолжительность упражнения.*

Квадратиками обозначены значения мощности, упражнения при 10-секундных интервалах отдыха, темными кружками — при 30-секундных интервалах отдыха, светлыми кружочками при 60-секундных интервалах отдыха, крестиками — при 3-минутных интервалах отдыха соответственно

ские состояния в организме, зависит от значений избранных интервалов отдыха. Чем больше продолжительность интервалов отдыха, тем медленнее расходуются внутримышечные алактатные резервы в начальной фазе повторной работы. Исходя из этого, следует полагать, что поддержание максимальной мощности в повторной работе будет в равной степени зависеть как от фактора мощности, так и от влияния избранных интервалов отдыха.

Эффект каждого фактора в отдельности может быть оценен путем сравнения ответов на определенные виды интервальной работы, выполняемой на максимальной и критической мощности.

Графики, иллюстрирующие изменения в уровне потребления кислорода и выделения избыточного CO_2 (ExsCO_2) в различных видах повторной работы на уровне максимальной и критической мощности представлены на рис. 33 и 34.

Непрерывной линией на графиках показаны изменения уровня потребления O_2 , точечной линией обозначены изменения в уровне «избыточного» выделения CO_2 . Затухающие в верхней части столбики соответствуют периодам работы: А — с интервалами отдыха 10 с, В — с интервалами отдыха 30 с, С — с интервалами отдыха 60 с, D — с интервалами отдыха 180 с.

При сравнении кривых кинетики метаболических функций в повторных упражнениях максимальной мощности, где имело место выраженное истощение алактатных анаэробных резервов в начальной стадии работы, отчетливо выявляется быстрое увеличение показателей гликолитической и окислительной активности работающих мышц при всех избираемых интервалах отдыха.

Относительно постоянный уровень потребления кислорода во время выполнения упражнения и в паузах отдыха здесь достигается на 5-м или 6-м повторении упражнения.

В повторной работе максимальной мощности увеличение продолжительности интервалов отдыха ведет к снижению уровня потребления O_2 и уменьшению скорости «из-

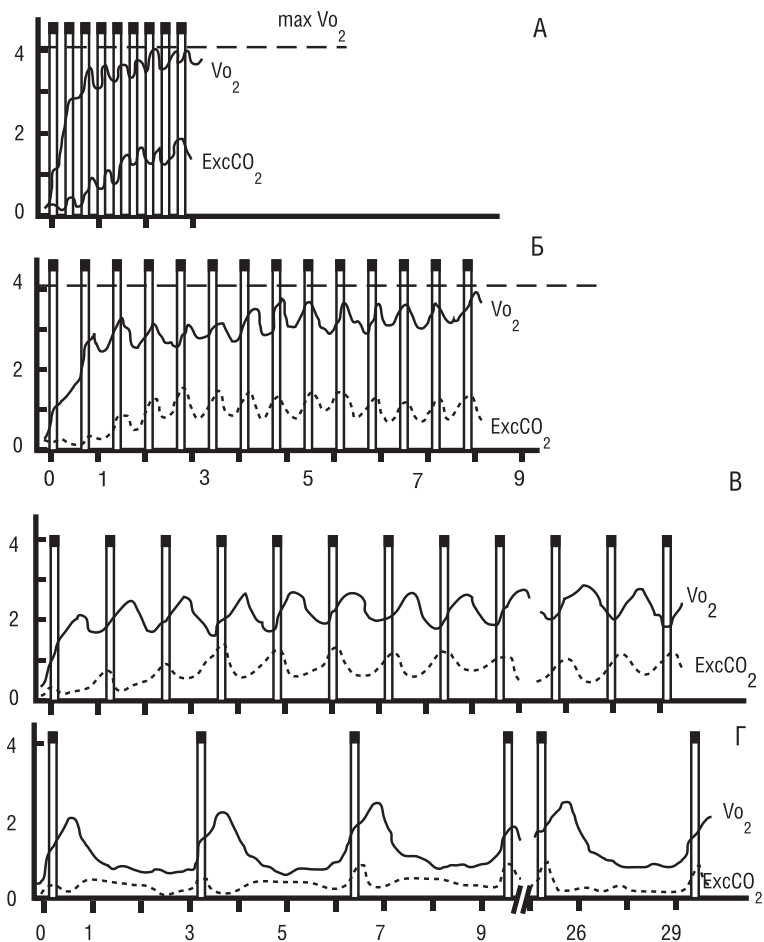


Рис. 33. Динамика потребления O_2 и «избыточного» выделения CO_2 при повторных упражнениях максимальной мощности с различными интервалами отдыха:

ордината: уровень потребления O_2 и выделения $E_{xe}CO_2$ л мин⁻¹.

абсцисса: общее время повторной работы, мин;

A — с интервалами отдыха 10 с, B — с интервалами отдыха 30 с, C — с интервалами отдыха 60 с, D — с интервалами отдыха 3 мин

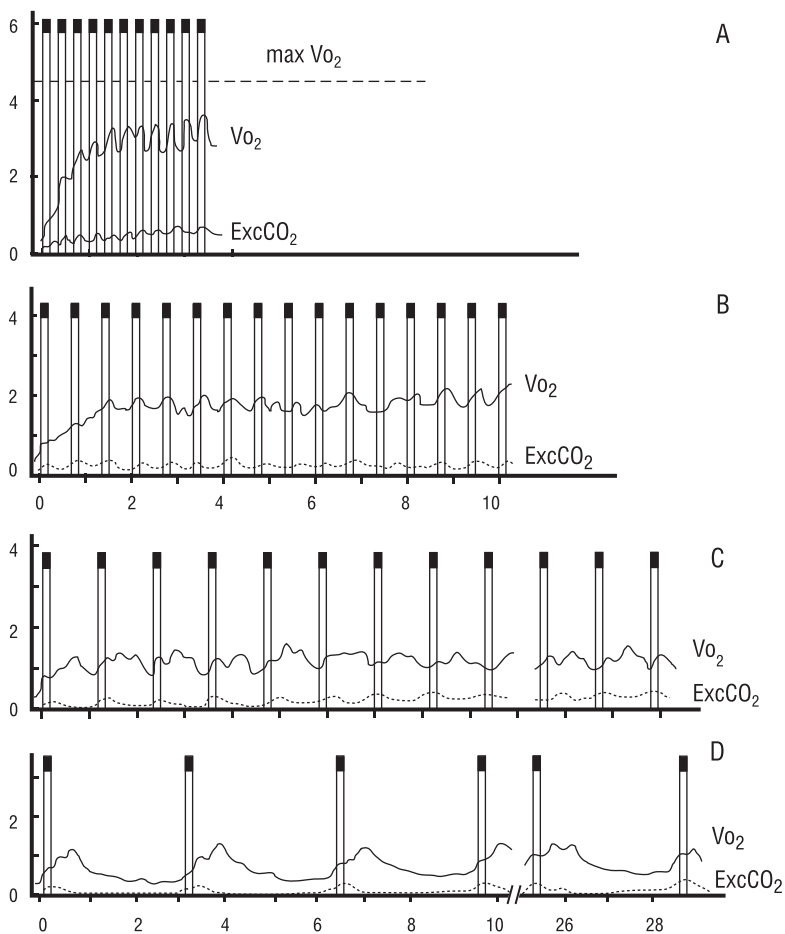


Рис. 34. Динамика потребления O_2 и «избыточного» выделения CO_2 при повторных упражнениях на уровне критической мощности с различными интервалами отдыха:

ордината: уровень потребления O_2 и выделения $ExcCO_2$ л мин⁻¹;

абсцисса: общее время повторной работы, мин;
 А — с интервалами отдыха 10 с, В — с интервалами отдыха 30 с, С — с интервалами отдыха 60 с, D — с интервалами отдыха 3 мин

быточного» выделения CO_2 . Наивысший уровень аэробной активности, достигающий значения максимума потребления O_2 , отмечается при повторных 10-секундных упражнениях максимальной мощности, разделенных 10-секундными интервалами отдыха. В других видах повторных упражнений наиболее высокие значения скорости потребления O_2 отмечаются в периоды выполнения работы, а в паузах отдыха эти значения быстро уменьшаются.

Увеличение интервалов отдыха при повторных упражнениях максимальной мощности свыше 1 мин сопровождается заметными изменениями в кинетике потребления O_2 . На приводимых графиках хорошо отслеживается «отставленное» увеличение в уровне потребления O_2 в паузах отдыха сразу после завершения упражнения. Наивысшие значения уровня потребления O_2 в этом виде повторных упражнений порядка $2,5-3,0 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$ отмечаются только в паузах отдыха, а во время выполнения упражнений потребление O_2 устанавливается вблизи его наименьших значений. В то же время выделение ExhCO_2 увеличивается только во время выполнения повторных упражнений.

Отчетливо выраженный пик «отставленного» увеличения уровня потребления кислорода при повторном исполнении 10-секундных упражнений максимальной мощности с 3-минутными интервалами отдыха смещается на первую минуту восстановления вместе с дальнейшим снижением уровня окислительной активности.

Принципиальная схема метаболических сдвигов в организме при повторной работе с различными интервалами отдыха сохраняется и при выполнении упражнений на критической мощности с тем только отличием, что в этом случае уровень окислительной активности много ниже и изменение этого уровня при переходе от работы к отдыху выражены в меньшей степени. Даже при очень кратковременных интервалах отдыха абсолютные значения уровня потребления кислорода здесь заметно ниже их максимальных значений

и они градуально снижаются с увеличением продолжительности интервалов отдыха.

Следует отметить, что при градуальном снижении показателей аэробных функций в ответ на увеличение продолжительности интервалов отдыха, показатели анаэробной гликолитической активности работающих мышц при выполнении упражнений с максимальной мощностью практически остаются неизменными, и они не зависят от избранных значений интервалов отдыха. Заметные различия отмечаются только в достигаемом уровне максимума анаэробной гликолитической активности (см. график на рис. 35).

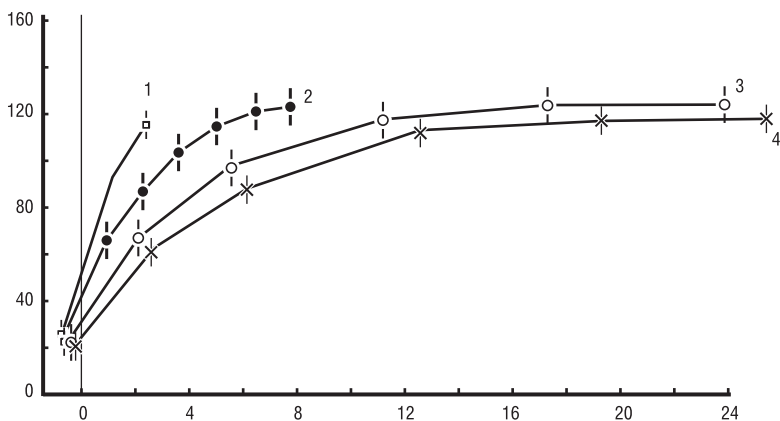


Рис. 35. Изменения концентрации молочной кислоты в крови при повторном выполнении 10-секундных упражнений максимальной мощности с паузами отдыха различной продолжительности:

ордината: концентрация молочной кислоты, мг%;
абсцисса: общее время повторной работы, мин;
обозначения: квадратами обозначены значения мощности упражнения при 10-секундных интервалах отдыха, темными кружками — при 30-секундных интервалах отдыха, светлыми кружочками при 60-секундных интервалах отдыха, крестиками — при 3-минутных интервалах отдыха соответственно

Таким образом, как показывают результаты проведенного анализа, метаболические сдвиги в организме при различных видах повторной работы, отражающие достигаемый тренировочный эффект от применяемых нагрузок, заметно различаются в зависимости от избранного соотношения продолжительности работы и отдыха.

Выраженное воздействие на развитие аэробных возможностей спортсменов может быть достигнуто в повторных 10-секундных упражнениях максимальной мощности, выполняемых через 10-секундные интервалы отдыха. Кроме того, этот вид интервальных нагрузок может быть использован и для развития мощности алактатного анаэробного процесса.

Повторное выполнение 10-секундных упражнений через 30-секундные интервалы отдыха не обеспечивают в должной степени максимальной аэробной мощности, но могут быть эффективным средством для повышения аэробной емкости (при достаточно большом объеме выполненных работ) и аэробной эффективности.

Интервальные упражнения с 1-минутными паузами отдыха могут применяться для развития качества аэробной эффективности и, в частности, для повышения циркуляторных способностей. Такая форма интервальной тренировки может быть с успехом использована на начальной стадии годового цикла подготовки, когда закладываются основы для дальнейшего развития аэробных способностей.

Интервальные упражнения максимальной мощности, выполняемые через 3-минутные интервалы отдыха, могут применяться для развития алактатных анаэробных способностей. Выраженный тренировочный эффект в этой форме интервальной работы достигается при большом числе повторений таких упражнений до значительного истощения и последующего восстановления алактатных анаэробных резервов в работающих мышцах.

Все рассмотренные формы интервальной работы с максимальной мощностью оказывают умеренное влияние на развитие анаэробных гликолитических возможностей спортсменов.

ГЛАВА 4

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА В СПОРТЕ

Основной целью тренировочного процесса в спорте является достижение наибольшего кумулятивного адаптационного эффекта, отражающегося в приросте показателей работоспособности и улучшении спортивных достижений. Улучшение показателей работоспособности в процессе тренировки зависит от характера и объема применяемых средств.

По направленности биоэнергетических изменений, в организме применяемые средства и методы тренировки принято подразделять на следующие четыре категории (М. А. Годик, 1960; В. Н. Платонов, 1986; Ц. Желязков, 1981):

- нагрузки преимущественно аэробного воздействия, интенсивность которых не превышает значений порога анаэробного обмена;

- нагрузки смешанного аэробно-анаэробного воздействия, среди которых выделяются нагрузки субкритической интенсивности с уровнем энергетического запроса ниже значения максимального потребления O_2 , и нагрузки надкритической интенсивности, превышающие значение критической мощности;

- нагрузки анаэробного гликолитического воздействия, при которых достигаются наибольшие сдвиги в сфере анаэробного обмена;

- нагрузки анаэробного алактатного воздействия, выполняемые с интенсивностью, близкой к значениям максимальной анаэробной мощности.

Разделение применяемых средств и методов тренировки по вышеуказанным диапазонам нагрузок и установление объема их применения на каждом этапе подготовки позволяет осуществить точный количественный анализ тренировки

и выявить основную стратегию подготовки, характерную для данного вида спорта.

Одним из методов строгого количественного анализа данных о воздействии применяемых средств и методов тренировки является изучение так называемых целевых функций, где изменения избранного критерия эффективности тренировки (прироста показателей работоспособности спортсменов) сопоставляются с величиной прилагаемого стимула (объемом выполненной тренировочной работы). На графиках рис. 36 представлены примеры целевых функций, где значения приростов показателя аэробной мощности (максимума потребления O_2), достигнутые на отдельных этапах подготовки бегунов на длинные дистанции, соотнесены с соответствующими объемами нагрузок разной направленности.

Как видно на представленных графиках, под влиянием суммарного объема нагрузок и объема нагрузок преимущественно аэробного воздействия прирост показателей аэробной мощности обнаруживает линейное увеличение. Линейный характер зависимости имеет место и в случае нагрузок смешанного аэробно-анаэробного воздействия.

В то же время при увеличении объема выполняемых нагрузок гликолитического анаэробного воздействия значения показателей максимальной аэробной мощности экспоненциально понижаются.

Наличие строгой пропорциональности между увеличением объемов выполняемых тренировочных нагрузок и улучшением биоэнергетических критериев спортивной работоспособности указывает на то, что при подготовке данного контингента спортсменов еще не достигнуты пределы адаптации, и поиск путей увеличения объема тренировочной работы для данного вида нагрузок может быть продолжен. Снижение показателей прироста биоэнергетической функции указывает на необходимость ограничения применения средств данной направленности.

Располагая данными о выполненных тренировочных нагрузках и о произошедших изменениях показателей ра-

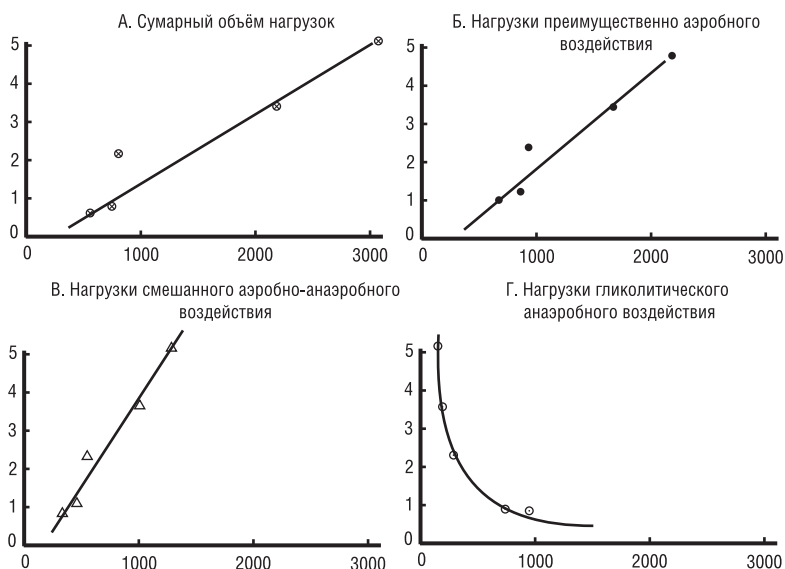


Рис. 36. Взаимосвязь показателей прироста максимума потребления O_2 у бегунов на глинные дистанции с объемами тренировочных нагрузок разной направленности:

на ординате — величина прироста показателя максимального потребления O_2 , мл/кг·мин;

на абсциссе — объем выполненных тренировочных нагрузок, км

ботоспособности, возможно рассчитать оптимальное распределение нагрузок на отдельных этапах подготовки с использованием определенных математических моделей этого явления. Так, следуя гипотезе, предполагающей существование определенного соотношения в значениях объема нагрузок разной направленности, при котором достигается наибольшая величина прироста избранного критерия, вполне допустимо при описании экспериментальных данных использовать параболическую зависимость типа:

$$\Delta R = a_0 + a_1 h_i + a_2 h_i^2, \quad (14)$$

где имеется выраженный экстремум.

В этом случае с допустимой погрешностью можно установить область расположения экстремума по проекции зависимой переменной (показателя работоспособности) на плоскость независимой переменной (объема нагрузок определенной направленности). Вычисляемый с использованием метода наименьших квадратов интервал стандартной ошибки параболического уравнения позволяет установить так называемую зону оптимальных нагрузок (ЗОН).

Примеры построения параболической зависимости и установления ЗОН для отдельных видов нагрузок приведены на графиках рис. 37.

Как следует из результатов проведенных расчетов, в целях улучшения показателей аэробной мощности и повышения спортивных результатов при подготовке бегунов на длинные дистанции основной акцент должен быть сделан на увеличение объема применения средств преимущественно аэробного и смешанного аэробно-анаэробного воздействия. Применение в подготовке бегунов на длинные дистанции «темповых» нагрузок гликолитического анаэроб-



Рис. 37. Зоны оптимальных нагрузок разной направленности в годичном цикле тренировки бегунов на длинные дистанции:
на ординате — величина прироста $\max \dot{V}O_2$, мл/кг·мин;
на абсциссе — объем нагрузки за год тренировки, ч

ного воздействия в объемах более 30 часов за год, или более 6,0% общего годового объема нагрузок, нецелесообразно.

Приведенные примеры иллюстрируют основной путь к установлению оптимальной стратегии подготовки в тех видах спорта, где биоэнергетические факторы оказывают определяющее влияние на уровень спортивных достижений.

ГЛАВА 5

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭРГОГЕНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В СПОРТЕ

Эффективность подготовки высококвалифицированных спортсменов во многом зависит от успешных поисков новых нетрадиционных средств, расширяющих адаптационные возможности организма и стимулирующих его ответные реакции на различные виды тренировочных нагрузок. Среди различного рода стимуляторов и адаптогенов, обладающих выраженным эргогеническим эффектом, в практике подготовки высококвалифицированных спортсменов особое внимание уделяется применению субстратных и энзимных препаратов, действующих на узловых пунктах энергетического метаболизма в тканях (Ю. Г. Бобков, В. Р. Виноградов и др., 1984; В. А. Рогозкин, 1974; W. Morgan, 1972; M. H. Williams, 1983), а также некоторым физиотерапевтическим, фармакологическим и диетарным воздействиям, способным существенно видоизменить основные биоэнергетические параметры (Н. Н. Яковлев, 1975; P. O. Åstrand, 1967; M. H. Williams, 1967; E. C. Percu, 1978; J. Keul, 1972; N. Gledhill, 1982). Использование этих средств в спорте высших достижений пока еще не имеет достаточного научного обоснования, во многих случаях остаются неясными физиологические и биохимические механизмы действия применяемых эргогенических средств, не определены их оптимальные дозировки, сроки и способы введения.

В течение ряда лет на кафедре биохимии и в отделении биоэнергетики проблемной НИЛ ГЦОЛИФК проводились специальные исследования по изучению особенностей применения эргогенических средств при подготовке высококвалифицированных спортсменов. Основные результаты этих исследований составили содержание настоящей главы этой монографии.

5.1. Применение метода аутогемотрансфузии для повышения работоспособности спортсменов

Применение аутогемотрансфузии (АГТ) при подготовке спортсменов позволяет существенно расширить аэробные возможности организма и добиться заметного прироста спортивных достижений (А.В. Аулик, 1980; Г.Д. Макарова, 1975, 1988; P.O. Åstrand, 1972; R.D. Bell, 1976; B. Ekblom et al., 1978; N. Gledhill, 1982; A.V. Frye, R. Ruhling, 1977; R. Robertson, 1978; R. vanRost, W. Hollmann, H. Liesen, 1975; H. Williams, 1980, 1981). В последние годы метод АГТ успешно применялся при подготовке национальных команд ряда стран в видах спорта, где выносливость играет решающую роль (бег на средние и длинные дистанции, плавание, скоростной бег на коньках, лыжные гонки и т.п.).

Методика. Экспериментальные исследования были выполнены на двух контингентах высококвалифицированных спортсменов. Контингент А составили 18 спортсменов, входивших в состав сборной команды СССР по бегу на средние и длинные дистанции. Их средний возраст — 23,2 года, вес тела — 71,1 кг. Контингент Б составили 15 спортсменов из сборной команды РСФСР по плаванию, он был разбит на две группы — контрольную (6 чел.) и экспериментальную (9 чел.). Средний возраст спортсменов контрольной группы — 19 лет, вес тела — 68,3 кг. Средний возраст спортсменов экспериментальной группы — 21,4 года, вес тела — 71,4 кг.

Изучались два варианта АГТ:

а) однократный забор 450 мл цельной крови с последующей ее консервацией и введением на 18–22 день после эксфузии;

б) трехкратный забор по 450 мл крови с последующим замораживанием и хранением эритроцитов и разовым введением всей накопленной эритроцитарной массы (после ее предварительного размораживания) в период от 20 до 50 дней после последнего забора крови.

До и после каждого забора крови, а также перед реинфузией и после введения в различные сроки цельной крови или

эритроцитарной массы спортсмены были подвергнуты испытаниям по программе стандартных лабораторных тестов (см. раздел 2.1) для оценки максимальной аэробной и анаэробной работоспособности.

С целью определения эффекта применения различных вариантов АГТ были организованы специальные учебно-тренировочные сборы, приуроченные к наиболее крупным соревнованиям сезона (Спартакиада народов СССР, мемориал братьев Знаменских, первенство РСФСР и СССР по плаванию и т.д.). Результаты, показанные спортсменами на этих соревнованиях, позволяли судить об эффективности тренировок в условиях применения АГТ.

Все процедуры, связанные с забором, хранением и введением цельной крови или эритроцитарной массы, осуществлялись в Центральном НИИ гематологии и переливания крови. В день проведения эксфузии крови спортсмены освобождались от тренировочных занятий. Каждая донация документировалась в соответствии с инструкцией.

При использовании АГТ с введением эритроцитарной массы забранная кровь разделялась на эритроцитарную массу и плазму. Замораживание и хранение эритроцитов производилось в жидком азоте (В.А. Аграненко, Л.И. Федорова, 1983). При трехразовом заборе крови по 450 мл и разовом введении общий объем эритроцитарной массы составлял около 550 мл, а объем вводимой эритроцитарной взвеси достигал 1000–1100 мл.

Чтобы определить эффективность применения метода АГТ, необходимо иметь данные о тренировочных нагрузках и показателях работоспособности у спортсменов, применявших в своей подготовке этот метод, и соответствующие сведения о спортсменах, не использовавших его. Такой материал был получен в процессе эксперимента, проведенного в сборной команде РСФСР по плаванию (контингент Б).

Достаточно полную информацию об изменениях показателей работоспособности пловцов при различных условиях подготовки можно получить из графиков на рис. 38 и 39, где

представлены зависимости прироста величины максимального потребления O_2 и максимума O_2 -долга от общего объема выполненной тренировочной работы.

В обычных условиях подготовки пловцов (контрольная группа) прирост величины максимального потребления O_2 линейно увеличивается с ростом объема выполняемой работы примерно до 400 час. При больших объемах темпы прироста максимального потребления O_2 стабилизируются при значениях около 3 мл/кг · мин за сезон. При использовании АГТ линейное увеличение прироста максимального потребления O_2 происходит во всем диапазоне применяемых нагрузок и достигает наибольших значений (около 8 мл/кг·мин за сезон).

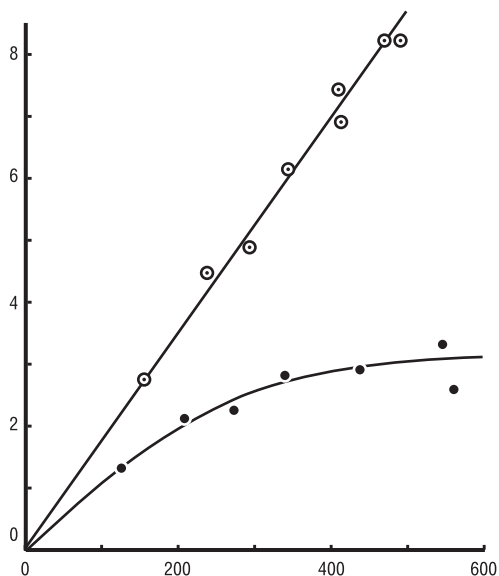


Рис. 38. Прирост показателя максимального потребления O_2 у пловцов экспериментальной и контрольной групп в зависимости от общего объема выполненной тренировочной работы:

на ординате — значения прироста $maxVO_2$, мл/кг·мин;

на абсциссе — значения общего объема нагрузок, ч

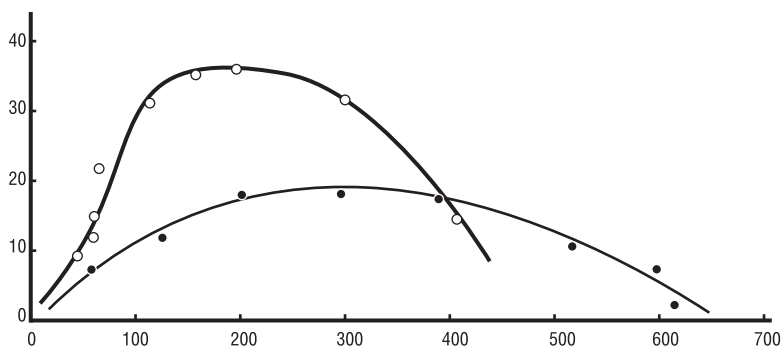


Рис. 39. Прирост показателя максимального O_2 -долга у пловцов экспериментальной и контрольной групп в зависимости от общего объема выполненной тренировочной работы:

на ординате — прирост величины $\text{тах } O_2D$, мл/кг;

на абсциссе — значения общего объема нагрузок, ч

Прирост показателя максимального O_2 -долга в зависимости от реализуемого объема нагрузки в обычных условиях происходит по параболической кривой с максимумом при 300 часах тренировочной работы за 10 месяцев. С применением АГТ кривая зависимости приобретает асимметрический характер с выраженным эксцессом около 220 часов общего объема. При этом амплитуда ответа со стороны этого показателя анаэробной работоспособности возрастает в 1,8 раза, достигая 31 мл/кг за сезон.

Приведенные данные демонстрируют потенцирующий эффект АГТ в отношении специфического воздействия нагрузок, как для кратковременных, так и длительных периодов подготовки спортсменов. Количественным выражением потенцирующего воздействия АГТ может служить улучшение спортивных достижений в разных видах упражнений.

На графиках рис. 40 и 41 суммированы все имеющиеся сведения о повышении спортивных результатов на различных дистанциях плавания и бега под влиянием мето-

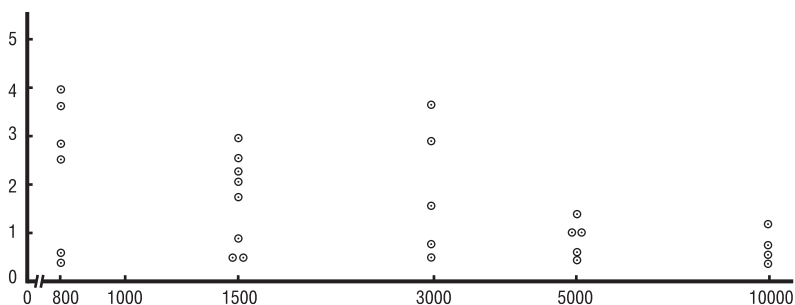


Рис. 40. Улучшение спортивных достижений в беге на разные дистанции под влиянием метода АГТ:

на ординате (арифметическая шкала) — значения относительного улучшения результатов в беге, %;

на абсциссе (логарифмическая шкала) — длина дистанции, м

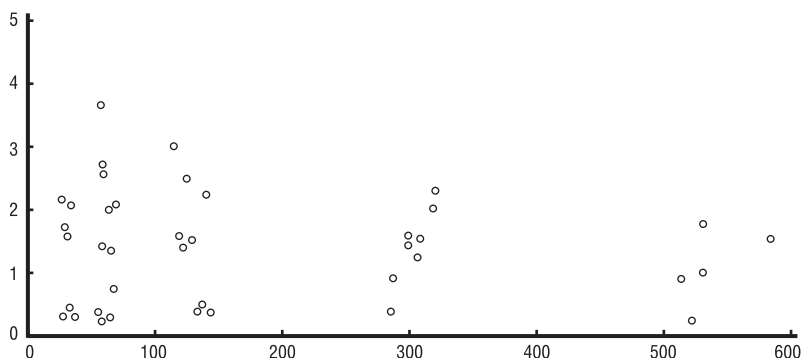


Рис. 41. Улучшение спортивных достижений в плавании на разных дистанциях под влиянием методов АГТ:

на ординате — значения относительного прироста результатов в плавании, %;

на абсциссе — время на дистанции, с

да АГТ. Нетрудно видеть, что общая картина весьма схожа в обоих типах упражнений. Наибольшее улучшение результатов (до 3–4%) обнаруживается в дисциплинах, где требуется максимальное проявление анаэробных потенций (800 м

в беге и 100 м в плавании). На более длинных дистанциях, где основным лимитирующим фактором являются аэробные возможности спортсменов, прирост достижений менее значителен (не более 1–2%).

Особый интерес представляет проследить сдвиги в спортивных результатах в различные сроки после реинфузии крови. На графиках рис. 42 и рис. 43 показана динамика приростов результатов у бегунов с использованием вливания цельной крови и у пловцов с введением размороженной эритроцитарной массы. Уже при первом сравнении этих графиков видны существенные различия в динамике спортивных достижений. У бегунов введение аутокрови сопровождается систематическим улучшением результатов, вплоть до 10–14 дня после реинфузии с постепенным снижением эффекта в поздние сроки. Введение размороженной эритроцитарной массы у пловцов наибольшие приросты спортивных достижений (до 3%) дало в первые 2–3 дня после ретрансфузии.

В период с 5 по 7 день в большинстве случаев обнаруживается временное ухудшение результатов с последующим их улучшением (порядка на 1/5) в период с 12 по 22 день после реинфузии. Наблюдаемые различия в динамике при-

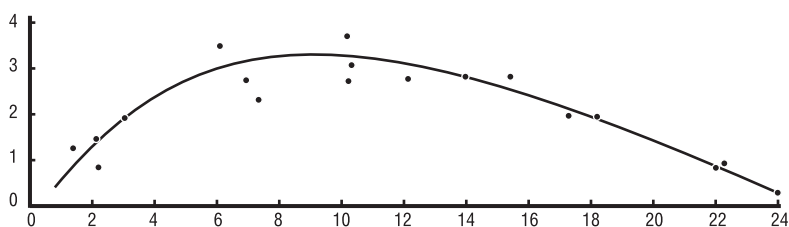


Рис. 42. Улучшение спортивных достижений в беге в различные сроки после реинфузии цельной аутокрови:

на ординате — относительный прирост спортивных результатов в беге, %;

на абсциссе — дни после реинфузии крови

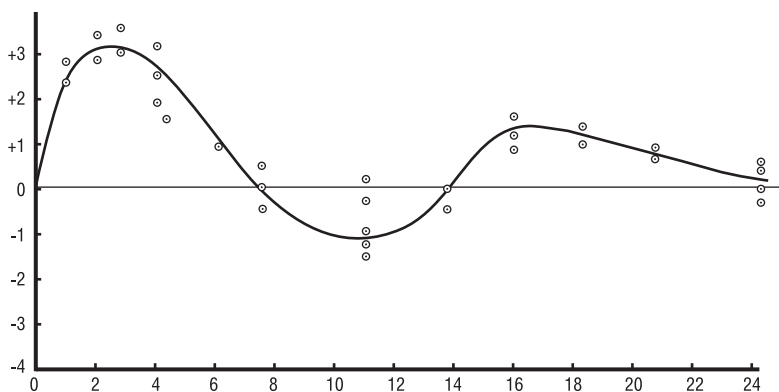


Рис. 43. Улучшение спортивных достижений в плавании в различные сроки после ретрансфузии размороженной эритроцитарной массы:

на ординате — относительный прирост спортивных результатов; %;

на абсциссе — дни после ретрансфузии эритроцитов

роста результатов под влиянием различных вариантов АГТ должны учитываться в практических приложениях данного метода при подготовке спортсменов к ответственным стартам.

5.2. Влияние направленных сдвигов рН внутренней среды на работоспособность спортсменов

Изменение рН жидкостных сред организма оказывает заметное влияние на протекание важнейших физиологических и биохимических процессов (Р. О. Åstrand, К. Roahl, 1977; В. Robinson, Р. Harman, 1941; К. Sahlin, 1978). Направленные изменения рН, вызванные введением соответствующих фармакологических субстанций, приводят к появлению выраженного эргогенического эффекта, отражающегося в улучшении показателей мощности

и выносливости (N. Jones et al., 1976; W. Kinderman, J. Keul, 1977; J. R. Sutton, N. Jones, 1981).

Методика. Эффекты направленного изменения рН внутренней среды организма, вызванного пероральным введением солянокислого аммония и бикарбоната натрия в дозе 0,3 г на 1 кг веса тела, изучали на экспериментальной группе, состоящей из 10 высококвалифицированных бегунов на средние дистанции (КМС и МС; средний возраст — 21,2 года, вес — 73,4 кг). Оценку работоспособности производили по результатам испытаний в тестах максимальной анаэробной мощности, ступенчатого повышения нагрузки, удержания критической мощности, а также при выполнении одно- и трехминутных упражнений на велоэргометре с критической и предельной мощностью.

Изменения рН крови у спортсменов под влиянием приема ацидотических и алкализующих препаратов при выполнении упражнений равной предельной продолжительности, иллюстрирует график на рис. 44. Наблюдающиеся при этом изменения скорости различных видов энергопродукции представлены на графиках рис. 45. Изменения механической производительности в условиях предварительного закисления и защелачивания показаны на графике рис. 46.

Как видно из представленных данных, направленное изменение рН внутренней среды под влиянием предварительного закисления и защелачивания сопровождается выраженными изменениями со стороны биоэнергетических функций и работоспособности спортсменов. Предварительное закисление снижает уровень окислительной активности работающих мышц, усиливает ацидотические сдвиги в крови, потенцирует гипервентиляцию при работе и заметно понижает работоспособность спортсменов в изученных видах упражнений. Предварительное защелачивание уменьшает размеры анаэробных гликолитических сдвигов при работе, снижает величину ацидотических сдвигов в крови при одновременном уменьшении вентиляции легких. Введение щелочных эквивалентов

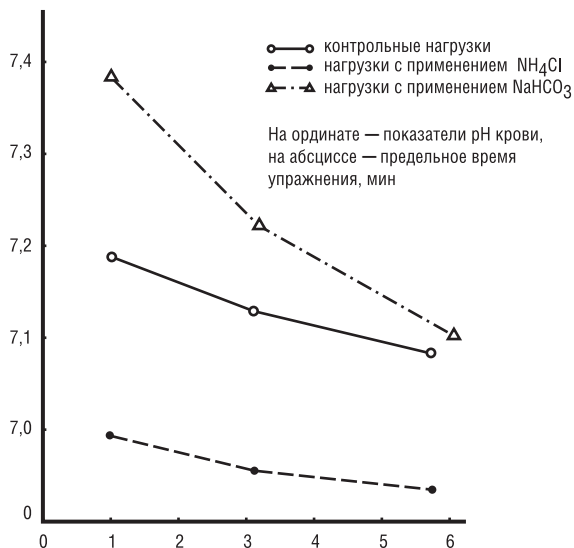


Рис. 44. Изменения рН крови у спортсменов в зависимости от предельного времени упражнения в условиях предварительного закисления и защелачивания:

на ординате — показатели рН крови;

на абсциссе — предельное время упражнения, мин

перед началом упражнения приводит к выраженному положительному эргогеническому эффекту.

На основе результатов проведенного исследования следует заключить, что предварительное закисление и защелачивание могут быть использованы в спортивной медицинской практике в целях коррекции функционального состояния спортсменов. Применение алкализующих препаратов рекомендуется перед выполнением кратковременных истощающих упражнений, таких как бег на дистанции от 400 до 1500 м, плавание на 100 и 200 м и т. п. Умеренное закисление может быть применено для улучшения степени аэрации тканей в период восстановления после больших тренировочных нагрузок.

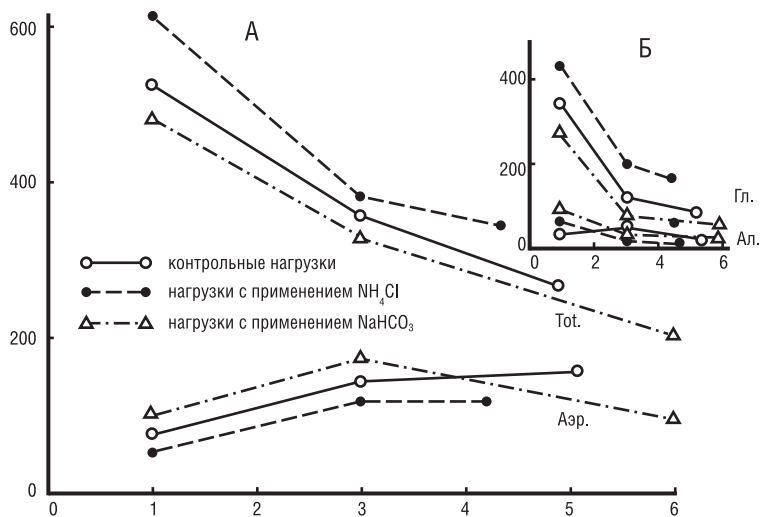


Рис. 45. Изменения уровня энергопродукции различных метаболических источников в зависимости от предельного времени упражнения в условиях предварительного закисления и защелачивания:

на ординате — уровень энергопродукции, кал/кг · мин;
на абсциссе — предельное время упражнения, мин

5.3. Применение препаратов антигипоксического действия для повышения работоспособности спортсменов

Активация процессов свободнорадикального окисления в условиях напряженной мышечной деятельности сопровождается нарушениями процессов тканевого дыхания, что является причиной быстро развивающегося утомления и снижения переносимости гипоксических состояний, permanently возникающих в процессе упражнения (Ю. Г. Бобков, В. М. Виноградов, В. Ф. Катков, 1984; Ф. З. Меерсон и др., 1983). Применение препаратов, обладающих антиоксидательным и антигипоксическим действием, ведет к разрушению перекисных продуктов, стабилизирует работу

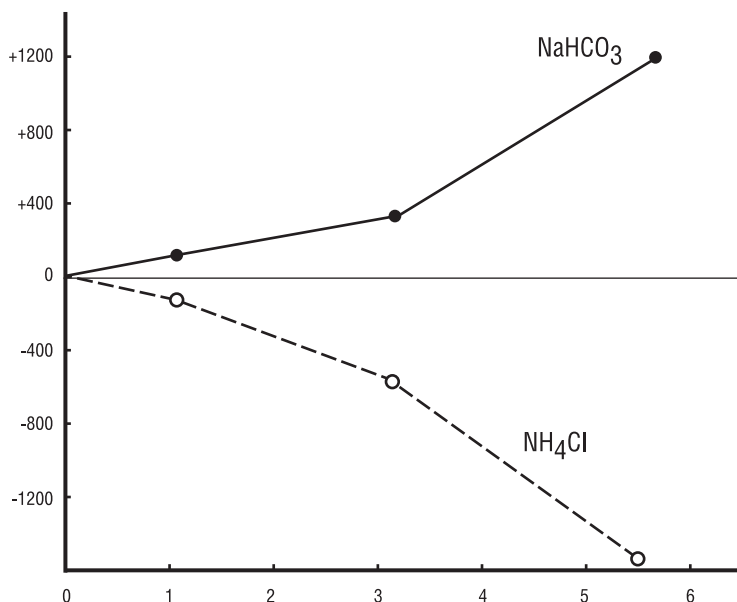


Рис. 46. Изменения механической производительности в упражнениях разной предельной продолжительности в условиях предварительного закисления и защелачивания:

на ординате — прирост количества выполненной работы по сравнению с контролем, кпм;

на абсциссе — предельное время упражнения, мин

дыхательных ферментов, локализованных на митохондриальных мембранах, и снижает скорость развития утомления в процессе работы. Такого рода действием обладает препарат 8А (диоксиполиорилен), синтезированный в НИИ особо чистых биопрепаратов. Антигипоксическая активность данного препарата обусловлена особенностями его молекулярной структуры (фенольный полимер с наличием тиосульфатной группировки) и функциональными свойствами, близкими к природным антиоксидантам типа убихинона. В организме человека основным местом акцепторного действия препарата являются ткани, обладающие наиболее

высоким уровнем окислительной активности — головной мозг, сердечная и скелетная мышцы, печень и т. п. В условиях свержутилизационной гипоксии, возникающей при напряженной мышечной деятельности, введение препарата может улучшить эффективность аэробного обмена и существенно повысить анаэробную производительность.

Методика. Изучение действия антигипоксанта 8А на работоспособность спортсменов проводилось в форме стендовых лабораторных и полевых испытаний. В стендовых испытаниях препарата приняли участие 8 высококвалифицированных спортсменов (КМС и МС), специализирующихся в беге на средние дистанции. Полевые испытания препарата были осуществлены в сборной команде СССР по легкой атлетике (43 человека) при подготовке и участии спортсменов в ответственных внутрисоюзных и международных соревнованиях в период с 1980 по 1983 г. Оценка эффективности препарата осуществлялась путем сравнительного анализа результатов выполнения каждым испытуемым однотипных упражнений предельной мощности в контрольных условиях и при приеме различных доз препарата.

Антигипоксическое действие препарата 8А наиболее наглядно иллюстрируют изменения показателей рН и накопления молочной кислоты в крови у спортсменов при выполнении упражнений разной предельной продолжительности (см. рис. 47).

Графики, приводимые на рис. 48, демонстрируют изменения в уровне различных видов энергопродукции при выполнении упражнений, наблюдаемые при приеме препарата 8А.

Как свидетельствуют результаты проведенных исследований, под влиянием приема препарата 8А заметно повышается уровень аэробной энергопродукции в тканях, но особенно значительно возрастает интенсивность анаэробных гликолитических превращений в работающих мышцах.

Общую оценку эффективности приема препарата 8А в отношении улучшения работоспособности спортсменов

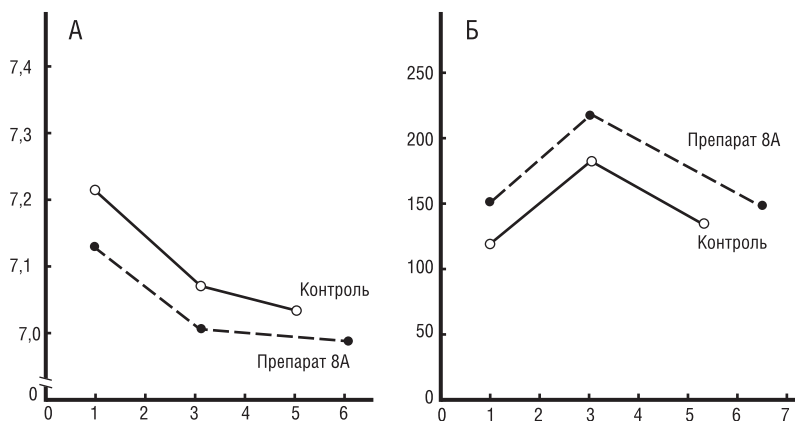


Рис. 47. Зависимость показателей pH и концентрации молочной кислоты в крови от значений предельного времени упражнения в контрольных условиях и при приеме препарата 8А:

на ординате: А — показатели pH крови; Б — концентрация молочной кислоты в крови, мг%;

на абсциссе — предельное время упражнения, мин

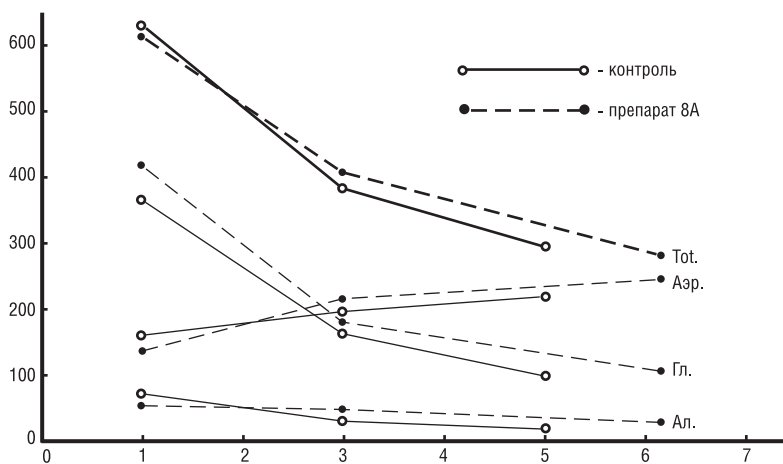


Рис. 48. Зависимость уровня различных видов энергопродукции от предельного времени упражнения в контрольных условиях и при приеме препарата 8А:

на ординате — уровень энергопродукции, кал/кг·мин

на абсциссе — предельное время упражнения, мин

дает график на рис. 49, где приведены данные о приросте общего количества выполненной работы в зависимости от предельного времени упражнения, полученные при стендовых испытаниях в лабораторных условиях.

Данные об улучшении спортивных достижений в беге на разные дистанции под влиянием приема препарата 8А, которые были получены при апробации препарата в сборной команде СССР по легкой атлетике, приведены на графике рис. 50.

Как видно из приведенных данных, наиболее выраженный эргогенический эффект при приеме препарата 8А от-

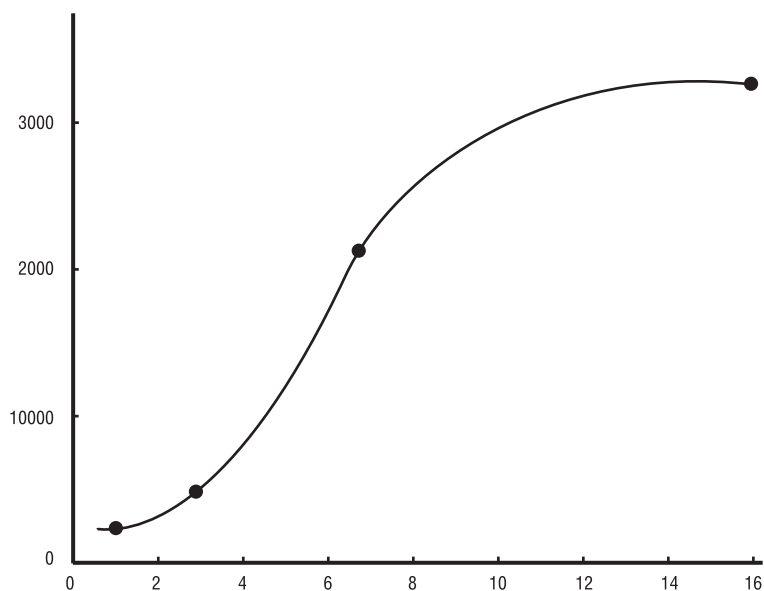


Рис. 49. Прирост показателей работоспособности под влиянием приема препарата 8А в упражнениях разной предельной продолжительности:

на ординате — прирост общего количества выполненной работы, кпм;

на абсциссе — предельное время упражнения, мин

мечается в упражнениях предельной продолжительности от 3 до 10 мин, где имеет место наибольшее развитие тканевой гипоксии и достигается максимальная интенсификация аэробного обмена. В этом диапазоне упражнений за счет приема препарата может быть обеспечен прирост работоспособности на 5–6%.

Учитывая, что в течение трех лет использования препарата 8А в сборной команде СССР по легкой атлетике при подготовке ведущих спортсменов к ответственным внутрисоюзным и международным соревнованиям не было отмече-

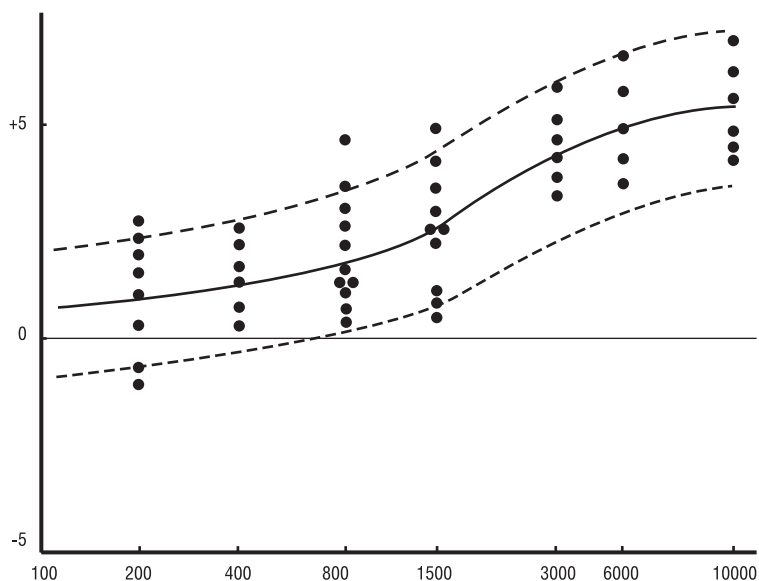


Рис. 50. Улучшение спортивных достижений в беге на разные дистанции у спортсменов сборной команды СССР по легкой атлетике под влиянием приема препарата 8А:

на ординате — значения прироста спортивного результата, % исходного;
на абсциссе (логарифмическая шкала) — длина дистанции бега, м

но ни одного случая резкого ухудшения самочувствия или снижения спортивных результатов, следует признать его высокую эффективность как средства, повышающего физическую работоспособность спортсменов.

5.4. Применение препаратов креатина и креатинфосфата для повышения работоспособности спортсменов

Препараты креатина и креатинфосфата обнаруживают выраженный эргогенный и анаболический эффект в условиях напряженной мышечной деятельности (Сакс В.А., Бобков Ю.Г., Струмиа Е., 1987; Рогозкин В.А. и др., 1974; Walker J. B., 1979; Williams M. N. et al., 1999). Экзогенный креатин свободно проходит через клеточную мембрану и может заметно изменять внутриклеточный креатиновый пул (Bessman S. P., Savabi F., 1990; Harris R. et al., 1992). Проницаемость для эндогенного креатинфосфата существенно ниже, но он способен увеличивать премембранный пул макроэргов, и особенно при повышенной биоэнергетической активности возбудимых клеток в условиях гипоксии (Greenhaft P. L. et al., 1994). Эргогенные эффекты препаратов креатина и креатинфосфата проявляются в увеличении максимальной мощности (Balsom P. D. et al., 1993; Volkov N. I. et al., 1996), улучшении показателей алактатной анаэробной способности и внутриклеточных буферных резервов (Manghan R. J., 1995; Maclaren D., Adamson J., 1995; Ziegenfuss T. et al., 1997), также как и в увеличении скорости «энерготранспортного челнока» от митохондриальных центров окисления к миофибриллам (Jones A. M. et al., 2002).

Методы. Срочные эффекты применения препаратов креатина и аминокислотных смесей были изучены на экспериментальной группе испытуемых, включающей 5 спортсменов высокой квалификации (мастера спорта), специализирующихся в велосипедных гонках на треке. Программа

проводимого эксперимента включала выполнение физиологических и биохимических измерений в покое и при выполнении эргометрических тестов «ступенчатого увеличения нагрузки», «удержания критической мощности» и «повторных максимальных усилий» в лабораторных условиях. Эта батарея тестов была выполнена троекратно: в контрольных условиях без приема препаратов, при приеме препаратов креатина и при комбинированном приеме препаратов креатина и аминокислотных смесей. Препараты креатина применялись в форме фруктового напитка, содержащего креатинфосфат и креатинсульфат в дозе 125 мг на 1 кг веса тела. Комбинированное применение препаратов креатина и аминокислотных смесей осуществлялось в той же форме с применением разовой дозы 52 г аминокислотной смеси «Аутолизин» с добавлением некоторых незаменимых аминокислот. Кумулятивные эффекты приема препаратов креатина в течение длительного периода специализированной подготовки изучались по двум схемам проведения экспериментальных исследований. По первой схеме, реализованной на спортсменах сборной команды России по бегу на короткие дистанции (11 мужчин и 5 женщин, мастера спорта и кандидаты в мастера спорта), в течение одного годичного сезона в каждом тренировочном занятии скоростно-силовой направленности спортсмены принимали по 5 г препарата креатина до и после проведения тренировочного занятия.

Вторая схема построения эксперимента, в реализации которой приняли участие 7 спортсменов (КМ и МС), специализирующихся в беге на короткие дистанции, предусматривала выполнение определенной тренировочной программы в течение двух смежных спортивных сезонов. В течение первого года экспериментальной тренировки спортсмены не применяли никаких эргогенических средств, во второй год экспериментальной тренировки они регулярно использовали препараты креатина и аминокислотных смесей по уже описанной схеме. В начале и в конце каждого этапа сезонной подготовки спортсмены проходили обследование

по программе стандартных лабораторных и специальных тестов.

Результаты лабораторных стендовых исследований по оценке острого эффекта приема препаратов креатина суммированы в табл. 10.

Как свидетельствуют результаты проведенных исследований, прием препаратов креатина и аминокислотных смесей в условиях напряженной мышечной деятельности

Таблица 10. *Влияние приема препаратов креатина на показатели работоспособности спортсменов в стандартизированных лабораторных тестах*

№ п/п	Показатели	Контроль	Креатин	Креатин + аутолизин
1.	Максимальная мощность ($W_{\max}$), кпм/мин	6238±411	8380±901	10378±534
2.	Мощность истощения ($W_{\text{ист}}$), кпм/мин	2768±128	2750±165	2886±259
3.	Критическая мощность ($W_{\text{кр}}$), кпм/мин	2068±110	2037±70	2080±167
4.	Предельная работа в тесте повторных максимальных усилий, кпм	1040±68	1096±35	1105±66
5.	Предельная работа в тесте повторных предельных усилий (3×1' через 1'отдыха), кпм	8309±385	8249±433	8658±778

6.	Предельная работа в тесте на удержание критической мощности, кпм	10994±1171	11212±1204	15239±864
7.	Уровень «пикового» O ₂ -потребления в тесте МАМ, мл/кг · мин	29,3±2,1	31,6±3,0	36,1±2,7
8.	Уровень «пикового» O ₂ -потребления в тесте 3×1' через 1' отдыха, мл/кг·мин	51,4±3,1	51,5±3,2	56,0±0,6
9.	Уровень «пикового» O ₂ -потребления в тесте на удержание, мл/кг·мин	51,3±2,9	49,8±2,4	54,8±0,8
10.	Размеры O ₂ -запроса в тесте 3×1' через 1' отдыха, л	13,7±0,9	13,7±1,8	14,0±0,9
11.	Размеры O ₂ -запроса в тесте на удержание W _{кр} , л	20,0±2,3	20,2±2,6	28,7±3,0
12.	Значение рН в тесте МАМ, усл. ед.	7,046±0,015	7,087±0,36	7,120±0,009
13.	Значение рН в тесте 3×1' через 1' отдыха, усл. ед.	7,089±0,033	7,065±0,23	7,065±0,031
14.	Значение рН в тесте на удержание W _{кр} , усл. ед.	7,104±0,019	7,102±0,025	7,115±0,002

повышает максимальную мощность усилий, увеличивает буферные резервы организма и улучшает эффективность аэробного энергообразования. В наиболее заметной степени эти эффекты проявляются при повторном выполнении упражнений максимальной мощности, где не обнаруживается значительного усиления гликолиза и отсутствует за-

метное закисление внутренней среды организма. В других изученных видах упражнения, где имели место предельные величины закисления со значительным истощением анаэробной емкости, эффекты приема препаратов креатина менее заметны. Исходя из достигнутых результатов, наибольшее преимущество от использования препаратов креатина и аминокислотных смесей можно ожидать в тех видах спорта, где преобладают кратковременные усилия максимальной мощности, таких как бег на короткие дистанции, прыжки, метания, велосипедные гонки на треке и т. п.

В сборной команде Узб. ССР по бегу на короткие дистанции, где проводилось изучение кумулятивного эффекта применения препаратов креатина в течение одного года тренировки, обнаруживается четкая зависимость между общим объемом выполненной тренировочной работы и количеством потребленного препарата креатина на отдельных этапах подготовки (рис. 51).

Кумулятивный эффект выполненной тренировочной работы и общего количества потребленного препарата креатина отражается в приросте спортивных достижений.

Данные об интеркорреляциях показателей относительного прироста спортивных достижений, объемы выполненных тренировочных нагрузок разной направленности и количества потребленного креатина представлены в табл. 11.

Как следует из приводимых в таблице данных, относительный прирост спортивных достижений значимо коррелирует с количеством потребленного препарата креатина.

Данные о выполненных объемах тренировочных нагрузок разной направленности и приросте показателей работоспособности в экспериментальной группе бегунов на короткие дистанции (7 человек), которые тренировались в течение двух сезонов с применением и без применения препаратов креатина, приведены в табл. 12.

Как видно из приводимых данных, показатели объема выполненных тренировочных нагрузок участниками экспе-

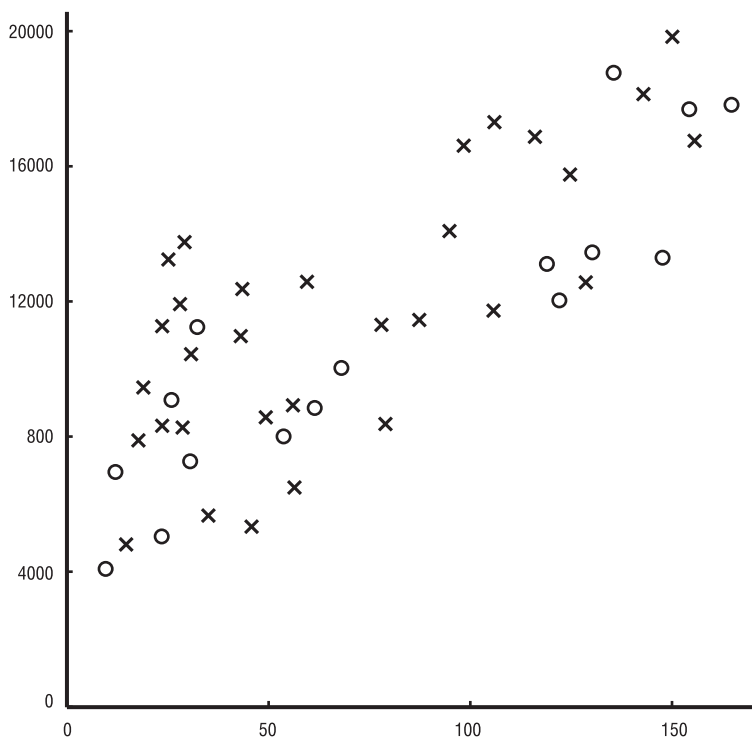


Рис. 51. Зависимость общего объема тренировочных нагрузок от количества потребленного препарата креатина:

на оси ординат — значения общего объема нагрузок, мин;
на оси абсцисс — количество потребленного креатина, г;
крестики соответствуют значениям испытуемых мужчин, светлые кружки — значениям испытуемых женщин

риментальной группы в течение обоих лет, когда велись наблюдения, достоверно не различаются, однако, спортивные достижения в беге на 100 и 200 м и показатели специальной работоспособности достоверно улучшились во второй год эксперимента, когда применялись препараты креатина.

Таблица 11. Матрица интеркорреляций показателей относительного прироста спортивных достижений, объема выполненных тренировочных нагрузок и количества потребленного креатина

Зависимые переменные	Независимые переменные				
	H_1	H_2	H_3	H_4	H_p
Объем нагрузок аэробной направленности (H_1)	X				
Объем нагрузок смешанной аэробно-анаэробной направленности (H_2)	0,75	X			
Объем нагрузок гликолитической анаэробной направленности (H_3)	-0,11	-0,53	X		
Объем нагрузок алактатной анаэробной направленности (H_4)	0,40	0,13	0,53	X	
Количество потребленного креатина (K_p)	0,51	0,47	0,11	0,80	X
Относительный прирост спортивных достижений (ΔR)	-0,49	-0,41	0,05	-0,31	-0,88

Кумулятивный эффект применения препаратов креатина наиболее четко проявился в улучшении тех функциональных свойств и физических качеств, на развитие которых были направлены тренировочные средства, применяемые в период приема препаратов креатина.

Таким образом, проведенные исследования показали, что применение препаратов креатина позволяет существенно повысить эффективность применения нагрузок скоростно-силового характера и сопровождается улучшением показателей специальной работоспособности, а также приростом результатов в беге на короткие дистанции.

При апробации препаратов креатина в сборной команде СССР по легкой атлетике было установлено, что у сильнейших спринтеров страны общий прирост результатов в беге на 100 м под влиянием приема препаратов креатина составляет около 1 %, а в беге на 200 м — 1,7 %.

Таблица 12. Данные об объемах тренировочных нагрузок разной направленности и приросте показателей работоспособности у бегунов на короткие дистанции под влиянием одного года тренировки с применением и без применения препаратов креатина

Показатели	Тренировка без применения препаратов креатина	Тренировка с применением препаратов креатина
Объем нагрузок аэробного воздействия, мин	2891±246	2797±366
Объем нагрузок смешанного аэробно-анаэробного воздействия, мин	3620±816	3765±412
Объем нагрузок гликолитического анаэробного воздействия, мин	210±40	215±22
Объем нагрузок алактатного анаэробного воздействия, мин	3487±521	3472±488
Общий объем нагрузок за год, мин	10226±570	10272±710
Результат в беге на 100 м, с	10,62±0,28	10,51±0,22
Результат в беге на 200 м, с	22,07±0,35	21,81±0,31
Прирост результата в прыжке с места, см	24,5±2,6	37,0 ±3,4
Прирост результата в беге на 20 м, с	0,07±0,01	0,11±0,02
Прирост результата в беге на 60 м, с	0,18±0,04	0,257±0,06
Прирост результата в беге на 150 м, с	0,56±0,11	0,80±0,10
Прирост результата в беге на 300 м, с	1,20±0,21	1,97±0,24
Прирост показателя максимального потребления O ₂ , мл/кг · мин	-2,85±0,64	-1,043±0,06

5.5. Повышение работоспособности спортсменов под влиянием приема препарата милдронат

Препарат милдронат, относящийся к классу гидразиновых бетаинов, является ближайшим структурным аналогом γ-бутиробетаина (одного из предшественников карнитина). В присутствии милдроната происходит угнетение биосинтеза карнитина и снижение его концентрации в клетке

(Ю.Г. Бобков, В.М. Виноградов, 1982; Б.З. Симхович и др., 1984), что приводит к угнетению окисления жирных кислот. В условиях недостаточного снабжения тканей кислородом введение милдроната препятствует накоплению β -гидроксипроизводных ацил-КоА и поддерживает на высоком уровне отношение НАД/НАД-Н в клетке, что стимулирует реакции гликолиза и цикла трикарбоновых кислот. Исходя из этих фактов, следует ожидать, что введение милдроната при физических нагрузках будет способствовать более полной и эффективной мобилизации углеводных ресурсов в работающих мышцах и улучшать показатели аэробного обмена при выполнении упражнения.

Методика. В опытах по оценке эффективности препарата милдронат приняли участие 18 спортсменов, специализирующихся в велосипедных гонках на шоссе и треке. Их средний возраст — $21 \pm 1,8$ лет, вес — 76 ± 4 кг. При изучении срочного эффекта приема препарата милдронат были использованы три вида стандартизированных лабораторных испытаний — тест ступенчатого повышения нагрузки, тест удержания критической мощности и тест трехкратного повторения предельной одноминутной работы через одноминутные интервалы отдыха. Производимые в этих тестах биохимические и физиологические измерения обеспечивали комплексную оценку максимума аэробной и анаэробной работоспособности спортсменов (см. раздел 2.1).

Препарат милдронат применялся внутрь в форме желатиновых капсул по 0,25 г. Его разовая доза составляла 1 г за 3 часа до начала испытаний. В качестве контроля служили опыты с приемом плацебо (CaCO_3).

Основные результаты, полученные при изучении «острых» эффектов приема препарата милдронат в стандартизированных лабораторных тестах, приведены в табл. 13 и 14.

Как свидетельствуют приводимые в таблицах данные, выполнение предельных нагрузок при приеме препарата милдронат сопровождалось менее значительным повышением величины дыхательного коэффициента и менее выраженным

Таблица 13. Физиологические критерии аэробной и анаэробной способности в тесте на удержание критической мощности в условиях приема плацебо и милдроната

Условия эксперимента	Время удержания крит. мин	Уровень потребления O_2		$V_{E'}$ л/мин	R	ExhCO ₂ , л/мин	pH		Глюкоза, мг%	
		л/мин	мл/кг · мин				в покое	после нагрузки	в покое	после нагрузки
Контроль	3,92±0,67	4,34±0,08	61,48±1,44	145,83±6,60	1,07±0,03	1,43±0,13	7,38±0,01	7,16±0,039	86,42±3,20	101,83±11,48
Милдронат	6,93±0,58*	4,44±0,06*	63,53±1,146*	151,83±7,38*	1,05±0,02*	1,30±0,08*	7,39±0,009	7,22±0,033*	85,58±3,29	110,16±4,98

* Достоверные различия при $p \leq 0,05$.

Таблица 14. Показатели аэробного и анаэробного обмена у спортсменов при повторном выполнении одноступенчатых предельных нагрузок в условиях приема плацебо (контроль) и милдроната

Условия эксперимента	Предельное количество выполненной работы	Общий O_2 -приход за период упражнения, л	Восстановительный излишек потребления O_2 в паузах отдыха, л	O_2 -стоимость работы, л	$V_{E'}$ л/мин	pH	
						в покое	после нагрузки
Контроль	8320±182	9,77±0,33	4,83±0,09	14,60±0,36	152,40±7,52	7,37±0,01	7,12±0,03
Милдронат	8600±239*	10,06±0,22*	5,18±0,22*	15,25±0,42	154,60±8,20	7,423±0,01*	7,17±0,03

* Достоверные различия при $p \leq 0,05$.

снижением содержания глюкозы в крови. Это можно расценить как свидетельство большого использования углеводных запасов в работающих мышцах. Введение милдроната вызывает небольшое увеличение максимального потребления O_2 и улучшает показатели аэробной эффективности у спортсменов. Эти результаты экспериментов находятся в хорошем совпадении с высказанными ранее предположениями о механизмах действия милдроната.

В условиях напряженной мышечной деятельности не нашла своего подтверждения версия об усилении анаэробного гликолиза на фоне приема милдроната. Можно полагать, что некоторое усиление реакций анаэробного расщепления углеводов в работающих мышцах при введении милдроната в полной мере компенсируется одновременным повышением эффективности аэробного окисления, что, в частности, находит свое отражение в меньших сдвигах рН при повторных предельных нагрузках.

Основываясь на результатах проведенного исследования «острого» влияния милдроната на биоэнергетические показатели и работоспособность спортсменов в различных условиях, можно заключить, что основное действие милдроната проявляется в улучшении показателей аэробной мощности, емкости и эффективности. Исходя из этого, прием милдроната в указанных дозировках можно рекомендовать в целях срочного повышения работоспособности в упражнениях, связанных со значительными проявлениями выносливости.

Этот способ стимуляции аэробной работоспособности можно с успехом использовать при подготовке высококвалифицированных атлетов к ответственным соревнованиям с длительностью упражнений от 3 мин до 2,5 ч (бег на длинные дистанции, велосипедные гонки, спортивная ходьба, гребля и т.д.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях напряженной мышечной деятельности работоспособность человека определяется, по преимуществу, изменениями, происходящими в сфере аэробного и анаэробного энергетического обмена. Относительная доля участия процессов аэробного и анаэробного метаболизма в энергетике упражнений различной мощности и продолжительности зависит от особенностей их кинетики (скорости включения в действие, максимальной метаболической мощности, метаболической емкости и эффективности преобразования энергии) и условий выполнения упражнений (температура, барометрическое давление, состав вдыхаемого воздуха, характер питания, применение лекарственных средств и т.п.). Варьируя значениями параметров избранного упражнения и изменяя условия их выполнения, возможно, добиться направленного воздействия на отдельные метаболические процессы, связанные с преобразованием энергии, и таким путем повысить работоспособность человека.

Компартментальная модель энергетического обмена у человека, разработанная на основе известных данных о кинетике процессов аэробного и анаэробного метаболизма в условиях напряженной мышечной деятельности, где имеет место выраженная кислородная недостаточность, предусматривает наличие биэкспоненциальной зависимости для динамики кислородного потребления и накопления молочной кислоты в крови во время работы и отдыха. Предсказания математической модели хорошо соответствуют экспериментально установленным фактам об особенностях кинетики молочной кислоты и кислородного обмена у человека при напряженной мышечной деятельности.

В кратковременных упражнениях максимальной мощности основным источником энергии служит распад фосфагенов (АТФ и креатинфосфата). В этих упражнениях между количеством распавшихся фосфагенов и общим объемом вы-

полненной работы обнаруживается линейная зависимость. Снижение показателей механической производительности при выполнении максимальных упражнений тесно связано со степенью истощения внутримышечных резервов фосфагенов и накоплением молочной кислоты, вызванным активацией анаэробного гликолиза в работающих мышцах. Эргометрические критерии при выполнении максимальных упражнений могут быть использованы для количественной оценки мощности и емкости алактатного анаэробного процесса.

Исследования кинетики молочной кислоты с использованием техники быстрых непрерывных измерений при кратковременных мышечных усилиях и при резких переходах от умеренной мышечной деятельности к предельно напряженной работе выявили в кривой «накопление — устранение» молочной кислоты в крови наличие выраженных осцилляций, которые не могут быть предсказаны на основе постулируемой компартментальной модели. В условиях напряженной мышечной работы, где уровень энергетического запроса значительно превышает возможности его аэробного обеспечения, увеличение общей продолжительности упражнения ведет к линейному возрастанию количества образованной молочной кислоты. Кинетические характеристики кривой «накопление — устранение» молочной кислоты в крови при напряженной мышечной деятельности обнаруживает заметные индивидуальные различия.

Уровень потребления O_2 во время мышечной работы возрастает в прямой пропорции к мощности выполняемого упражнения вплоть до того момента, когда в действие вступают лимиты поставки O_2 к тканям. При выполнении упражнений, мощность которых превышает значение «порога анаэробного обмена», кривая потребления O_2 обнаруживает четкое разделение на два экспоненциальных компонента: после начального быстрого увеличения уровня потребления O_2 происходит медленное приближение к конечному значению в момент прекращения работы. Скорость этого медлен-

ного прироста кривой потребления O_2 близко соответствует скорости образования «излишка» молочной кислоты. Верхней границей диапазона нестационарных режимов кислородного обмена при работе служит уровень максимального потребления O_2 . С использованием специальной техники газоаналитических исследований при переходе от покоя к интенсивной мышечной деятельности выявлено наличие кратковременной лаг-фазы, предшествующей быстрому экспоненциальному нарастанию кривой потребления O_2 . В этот период, так же как и при достижении стационарного уровня, отмечаются выраженные осцилляции скорости потребления O_2 . Эти осцилляции хорошо воспроизводятся от опыта к опыту у одних и тех же испытуемых, но обнаруживают заметные межиндивидуальные различия.

Величина и характер происходящих во время работы анаэробных изменений находят свое отражение в размерах образующегося при выполнении упражнения кислородного долга. В зависимости от тяжести выполняемой работы в кривой оплаты O_2 -долга выделяются одна или две экспоненциальные фазы, различающиеся по скорости окислительных превращений. Медленно оплачиваемая (лактатная) фракция кислородного долга образуется, когда содержание молочной кислоты в крови при работе превысит критическое значение 50 мг%. Размеры общего O_2 -долга и его медленной фракции экспоненциально возрастают с увеличением мощности упражнения. Величина быстро оплачиваемой (алактатной) фракции O_2 -долга увеличивается в линейной зависимости от тяжести работы. В условиях напряженной мышечной деятельности размеры O_2 -долга и составляющих его фракций увеличиваются вместе с ростом продолжительности упражнения. Наряду с изменениями мощности и продолжительности упражнения на величину образующегося O_2 -долга существенное влияние оказывает варьирование таких компонентов физической нагрузки, как число повторений упражнений и продолжительность интервалов отдыха между ними.

Уровень O_2 -запроса при напряженной мышечной деятельности экспоненциально возрастает с увеличением мощности выполняемого упражнения. При «субкритических» значениях мощности изменения уровня O_2 -запроса представляются экспонентой с «медленной» константой скорости, которая отражает изменение эффективности аэробного метаболизма в процессе работы; при «надкритических» значениях мощности, где имеет место значительное усиление анаэробных процессов, уровень O_2 -запроса возрастает по экспоненте с «быстрой» константой скорости. Это увеличение O_2 -запроса зависит от типа выполняемого упражнения и тренированности испытуемого.

Так же как и изменения уровня O_2 -запроса, вариации скорости отдельных видов энергопродукции (аэробного, гликолитического и алактатного) обусловлены изменениями мощности упражнения. При «субкритических» значениях мощности, где уровень общих энергозатрат не превышает значений максимальной скорости аэробного производства энергии, изменения в уровне анаэробных (алактатного и гликолитического) видов энергообразования незначительны; при «надкритических» значениях мощности скорость алактатной и гликолитической анаэробной энергопродукции возрастает в линейной зависимости от уровня относительной метаболической мощности упражнения.

В соответствии с изменениями характера и скорости энергообразования при напряженной мышечной деятельности возможно выделить несколько диапазонов упражнений, различающихся по типу устанавливающихся метаболических состояний. Так, в частности, по результатам произведенных измерений аэробной и анаэробной энергопродукции в разных типах циклических упражнений (бег, плавание, скоростной бег на коньках, велосипедные и лыжные гонки, гребля и т.п.) выделены следующие четыре диапазона упражнений с разной направленностью метаболических процессов:

а) диапазон упражнений предельной продолжительности до 10 с. В этом диапазоне достигается максимально высо-

кая скорость анаэробной энергопродукции, связанная с использованием внутримышечных запасов фосфагенов (АТФ и креатинфосфата);

б) диапазон упражнений предельной продолжительности от 10 до 45 с. В этом диапазоне отмечается наибольшая скорость изменений в гликолитическом анаэробном процессе при одновременно обнаруживающемся истощении фосфагенных ресурсов и выраженном кислородном дефиците;

в) диапазон упражнений предельной продолжительности от 45 с до 2,5 мин. В этом диапазоне достигается наибольшая степень истощения анаэробной гликолитической емкости и вместе с тем здесь уже заметно интенсифицируется аэробный процесс;

г) диапазон упражнений предельной продолжительности от 2,5 до 10 мин. В этом диапазоне достигается максимальная скорость аэробных превращений в работающих мышцах. Анаэробный гликолиз еще имеет место, но его скорость заметно снижается из-за истощения внутримышечных запасов гликогена и накопления значительных количеств молочной кислоты.

В условиях напряженной мышечной деятельности физическая работоспособность человека проявляется в виде трех отличных по своей физиологической природе свойств организма — алактатной анаэробной, гликолитической анаэробной и аэробной способности. Каждый из этих компонентов физической работоспособности может быть количественно оценен с помощью биоэнергетических критериев трех типов: критериев мощности, критериев емкости и критериев эффективности. Конкретные проявления физической работоспособности у спортсменов носят специфический характер. Специфичность проявлений работоспособности определяется соотношением в уровне развития биоэнергетических потенциалов, устанавливающимся в процессе тренировки в избранном виде спорта. Наиболее высокие показатели максимума аэробных способностей демонстрируют спортсмены, специализирующиеся в беге на длинные дистанции, лыжных

гонках, велосипедных гонках на шоссе, конькобежном многоборье. Самые высокие показатели алактатной анаэробной способности отмечены у представителей скоростно-силовых и игровых видов спорта (бег на короткие дистанции, велосипедные гонки на треке, хоккей с шайбой и т.п.). Наибольшие значения показателей гликолитической анаэробной способности зарегистрированы у бегунов на средние дистанции, велогонщиков-трековиков, хоккеистов и т.п.

Биоэнергетические факторы спортивной работоспособности могут быть существенно улучшены в процессе тренировки, при этом на начальных этапах тренировки наибольшие изменения обнаруживаются в показателях мощности биоэнергетических процессов, затем — в показателях емкости, и на заключительных этапах тренировки — в показателях эффективности. После прекращения тренировки изменения перечисленных биоэнергетических параметров осуществляются в обратном порядке.

В зависимости от направленности биоэнергетических сдвигов в организме тренировочные нагрузки, используемые при подготовке спортсменов, могут быть разделены на следующие группы:

1. Нагрузки преимущественно аэробного воздействия. Энергетические затраты при выполнении таких упражнений покрываются, в основном, за счет аэробных процессов. Участие анаэробных процессов ограничивается лишь пусковой фазой работы, когда имеет место задержка в поставке O_2 к работающим мышцам. Основными условиями при выполнении упражнений такого рода является их невысокая интенсивность ($\leq W_{\text{пано}}$) и большая длительность (от 0,5 часа и более).

2. Нагрузки смешанного аэробно-анаэробного воздействия. При выполнении упражнений, относящихся к этому диапазону тренировочных нагрузок; наряду со значительным усилием аэробного обмена заметно увеличивается интенсивность анаэробных превращений в тканях. Поэтому эти нагрузки способствуют не только улучшению аэробных

возможностей, но оказывают на организм более разностороннее воздействие, повышая его анаэробные потенции.

3. Нагрузки гликолитического анаэробного воздействия. Эти упражнения оказывают воздействие преимущественно на гликолитические анаэробные механизмы энергетического обмена. Их применение в процессе тренировки способствует развитию тканевых адаптаций к работе в условиях большого кислородного долга.

4. Нагрузки алактатного анаэробного воздействия. К этому виду тренировочных нагрузок относятся упражнения скоростно-силового характера, выполняемые с максимальной мощностью. Они оказывают преимущественное воздействие на внутримышечные процессы анаэробного образования энергии, связанные с использованием запасов АТФ и креатинфосфата.

В зависимости от доминирующих биоэнергетических факторов в каждом виде спорта используется специфический набор тренировочных средств и методов, удельный вес которых заметно изменяется от этапа к этапу подготовки.

Для установления оптимальных значений объема нагрузок избранной направленности может быть использован метод составления целевых функций, где изменения избранного критерия (прироста показателей работоспособности) сопоставляются с объемами выполненной тренировочной работы. Наличие строгой пропорциональности между увеличением объема тренировочной нагрузки и улучшением биоэнергетических критериев работоспособности указывает в этом случае на то, что в процессе подготовки спортсменов еще не достигнуты пределы адаптации, и поиск путей дальнейшего увеличения объема для данного вида тренировочных нагрузок может быть продолжен. Снижение темпов прироста показателей биоэнергетических функций будет указывать на необходимость ограничения объемов применения средств данной направленности.

Выбор оптимального соотношения нагрузок разной направленности на отдельных этапах подготовки может быть

осуществлен с использованием расчетных алгоритмов математической теории оптимального программирования.

Для улучшения биоэнергетических факторов, лимитирующих спортивную работоспособность, и в целях потенцирования тренировочного эффекта нагрузок в практике подготовки высококвалифицированных спортсменов может быть использован широкий круг эргогенических средств. Установлено, что в качестве эффективных средств срочного повышения работоспособности и расширения биоэнергетических возможностей спортсменов могут быть применены препараты антигипоксического действия (олифен, гутимин, беметил), креатин-фосфат (неотон) и алкализующие средства (введение бикарбонатов). Значительное улучшение отставленного тренировочного эффекта обеспечивает применение в спортивной практике метода программированного углеводного насыщения, а также препаратов милдроната, картинина и аланина. Выраженный кумулятивный тренировочный эффект зафиксирован при использовании метода аутогемотрансфузии, тренировки в гипоксических условиях (дыхание в замкнутое пространство с регулируемым содержанием O_2 и CO_2 , пребывание в высокогорной местности), а также при применении препаратов креатина и аминокислотных смесей.

СЛОВАРЬ КЛЮЧЕВЫХ ТЕРМИНОВ

Адаптогены — вещества, повышающие общую сопротивляемость организма.

Аденилаткиназа (миокиназа) — фермент, ускоряющий реакцию фосфорилирования, когда к одной молекуле АДФ присоединяется другая, что приводит к образованию АТФ и АМФ.

АДФ (аденозиндифосфат) — продукт гидролиза АТФ (аденозинтрифосфата), который может быть обратимо преобразован в АТФ для накопления энергии путем добавления макроэргической фосфатной группы.

Алактатный кислородный долг — количество кислорода, необходимое для ресинтеза АТФ и КрФ в мышцах после кратковременного упражнения максимальной мощности.

Аминокислоты — органические соединения, объединенные в форме белков и состоящие из водорода, углерода, кислорода и азота.

АМФ (аденозинмонофосфат) — продукт гидролиза АТФ или АДФ, который может быть обратимо преобразован в АДФ или АТФ для накопления энергии путем добавления макроэргической фосфатной группы.

Анаэробная емкость — общее количество энергии, которое может быть получено от анаэробного метаболизма при мышечной работе.

Анаэробный метаболизм — совокупность биохимических процессов в клетках и органах тела, происходящих без участия кислорода.

Анаэробная мощность — скорость преобразования энергии в процессах анаэробного метаболизма.

Анаэробный порог — уровень интенсивности упражнения, при котором концентрация лактата в крови начинает быстро увеличиваться относительно уровня скорости.

АТФ (аденозин трифосфат) — макроэргическое вещество, используемое в различных внутриклеточных процессах.

АТФ-аза — фермент, ускоряющий реакцию присоединения к АТФ молекулы воды.

Аэробный метаболизм — совокупность биохимических процессов в клетках и органах тела, происходящих с участием кислорода.

Аэробная мощность — максимальный уровень потребления кислорода во время работы.

Биоэнергетика — наука о закономерностях энергетических превращений в человеческом и животном организме.

Биоэнергетические критерии — основные характеристики энергетических преобразований в различных видах физической активности, включающие критерии мощности, емкости и эффективности.

Биоэнергетические свойства — аэробная и анаэробная работоспособность, т.е. возможность работать с использованием аэробных или анаэробных метаболических процессов.

Быстрые мышечные волокна — мышечные волокна, характеризующиеся коротким временем сокращения и высокими анаэробными способностями. Включаются в работу при высокой мощности упражнения (волокна второго типа).

Буфер — субстанция, препятствующая изменению pH в сторону закисления и поддерживающая постоянство кислотно-щелочного баланса.

Буферная емкость — характеристика, отражающая доступную емкость буфера, препятствующего закислению.

Венозный возврат — величина венозной крови, притекающей к сердцу.

Вентиляционная эффективность — количество вентилируемого воздуха, приходящееся на 1 л кислорода.

Вентиляционный порог — критическая точка, в которой уровень легочной вентиляции и выделения CO_2 растет быстрее, чем мощность работы и происходит переключение энергообеспечения с аэробного на частично анаэробное с образованием молочной кислоты.

Велоэргометр — устройство в форме велосипеда, точно измеряющее выполняемую работу.

Витамины — группа органических соединений разнообразной химической природы, присутствие которых в минимальных количествах необходимо для протекания метаболических реакций.

Вингейт тест — тест однократной предельной работы для оценки анаэробной гликолитической мощности.

Выносливость — способность к длительному выполнению какой-либо деятельности без снижения ее интенсивности.

Внутримышечные триглицериды — глицериды, запасенные в мышечной ткани, которые могут служить источником энергии.

Восстановительная работа — упражнение невысокой интенсивности, выполняемое в паузах отдыха между упражнениями высокой интенсивности в программе интервальной тренировки (обычно быстрая ходьба или медленный бег).

Время тренировки — общее количество времени, затраченное для выполнения тренировочной программы.

Гемоглобин — сложный железосодержащий белок, находящийся в красных кровяных тельцах и являющийся ответственным за транспортировку кислорода в тканях.

Гомеостаз — поддержание постоянства внутренней среды организма.

Гидролиз — реакция расщепления химических соединений в воде.

Гипербарическая камера (барокамера) — камера, в которой давление может увеличиваться или уменьшаться относительно атмосферного давления.

Гипероксия — содержание кислорода во вдыхаемом воздухе свыше 21%.

Гиперплазия — увеличение количества клеток в тканях.

Гипертермия — увеличение температуры тела выше нормального уровня.

Гипертрофия — увеличение размеров клетки.

Гипергликемия — повышение содержания сахара в крови.

Гипогликемия — низкое содержание сахара в крови.

Гипоксия — относительно низкое содержание кислорода в тканях организма.

Глицерол — основной компонент жиров.

Гликоген — сложный углевод, в состав которого входят разветвленные цепи глюкозных единиц.

Гликогенолиз — распад гликогена с образованием глюкозы.

Гликолиз — метаболический процесс анаэробного расщепления углеводов до пировиноградной и молочной кислот, связанный с образованием энергии в форме АТФ.

Глюкагон — гормон, вырабатываемый в поджелудочной железе, увеличивающий содержание глюкозы в крови.

Глюконеогенезис — образование глюкозы из неуглеводных продуктов, подобных пирувату, лактату, глицерину и аминокислотам.

Глюкоза — простейший сахар.

Дегидратация — состояние, возникающее в случае потери воды организмом.

Дыхание — внешнее и внутриклеточное. Внешнее — обмен кислорода и углекислого газа между легкими и окружающей средой. Внутриклеточное — потребление кислорода внутри клеток — в митохондриях.

Джоуль и килоджоуль — единица измерения работы и энергии в системе СИ. 1 джоуль равен работе, совершаемой при перемещении точки приложения силы, равной 1 ньютону, на расстояние 1 метра. 1 килоджоуль равен 1000 джоулей.

Доза — количество лекарства или упражнения, обеспечивающая определенный эффект или ответную реакцию.

Жиры — органические соединения, в основном сложные эфиры глицерина и жирных кислот (триглицериды); относятся к липидам.

Жирные кислоты — продукт расщепления жиров.

Закисление (ацидоз) — сдвиг в сторону повышения уровня pH (в кислую сторону).

Защелачивание (алкалоз) — сдвиг в сторону повышения уровня pH (в кислую сторону).

Изометрическое сокращение — сокращение мышцы, выражающееся в усилении ее напряжения при неизменной длине,

Изоцитратдегидрогеназа — фермент в составе цикла Кребса.

Интенсивность упражнения — напряженность выполняемого упражнения, сопровождающаяся увеличением ЧСС, кислородного потребления, концентрации лактата.

Калория (кал) — единица количества работы или энергии, эквивалентная количеству тепла, необходимого для повышения температуры 1 г воды на 1 градус С.

Карнитин — органическая азотосодержащая кислота, находящаяся в печени и скелетных мышцах. Участвует в процессе окисления жирных кислот, перенося их остатки через внутреннюю мембрану митохондрий.

Квебек 10-секундный тест — максимальное усилие в течение 10 с на велоэргометре для оценки кратковременной анаэробной мощности.

Кетоз — закисление крови, вызванное образованием кетоновых тел в результате нарушения метаболизма жиров, например при сахарном диабете или длительном голодании.

Кинетическая энергия — энергия механической системы, зависящая от скоростей движения ее точек. Часто выделяют кинетическую энергию поступательного и вращательного движения.

Клеточное дыхание — процессы в организме, в ходе которых обеспечивается использование кислорода клетками и тканями для окисления органических веществ с освобождением энергии.

Креатин — органическое вещество, синтезированное в скелетных мышцах и печени из аминокислот (глицин, аргинин и метионин). Функционирует как резерв для синтеза КрФ в работающих мышцах.

Креатинфосфат (КрФ) — макроэргическое фосфорное производное креатина, служащее резервом для восстановления АТФ во время мышечной работы.

Креатинкиназа — фермент, ускоряющий превращение АДФ в АТФ с участием КрФ.

Кребса цикл (или цикл трикарбоновых кислот) — центральная часть общего пути катаболизма; циклический биохимический аэробный процесс, в ходе которого происходит превращение двух- и трехуглеродных соединений.

Критическая мощность — уровень мощности, соответствующий максимальной скорости потребления кислорода.

Лактат — калиевые- или натриевые соли молочной кислоты, которые образуются в процессе анаэробного буферирования.

Лактатдегидрогеназа — фермент, принимающий участие в реакциях гликолиза.

Лактатный кислородный долг — количество кислорода, необходимое для устранения накопленной во время работы молочной кислоты. Устранение молочной кислоты заключается в окислении ее до воды и углекислого газа и в ресинтезе гликогена. Медленная фаза восстановления.

Лактатный порог — уровень интенсивности упражнения, при котором отмечается начало быстрого увеличения концентрации молочной кислоты в крови.

Липаза — фермент, синтезируемый поджелудочной железой и железами тонкой кишки; способствует расщеплению жира на глицерол и жирные кислоты в процессе пищеварения.

Липолиз — процесс расщепления липидов (особенно содержащихся в жире триглицеридов) на составляющие их жирные кислоты.

Незаменимые пищевые ингредиенты — ингредиенты, которые не могут быть образованы в организме или образуются медленнее, чем это необходимо, поэтому должны поступать в организм извне с пищей.

Максимальная аэробная способность — количество кислорода, потребляемое в процессе выполнения упражнения на критической мощности, часто употребляется как показатель «кардиореспираторной способности».

Максимальная анаэробная мощность (МAM) — максимальные метаболические и механические способности для проявления мышечной активности с использованием внутримышечных резервов АТФ и креатинфосфата.

Максимальное потребление кислорода — наивысший уровень кислородного потребления, измеряемый во время тяжелого динамического упражнения, обычно на велоэргометре или «тредбане».

Метаболический эквивалент (ME, METs) — показатель, косвенно отражающий активность метаболических процессов в организме путем расчета уровня метаболизма (потребления кислорода) при заданной нагрузке; при этом за исходную величину (1ME) принят уровень метаболизма в покое. С учетом веса пациента все современные системы проводят автоматический расчет выполненной работы по формуле: $1ME = 3,5 \text{ мл } O_2 / \text{мин} / \text{кг веса тела}$.

Митохондрия — органелла, присутствующая в различном количестве в клеточной цитоплазме и участвующая в процессе клеточного дыхания и преобразования энергии в клетках.

Мышечная биопсия — метод исследования, при котором проводится забор клеток или тканей из организма и последующее их микроскопическое исследование.

Мышечные волокна I типа — медленно сокращающиеся волокна, характеризуются высокой выносливостью и преобладанием аэробного метаболизма.

Мышечные волокна II типа делятся на 2 вида — А и В. Волокна IIA типа характеризуются быстрым сокращением, средним утомлением и комбинированным окислительным и гликолитическим метаболизмом. Волокна IIV типа характеризуются быстрым сокращением, быстрым утомлением и преобладанием гликолитического метаболизма.

Мышечная выносливость — способность мышцы или мышечных групп длительное время проявлять заданное усилие.

Мышечная гипертрофия — термин, обозначающий увеличение размера мышц за счет увеличения размеров и количества отдельных мышечных волокон.

Мышечная сила — способность человека преодолевать внешнее сопротивление или противостоять ему за счет мышечных усилий.

Миофибрилла — сократительное мышечное волокно, состоящее из двух белков — актина и миозина.

Миофиламенты — белковые нити, составляющие основную массу миофибрилл (толстые — миозиновые, тонкие — актиновые).

Миоглобулин — общее название глобулинов мышечной ткани.

Миозин — белок, один из главных компонентов сократительных волокон мышц — миофибрилл.

Миозин-АТФ-аза — фермент в миозине, который гидролизует АТФ из АДФ и неорганического фосфата. Является критерием скорости мышечного сокращения.

Молочная кислота — конечный продукт метаболизма глюкозы по гликолитическому пути, обусловленный недостаточным снабжением мышц кислородом.

Мощность — уровень интенсивности выполняемой работы, измеряемый как произведение силы на скорость.

Общая эффективность — измерение эффективности упражнения, полученное как отношение общей выполненной работы к затратам энергии.

Общие энергетические затраты — затраты энергии во время выполнения упражнения плюс затраты энергии в покое.

Общий кислородный запрос — общее количество кислорода, необходимое для выполнения упражнения.

Основной обмен — уровень метаболических изменений в состоянии покоя.

Острый тренировочный эффект — изменения в метаболических процессах и физиологических функциях, которые происходят во время или сразу после окончания упражнения.

Относительное потребление кислорода — количество потребленного кислорода на единицу веса.

Отрицательный энергетический баланс — условие, при котором возникает недостаток энергии и в результате уменьшается вес тела.

Отставленный тренировочный эффект — функциональные и метаболические изменения в позднем восстановительном периоде.

Пировиноградная кислота — органическая кислота, образующаяся при метаболизме углеводов в цикле трикарбоновых кислот с последующим распадом или превращением в лактат.

Половые стероиды — группа стероидных гормонов, андрогенов и эстрагенов, секретируемых половыми железами и корой надпочечников.

Принцип обратимости — принцип тренировки, который описывается временным характером тренировочного эффекта, т.е. адаптация к тренировке снижается, когда прекращается тренировка.

Протеины (белки) — высокомолекулярные органические вещества, состоящие из соединенных в цепочку пептидной связью альфа-аминокислот.

Протон — положительно заряженная элементарная частица.

Рабочий интервал — время выполнения упражнения в интервальной тренировке.

Респираторная компенсация — буферирование избытков CO_2 в крови за счет бикарбоната плазмы.

Респираторный коэффициент — отношение кислородного потребления к выделяемому CO_2 , связанное с использованием углеводов или жиров как источников энергии.

Сарколемма — клеточная оболочка мышечных волокон.

Саркоплазма — цитоплазма гладкомышечных клеток, поперечнополосатых и сердечных мышечных волокон.

Саркоплазматический ретикулум — густая сеть трубочек и пузырьков, прилегающих к миофибриллам.

Сила — способность человека преодолевать внешнее сопротивление, напрягая свои мышцы.

Соматотип — тип телосложения человека.

Специфичность — принцип тренировки, включающий в себя адаптацию тканей и органов к различным типам применяемых упражнений.

Спирометрия — метод исследования функции внешнего дыхания, включающий в себя измерение объемных и скоростных показателей дыхания.

Срочное восстановление — восстановление в первые 3–5 мин после работы.

Стероиды — группа биологически важных природных соединений, в основе структуры которых лежит скелет циклопентанпергидрофенантрена.

Суперкомпенсация — превышение исходного уровня в процессе восстановления после снижения, вызванного выполнением физической работы.

Тейперинг — концепция снижения тренировочных нагрузок за несколько дней до соревнования.

Тестостерон — мужской половой гормон, секретируемый в яичках и ответственный за формирование мужских половых признаков.

Тетанус — состояние длительного сокращения, непрерывного напряжения мышц, возникающее при поступлении к ним нервных импульсов с такой частотой (более 20 Гц), что расслабления между сокращениями не происходит.

Термодинамика — наука, изучающая превращения тепла в иные виды энергии.

Тест ступенчатого повышения нагрузки — тест постепенного повышения нагрузки через определенные интервалы времени.

Тест непрерывного увеличения нагрузки — тест, заключающийся в прогрессивном увеличении уровня выполняемой работы с течением времени.

Тироксин — основная форма тиреоидных гормонов щитовидной железы.

Тренировочный объем — общее количество элементов работы в тренировочной программе, таких как общее количество упражнений, общая длина дистанции и т.п.

Тренировка — выполнение упражнений для развития индивидуальных способностей человека, таких как сила, выносливость, скорость и т.п.

Тренировочная дистанция — длина отрезка выполняемой работы в программе интервальной тренировки

Тренировочная нагрузка — общее количество выполняемой тренировочной работы, вызывающее определенные адаптационные сдвиги в организме. Существует 3 вида тренировочных нагрузок: алактатные анаэробные, гликолитические анаэробные и аэробные нагрузки.

Тренировочный эффект — количественные изменения структур или функций организма, вызванные применением тренировочных нагрузок. Существуют три формы тренировочного эффекта: срочный — при одном упражнении и быстрой фазе восстановления; отставленный — во время медленной фазы восстановления; кумулятивный (накопительный) — во время макро- и мезоциклов тренировочного процесса.

Углеводы — группа органических соединений, состоящих только из углерода, водорода и кислорода.

Ударный объем крови — объем крови (в мл), выбрасываемый желудочком за одну систолу.

Упражнение — любой вид двигательной активности.

Ускорение — коэффициент изменения скорости, измеряемый в м/с^2 .

Устойчивое состояние — поддержание во времени состояния некоторых физиологических функций (например, потребление кислорода).

Утомление — временное снижение уровня работоспособности под действием фактора длительности воздействующей нагрузки.

Фартлек (игра скоростей) — метод интервальной тренировки, заключающийся в изменении скорости и интервалов отдыха.

Цикл Кори — один из путей использования углеводов, когда молочная кислота попадает из мышц в кровь и переносится в печень, где превращается в глюкозу, которая запасается в печени или переносится в кровь.

Цитоплазма — жидкость, содержащаяся внутри клетки (в мышечной клетке называется саркоплазмой).

Частота тренировок — количество тренировочных занятий в тренировочном цикле.

Электрон — отрицательно заряженная частица.

Энергетическая способность — максимальное количество энергии, освобождаемое в ходе выполнения физического упражнения до полного истощения энергетических веществ независимо от времени.

Энергетический метаболизм — сумма всех реакций, связанных с выделением и поглощением энергии в процессе жизнедеятельности.

Энергетические пищевые продукты — углеводы, жиры и белки, которые могут служить источниками энергии.

Энергетическая система — одна из трех метаболических систем (аэробной, алактатно-анаэробной и гликолитической), включающая в себя серию химических реакций с образованием АТФ.

Энзимы — белковые соединения, ускоряющие скорость химических реакций.

Эргогенные средства — любые факторы и средства, повышающие работоспособность. Эргометр — аппаратура или устройство («бегущая» дорожка, велоэргометр и т.п.), созданные для измерения физиологических эффектов упражнения.

Эритропоэтин — естественный гормон, образующийся в почках, регулирующий образование красных кровяных телец в клетках костного мозга.

Эритроцитемия — увеличение количества красных кровяных телец и концентрации гемоглобина в крови.

Эффект — изменение избранных функций в ответ на применяемую дозу упражнения.

Эффективность — отношение количества работы к общим затратам энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абалаков В.М. Новая аппаратура для исследования спортивной техники. — М.: ФиС, 1960. — 260 с.
2. Алтухов Н.Д., Волков Н.И., Конраг А.Н., Савельев И.А. Потребление кислорода и выделение «неметаболического» $E_{\text{хс}} \text{CO}_2$ у человека в начальный период напряженной мышечной деятельности // Физиология человека, 1983. — № 9. — С. 307–315.
3. Алтухов Н.Д., Волков Н.И., Хоронюк С.А. Влияние препарата антигипоксического действия на состояние биоэнергетических функций и работоспособность спортсменов // Физиология человека, 2004. — № 30. — С. 101–109.
4. Аулик И. В. Аутогемотрансфузия для повышения работоспособности спортсменов: дис. ... г.м.н. — Центральный институт гематологии и трансфузиологии, М., 1980. — 324 с.
5. Бобков Ю.Г. Виноградов В.М. Фармакологическая коррекция умственной и физической работоспособности. Фармакологическая регуляция утомления. — М.: Медицина, 1982. — С. 7–33.
6. Виноградов М.И. Очерки по энергетике мышечной деятельности человека — Л.: Изд. Лен. гос. ун-та, 1941. — 230 с.
7. Волков Н.И. О взаимоотношении дыхания и гликолиза при выполнении различной мышечной работы // Труды V Международного биохимического конгресса. Рефераты секционных сообщений, II Секции 14–23. М.: Изд. АН СССР, 1961. — С. 155–156.
8. Волков Н.И. Потребление кислорода и содержание молочной кислоты в крови при напряженной мышечной работе // Физиол. ж. СССР им. И.М. Сеченова, 1962, т.48, № 3. — С. 314–320.
9. Волков Н.И. Кинетика лактата в крови человека при напряженной мышечной работе // Acta biol. et med. german., 1964, В 2.13, № 5. — С. 659–675.
10. Волков Н.И. Математическое моделирование процессов энергетического обмена у человека при мышечной деятельности // Теор. и практ. физ. культ., 1966. — № 5. — С. 37–43.
11. Волков Н.И. Энергетический обмен и работоспособность человека в условиях напряженной мышечной деятельности: дис. к.б.н., Ин-т мед.-биол. проблем Минздрав СССР. — М., 1969. — 623 с.
12. Волков Н.И. Возраст и показатели анаэробной производительности // Выносливость у юных спортсменов / ред. Р.Е. Мотылянская. — М.: ФиС, 1969. — С. 52–67.
13. Волков Н.И. Основные вопросы теории и практики конькобежного спорта. — М.: ФиС, 1970. — С. 5–37.

14. Волков Н.И. Проблема утомления и восстановления в теории и практике спорта // Теор. и практ. физ. культ., 1974. — № 1. — С. 60—64.
15. Волков Н.И. Проблемы биохимического контроля в спорте // Обмен веществ и биохимическая оценка тренированности спортсмена: Матер. советско-американского симпозиума по биохимии спорта. — М.: ЛНИИФК, 1974. — С. 213—227.
16. Волков Н.И. Физиологичните фактори, определящи нивото на постиженията в спортивного плуване//Проблеми на современного плуване. Сост. Кл. Бойчев. — София: Медицина и физкультура, 1975. — С. 75—100.
17. Волков Н.И. Энергетические критерии спортивной работоспособности и тренировочного эффекта упражнений // Спорт в современном обществе. М.: ФиС, 1974. — С. 94—97.
18. Волков Н.И. Биохимический контроль в спорте // Теор. и практ. физ. культ., 1975, № 11. — С. 28—37.
19. Волков Н.И. Закономерности биохимической адаптации в процессе спортивной тренировки: учеб. пособие. — М.:РИО ГЦОЛИФК, 1986. — 63 с.
20. Волков Н.И. Биоэнергетика // Волков Н.И., Меньшиков В.В., ред. Биохимия: учебник для институтов физ. культуры. — М.: ФиС, 1986. — С. 132—184.
21. Волков Н.И. Биоэнергетические процессы при мышечной деятельности // Волков Н.И., Меньшиков В.В., ред. Биохимия: учебник для институтов физ. культуры. — М.: ФиС, 1986. — С. 280—300.
22. Волков Н.И. Биоэнергетика напряженной мышечной деятельности человека и способы повышения работоспособности спортсменов: дис. д.б.н., НИИ Норм. физиол. АМН СССР. — М., 1990. — 101 с.
23. Волков Н.И. Применение препаратов креатина и аминокислотных смесей в целях потенцирования тренировочного эффекта физических нагрузок // Питание и физическая работоспособность. — Л.: ЛНИИФК, 1991. — С. 120—134.
24. Волков Н.И. Применение антигипоксантов полифенольного ряда коррекции тканевой гипоксии при мышечной деятельности // Антигипоксанты и антипротекторы: итоги и перспективы. — С.-П.: ВМА им. С.М. Кирова, 1994. — С. 180—182.
25. Волков Н.И. Итоги и перспективы применения метода аутогенотрансфузии при подготовке высококвалифицированных спортсменов. — М.:РИО РГАФК, 1996. — 36 с.
26. Волков Н.И. Влияние препарата полилактата на изменение показателей кислотно-щелочного равновесия крови и работоспособность спортсменов // Тенденции развития

- спорта высших достижений и стратегия подготовки высококвалифицированных спортсменов 1997–2000 гг. – М.: Гос. Ком. РФ по физ. культ. и туризму, 1997. – С. 133–137.
27. Волков Н.И. Эргогенические эффекты препаратов креатина и аминокислотных смесей в процессе спортивной тренировки // Человек в мире спорта: Новые идеи, технологии, перспективы, т. 1 – М.: Изд. «Физ. культ., образование и наука», 1998. – С. 163–165.
 28. Волков Н.И. Физическая работоспособность человека // Современное естествознание: Энциклопедия, т. 2 – М.: Флита-Наука, 1999. – С. 261–267.
 29. Волков Н.И. Биоэнергетические процессы при мышечной деятельности // Физиология человека / под общей ред. В.И. Тихорецкого. – М.: Физкультура, образование и наука, 2001. – С. 259–294.
 30. Волков Н.И. Физиологические основы рационального питания и эргогенической диеты в спорте // Физиология человека / под общей ред. В.И. Тихорецкого. – М.: Физкультура, образование и наука, 2001. – С. 295–308.
 31. Волков Н.И. Основы рационального питания теннисистов // В. Голенко, А. Скорогумова, Ш. Тарпищев. Академия тенниса. – М.: Редальце, 2002. – С. 212–287.
 32. Волков Н.И. Разрешенные эргогенные средства и методы // Допинги и эргогенные средства в спорте / под общей ред. В.Н. Платонова. – Киев: Олимпийская литература, 2003. – С. 245–247.
 33. Волков Н.И. Физиологические критерии выносливости спортсменов // Физиология человека, 2004. Т. 30, – № 4. – С. 103–113.
 34. Волков Н.И. Проблемы биоэнергетики в спорте высших достижений // *Sportnogska sportska akadeija "Sport Mont"*, 2005, Br 5. – С. 13–26.
 35. Волков Н.И. Проблемы и перспективы биоэнергетики спорта // Теор. и практ. физ. культ., 2009. – № 1. – С. 77–80.
 36. Волков Н.И. Комплексная диагностика состояния специальной выносливости спортсменов по результатам испытаний в стандартизированных лабораторных и полевых тестах. – М.: РГУФКСиТ, 2009. – 93 с.
 37. Волков Н.И. Спортивная биоэнергетика: проблемы и перспективы // Спортсмен в международном исследовании: монография: под ред. проф. М.П. Шестакова. – М.: ТВТ Дивизион, 2009. – С. 132–210.
 38. Волков Н.И., Алексеев Г.А. Динамика тренировочных нагрузок и показателей специальной работоспособности юных бегунов на средние дистанции // Теор. и практ. физ. культ., 1980. – № 6. – С. 27–29.
 39. Волков Н.И., Андреев А.Ю., Мохова Е.Н., Скулачев В.П. Подавление карбоксиатрактамом и агенозиндифосфатом разобщающего

- действия пальмитата на митохондрии скелетных мышц. Биологические мембраны, 1987, т. 4, № 5. — С. 474–478.
40. Волков Н.И., Аракелян Е.Е., Ким Е.К., Сенг-Гусейнов А.А., Соколов О.Ю. Метод программного углеводного насыщения с использованием автоматической системы "Биостатор" // Научн.-спорт. вестник, 1984, № 5. — С. 29–32.
 41. Волков Н.И. Аулик И.В., Макарова Г.А. Опыт использования аутогемотрансфузии у спортсменов высшей квалификации // Материалы 1-й научн.-практ. конф. по аутогемотрансфузии у спортсменов, 13.02.1977 г. — М.: МЗ СССР, 1977. — С. 23–30.
 42. Волков Н.И. Букатин А.Ю., Сарсания С.К., Мелихова М.А. Биоэнергетические основы тренировки хоккеистов высокой квалификации: учебн. пособие. — М.: РИО ГЦОЛИФК, 1986. 64 с.
 43. Волков Н.И. Булгакова Н.Ж., Соломатин В.Р., Штернберг Ю.Н. Особенности воздействия непрерывного и интервального методов тренировки на организм юных пловцов // Теор. и практ. физ. культ., 1981, № 4. — С. 31–33.
 44. Волков Н.И., Булгакова Н.Ж., Смирнов В.В. Биоэнергетический профиль юных пловцов высокой квалификации // Теор. и практ. физ. культ., 1989. — № 2. — С. 38–42.
 45. Волков Н.И., Булгакова Н.Ж., Карецкая Н.Н., Коваленко Е.А. Импульсная гипоксия и интервальная гипоксическая тренировка // Nyoxta Med. J., 1994. — № 2. — С. 64–66.
 46. Волков Н.И., Булгакова Н.Ж., Смирнов В.В. Динамика тренировочных нагрузок и показателей специальной работоспособности у юных пловцов в процессе круглогодичной тренировки // Наука в олимпийском спорте // 2001. — № 1. — С. 72–80.
 47. Волков Н.И., Варгашкин П.Р. Повышение работоспособности спортсменов при использовании препарата милгронат // Факторы, лимитирующие повышение работоспособности у спортсменов высокой квалификации // Сб. научн. трудов. — М.: РИО ГЦОЛИФК, 1987. — С. 36–47.
 48. Волков Н.И., Войтенко Ю.Л. Биоэнергетические критерии специальной работоспособности и нормирования тренировочных нагрузок юных пловцов // Плавание: ежегодник, 1984. — С. 16–18.
 49. Волков Н.И., Гордон С.М., Широковец Е.А. Исследования по физиологии плавания. 1. Аэробная работоспособность спортсменов при плавании кролем и брасом // Теор. и практ. физ. культ., 1968. — № 4. — С. 23–33.
 50. Волков Н.И., Гордон С.М., Широковец Е.А., Иванов В.С. Максимум аэробной и анаэробной работоспособности у пловцов // Теор. и практ. физ. культ., 1968. — № 10. — С. 31–35.

51. Волков Н.И., Гордон С.М., Широковец Е.А. Кислородный запрос и энергетическая стоимость плавания кролем и брассом на разные дистанции // Теор. и практ. физ. культ., 1969. — № 7. — С. 27–32.
52. Волков Н.И., Данилов В.А. Максимальная анаэробная мощность баскетболистов // Теор. и практ. физ. культ., 1973. — № 3. — С. 41–46.
53. Волков Н.И., Данилов В.А., Смирнов Ю.И. Факторная структура специальной работоспособности баскетболистов // Теор. и практ. физ. культ., 1973. — № 11. — С. 25–32.
54. Волков Н.И., Данилов В.А., Корягин В.М. Физическая подготовка баскетболистов: тесты и критерии. — М.: РИО ГЦОЛИФК, 1977. — 89 с.
55. Волков Н.И., Енохин С.Ф., Филев А.В., Сарсания С.К. Особенности графуломонопоэза при предельных физических нагрузках у спортсменов // Физиология человека, 1987, т. 13, № 3. — С. 450–455.
56. Волков Н.И., Зацюрский В.М., Разумовский В.А., Черемышнов В.Н. Применение математической теории планирования экстремальных экспериментов в поиске эффективных методов тренировки // Теор. и практ. физ. культ. // 1968. — № 11. — С. 26–31.
57. Волков Н.И., Игуменова Л.А. Повышение работоспособности и уровня спортивных достижений у бегунов на средние и длинные дистанции под влиянием приема препарата «Гипоксен» // Теор. и практ. физ. культ., 2003. — № 7. — С. 41–44.
58. Волков Н.И., Ионов С.В. Рекорды выносливости: прошлое, настоящее, будущее // Теор. и практ. физ. культ., 1994. — № 10. — С. 21–24.
59. Волков Н.И., Карасев А.В., Хосни М. Теория и практика интервальной тренировки в спорте: монография. — М.: Военная академия им. Ф.Э. Дзержинского, 1995. — 186 с.
60. Волков Н.И., Карасев А.В. Динамика работоспособности и спортивных достижений в годичном цикле подготовки бегунов на 400 м с барьерами // Факторы лимитирующие повышение работоспособности у спортсменов высокой квалификации / сб. научн. тр. — М.: РИО ГЦОЛИФК, 1985. — С. 210–219.
61. Волков Н.И., Карасев А.В., Сметанин В.Я., Смирнов В.В. Интервальная гипоксическая тренировка. — М.: Военная академия им. Петра Великого, 2000. — 146 с.
62. Волков Н.И., Карпова Ж.И., Мишакина Н.Г., Мохова Е.Н., Савельев И.А., Ямутова Л.М. Взаимосвязь эргометрических и гематологических показателей при выполнении на велоэргометре упражнений с критической мощностью // Физиология человека, 1986, т. 12, № 6. — С. 981–986.
63. Волков Н.И., Коробов А.Н. Бег на средние дистанции: факторы результативности // Легкая атлетика, 1983, № 11. — С. 6–8.

64. Волков Н.И., Коробов А.Н., Силуянов В.Н. Научно-методические основы подготовки бегунов на средние дистанции высшей квалификации. — М.: РИО ГЦОЛИФК, 1983. — 27 с.
65. Волков Н.И., Лапин В.И. Анализ кривой скорости в спринтерском беге // Теор. и практ. физ. культ., 1971. — № 10. — С. 5—12.
66. Волков Н.И., Лапин В.И., Смирнов Ю.И. Метаболические факторы, определяющие уровень достижений в спринтерском беге // Теор. и практ. физ. культ., 1972. — № 2. — С. 22—26.
67. Волков Н.И., Лисаев В.П. Максимум аэробной работоспособности и критическая скорость лыжников-гонщиков // Теор. и практ. физ. культ., 1975. — № 2. — С. 26—30.
68. Волков Н.И., Мелихова М.А., Ширковец Е.А. Особенности метаболических состояний у человека при мышечной деятельности // Биохимические пути повышения эффективности спортивной тренировки. — Киев: КГИФК, 1975. — С. 15—26.
69. Волков Н.И., Мелихова М.А., Ширковец Е.А. Биоэнергетические характеристики метаболических состояний у человека при мышечной деятельности // Биоэнергетические критерии спортивной работоспособности. — М.: ГЦОЛИФК, 1978. — С. 87—100.
70. Волков Н.И., Меньшиков В.В. (ред.), Биохимия: учебник для ин-тов физ. культ. — М.: ФиС, 1986. — 384 с.
71. Волков Н.И., Мищенко В.И. Влияние аутогемотрансфузии на работоспособность и уровень спортивных достижений в плавании и беге // Факторы, лимитирующие повышение работоспособности у спортсменов высокой квалификации: сб. науч. тр. — М.: РИО ГЦОЛИФК, 1987. — С. 132—159.
72. Волков Н.И., Нессен Э.Н., Осипенко А.А., Корсун С.Н. Биохимия мышечной деятельности: учебник для институтов физ. культ. — Киев: Олимпийская литература, 2000. — 503 с.
73. Волков Н.И., Олейников В.И., Шестаков В.А. Особенности построения и направленность воздействия тренировки спринтеров высокой квалификации // Факторы, лимитирующие повышение работоспособности у спортсменов высокой квалификации: сб. науч. тр. — М.: РИО ГЦОЛИФК, 1987. — С. 67—79.
74. Волков Н.И., Олейников В.И. Применение препаратов креатина в целях повышения эффективности подготовки бегунов на короткие дистанции // Факторы, лимитирующие повышение работоспособности у спортсменов высокой квалификации: сб. науч. тр. — М.: РИО ГЦОЛИФК, 1985. — С. 204—210.
75. Волков Н.И., Олейников В.И. Биологически активные пищевые добавки в специализированном питании спортсменов. — М.: СпортАкадемПресс, 2003. — 79 с.

76. Волков Н.И., Орджоникидзе З.Г., Павлов В.И. Состояние функциональной подготовленности спортсменов из состава ведущих футбольных команд России // Физиология человека, 2007, т.33, № 4. — С. 485–489.
77. Волков Н.И., Ремизов А.П. Вопросы оптимизации тренировочного процесса // Управление процессом спортивной тренировки. — Л.: ЛНИИФК, 1974. — С. 252–256.
78. Волков Н.И., Ремизов А.П. Использование физиологических критериев для оптимизации тренировочного процесса // Теор. и практ. физ. культ., 1975. — № 5. — С. 12–14.
79. Волков Н.И., Савельев И.А. Кислородный запрос и энергетическая стоимость напряженной мышечной деятельности человека // Физиология человека, 2002, т. 28. — № 4. — С. 80–93.
80. Волков Н.И., Сарсания С.К., Савельев Ю.М., Андрикс Э.Р., Алтухов Н.Р. Применение препаратов креатина и аминокислотных смесей для повышения работоспособности и эффективности тренировки в спорте: метод. рекомендации. — М.: РИО ГЦОЛИФК, 1986. — 35 с.
81. Волков Н.И., Стенин Б.А. Тренировка сильнейших конькобежцев мира. — М.: ФиС, 1970. — 194 с.
82. Волков Н.И., Страж В.А. Метаболические эффекты кратковременной повторной мышечной работы // Медицина и спорт: Материалы советско-американского симпозиума. — Л.: ЛНИИФК, 1979. — С. 21–29.
83. Волков Н.И., Страж В.А., Кузнецов С.П., Курбаков О.Г. Метаболические эффекты выполнения с различными интервалами кратковременных упражнений максимальной мощности // Физиология человека, 1987, т. 13, № 6. — С. 979–986.
84. Волков Н.И., Царев О.Б., Ширковец Е.А. Осцилляторные изменения потребления кислорода у человека при напряженной мышечной деятельности // Биоэнергетические критерии спортивной работоспособности. — М.: ГЦОЛИФК, 1978. — С. 48–54.
85. Волков Н.И., Черемисинов В.Н., Разумовский Е.А. Кислородный обмен у человека при мышечной деятельности // Кислородный режим организма и его регулирование: матер. симпозиума. — Киев: Наукова думка, 1966. — С. 261–278.
86. Волков Н.И., Черемисинов В.Н. Кислородный долг в упражнениях различной мощности и продолжительности // Теор. и практ. физ. культ., 1970. — № 10. — С. 17–23.
87. Волков Н.И., Ширковец Е.А. Об энергетических критериях работоспособности спортсменов // Биоэнергетика. — Л.: ГДОИФК, 1973. — С. 18–30.

88. Волков Н.И., Шиян В.В. Анаэробные возможности и их связь с показателями соревновательной деятельности гзюдоистов // Теор. и практ. физ. культ., 1983. — № 3. — С. 23—25.
89. Волков Н.И., Яружный Н.В. Кинетика процессов анаэробного энергообразования в кратковременных упражнениях максимальной мощности // Факторы, лимитирующие повышение работоспособности у спортсменов высокой квалификации. — М.: РИО ГЦОЛИФК, 1984. — С. 52—64.
90. Годик М.А. Контроль тренировочных и соревновательных нагрузок в спорте. — М.: ФиС, 1980. — 193 с.
91. Дынник В.В. Механизмы регуляции энергетики мышц при окислении глюкозы и жирных кислот // Биохимия, 1982, т. 4. — С. 1278—1287.
92. Дынник В.В. Внутриклеточные механизмы контроля скорости синтеза и гидролиза АТФ в мышце // Д.П.Пинаев, В.Б. Ушаков (ред.). Механизмы контроля при мышечной активности. — Л.: Наука, 1985. — С. 21—50.
93. Желязков Цв. Теория и методика на спортната тренировка. — София: Медицина и физкультура, 1981. — 265 с.
94. Иванов К.П. Основы энергетики организма, в.4. Энергетические ресурсы организма и физиология выживания. — Спб.: Наука, 2005. — 317 с.
95. Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков Ж.А. Тесты в спортивной медицине. — М.: ФиС, 1988. — 208 с.
96. Кулиненков О.С. Фармакология спорта, 3-е изд. — М.: Советский спорт, 2001. — 200 с.
97. Лукьянова Л.Д., Балмуханов Б.С., Уголев А.Т. Кислородзависимые процессы в клетке и ее функции. — М., 1982. — 301 с.
98. Макарова Г.А. Исследование влияния аутогемотрансфузии на некоторые функциональные состояния человека: дис. ... к. м. н. — М.: НИИ переливания крови МЗ СССР, 1975. — 214 с.
99. Макарова Г.А. Фармакологическое обеспечение в системе подготовки спортсменов. — М.: Советский спорт, 2004. — 160 с.
100. Мищенко В.И., Волков Н.И. Влияние аутогемотрансфузии на работоспособность и спортивные достижения в плавании и беге // Факторы, лимитирующие повышение работоспособности у спортсменов высокой квалификации. — РИО ГЦОЛИФК, 1987. — С. 132—159.
101. Новосельцев В.Н. Теория регуляции и биосистемы. — М.: Наука, 1978. — 320 с.
102. Пантелеева Н.С. Современные исследования о механизме гидролиза АТФ миозином // Molek Biology, 1979, т. 136. — С. 485—486.

103. Платонов В.Н. Тренировка квалифицированных спортсменов. — М.: ФиС, 1986. — 204 с.
104. Сейфулла Р.Д. Фармакология спорта. — М.: Советский спорт, 1999. — 128 с.
105. Шумаков В.И., Новосельцев В.Н., Сахаров М.П., Штенгольц Е.Ш. Моделирование физиологических систем организма. — М.: Медицина, 1971. — 179 с.
106. Зильбер М.Л., Литвинова В.Н., Морозов В.И., Плискин А.В., Пшендин А.И., Rogozkin В.А. Влияние креатина на РНК и синтез белков в растущей культуре эмбриональных миобластов цыпленка // Труды Всесоюзного симпозиума. Биохимические пути повышения эффективности спортивной тренировки. — Л.: ЛНИИФК, 1974. — С. 110—116.
107. Скулачев В.П. Аккумуляция энергии в клетке. — М.: Наука, 1969. — 440 с.
108. Смирнов М.Р. Биоэнергетика спорта. — Новосибирск: Новосибирское книгоиздательство, 2004. — 304 с.
109. Смутьский В.А. Большие физические нагрузки и состояние антиоксидантной системы у спортсменов // Современный олимпийский спорт. — Киев, КГИФК, 1993. — С. 272—274.
110. Фарфель В.С. Исследование по физиологии предельной мышечной работы и выносливости. — Л.: ВМА им. С.М. Кирова, 1945. — 593 с.
111. Фарфель В.С. Физиологические основы классификации физических упражнений // Физиология мышечной деятельности, труда и спорта: В серии: Руководство по физиологии. — Л.: Наука, 1969. — С. 425—439.
112. Энгельгардт В.А. Научный анализ спортивных упражнений // Теор. и практ. физ. культ., 1927. — № 1. — С. 58—62.
113. Яковлев Н.Н. Очерки по биохимии спорта. — М.: ФиС, 1955. — 264 с.
114. Яковлев Н.Н. Биохимия спорта. — М.: ФиС, 1974. — 288 с.
115. Alpert N.R. Lactate production and removal and regulation of metabolism. (In Russian) // Ann. N.Y. Acad. Sci., 1965, 119: 995—1012.
116. Ahlborg Y., Hagenfliedt L., Wahren J. Substrate utilization by the inactive leg during one leg or — arm exercise. J. Appl. Physiol., 1975, 39: 718—723.
117. Andersen K.L. Respiratory recovery from short muscular exercise // Acta physiol. Scand., 1960, 48 (Suppl. 168): 102 p.
118. Andersen K.L., Shephard R.J., Denolin H. Fundamentals of exercise testing // WHO. Geneva, 1971, 133 p.
119. Asmussen E. Observations on experimental muscular soreness // Acta Rheum. Scand., 1956, 2, P. 109—116.

120. Asmussen E. *Biological basis of sport* // *Ergonomics*, 1965, 8: 137–149.
121. Åstrand P.-O. *New records in human power* // *Nature*, 1955, 176: 922–923.
122. Åstrand P.-O. *Human physical fitness with special reference to sex and age.* // *Physiol. Rev.*, 1956, 36: 307–335.
123. Åstrand P.-O. *Diet and athletic performance* // *Fed. Proc.*, 1967, 26: 1772–1785.
124. Åstrand P.-O. *Physiological fundamentals of competitive sport* // *Sport in the modern world chances and problems. Papers, results, materials. Scientific congress, Munich, Aug. 21 to 25.07.1972*, O. Grupe, D. Kurz, J.M. Teipel(eds). – Springer Verl., Berlin, 1973. 445 p.
125. Åstrand P.-O. *Nutrition and physical performance* // M. Recheigl (ed.) *Nutrition and the world food problem.* – Basel: S. Karger, 1979.
126. Åstrand P.-O., Rodahl K. *Textbook of work physiology.* – N.Y.: McGraw – Hill Book Comp., 1970, 669 p.
127. Åstrand P.-O., Saltin B. *Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise* // *J. Appl. Physiol.*, 1961, 16: 971–979.
128. Atkinson D.E. *Cellular energy metabolism and its regulation.* – N.Y.: Acad. Press, 1977.
129. Auchincloss J.H., Gilbert J.R., Baule J.H. *Unsteady state measurement of oxygen transfer during treadmill exercise* // *J. Appl. Physiol.*, 1968, 25: 283–293.
130. Azzone G.F., Enster L., Klingenberg M. *Energetic aspects of the mitochondrial oxidation of succinate* // *Nature*, 1960, 189: 552–554.
131. Bainbridge F.A. *The physiology of muscular exercise*, 3th ed. – London: Longmans Green, 1931.
132. Baldwin R.L., Smith N.E. *Application of a simulation modeling technique in analyses o dynamic aspects of animal energetic* // *Fed. Proc.*, 1971, 30: 1459–1465.
133. Badsom P.D., Söderlund B., Sjödink, Hultman E. *Creatine supplementation and dynamic high-intensity intermittent exercise* // *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 1993, 3: 143–149.
134. Bang O. *Contribution to physiology of severe muscular work* // *Scand. Arch. Physiol.*, 1936, 75: Suppl. 1.
135. Banister E.W. *Modeling elite athletic performance* // J.D. Mac Dougall, H.A. Wenger, H.G. green (eds.). *Physiological testing of elite athlete*, 2nd ed. – Champaign, IL.: Human Kinetics, 1991, 403–424.
136. Barany M. *ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening* // *J. gen. Physiol.*, 1967, 50: 197–218.
137. Barker S.B., Summerson W.H. *The colorimetric determination of lactic acid in biological material* // *J. Biol. Chem.*, 1991, 138: 535–539.

138. Barnard S.G., Foss M.L., Tipton Ch.M. Oxygen debt: involment of the Cori cycle // *Intern. Z. angew. Physiol.*, 1970, 28: 105–119.
139. Bar Or O. La test anaerobe de Wingate // *Symbiosis*, 1981, 13: 157–172.
140. Beeckmans G.M., Shephard R.G. Theoretical basis for partitioning of maximal cardio-respiratory performance // *Can. J. Physiol. Pharm.*, 1967, 45: 185–190.
141. Berg W.E. Individual differences in respiratory gas exchange during recovery from moderate exercise // *Am. J. Physiol.*, 1997, 149: 597–610.
142. Bergmeyer H.U. (ed.). *Methods of enzymatic analysis*. – N.Y.: Acad. Press, 1974, 967.
143. Bessman S.P., Savabi F. The role of phosphocreatine energy shuttle in exercise and muscle hypertrophy // A.W. Taylor, P.P. Gollnick, H.G. Green, C.D. Ganuzzo, E.S. Noble, G. Metivier, G.R. Sutton (eds.). *International series on Sport Sciences*. – Champaign, IL. Human Kinetics, 1990, V. 21. P. 167–178.
144. Bogdanis G.C., Nevill M.E., Lokomy H.K., Boobis L.H. Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 sec. of maximal sprint exercise in humans // *Acta Physiol. Scand.*, 1998, 163: 261–272.
145. Bonjer F.H. Actual energy expenditure in relation to physical working capacity // *Ergonomics*, 1962, 5: 29–31.
146. Brodan V., Marek I., Kuhn E. Mathematical evaluation of oxygen consumption during physical exercise and recovery // *Physiol. Bohemoslovensk*, 1965, 14: 201–205.
147. Boobis L.H., Williams C., Wotton S.A. Human muscle metabolism during brief maximal exercise // *J. Physiol.*, 1982, 338: 21–22.
148. Brooks G.A. End points of lactate and glyucose metabolism after exhausting exercise // *J. Appl. Physiol.*, 1980, 49: 1057–1069.
149. Brooks G.A. Lactate glycolytic product and oxidative substrate during sustained exercise in mammals – "lactate shuttle" // R. Gilles (ed.) *Comparative Physiology and Biochemistry: Current topics and trends*, Vol. A. Respiration – Metabolism – Circulation. Berlin: Springer, 1985. P. 208–218.
150. Brooks G.A. Lactate production under fully aerobic conditions: the lactate shuttle at rest and exercise // *Fed. Proc.*, 1986, 45: 2924–2929.
151. Brooks G.A. Current concepts in lactate exchange // *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1991, 23: 895–906.
152. Brooks G.A. Mammalian fuel utilization during sustained exercise // *Comp. Biochem. Physiol.*, 1998, 120: 89–107.
153. Brooks G.A., Fahey T.D. *Exercise physiology: human bioenergetics and its applications*. – N.Y.: Macmillan Publ. Co., 1985, 726 p.

154. Brooks G.A., Hittelman K.G., Faulkner G.A., Beyer R.E. Temperature skeletal muscle mitochondrial function and oxygen debt // *Am. J. Physiol.*, 1971, 220: 1053–1059.
155. Brooks G.A., Hittelman K.G., Faulkner G.A., Beyer R.E. Tissue temperatures and whole-animal oxygen consumption after exercise // *Am. J. Physiol.*, 1971, 221: 427–431.
156. Brouha L. *Physiologie de l'entraînement au travail musculaire* // *Travail humain*, 1940, 8: 79–84.
157. Brouha L. *Training* // W.R. Johnson (ed.). *Science and Medicine of exercise and Sports*. — N.Y.: Herper and br. publ., 1960. P. 404–415.
158. Bucci L. *Nutrients as ergogenic aids for sports and exercise*. — Florida: CRC Press Inc., 1993, 161 p.
159. Buick F.J., Gledhill N., Froese A.B., Spriet L., Meyers E.C. The effect of induced erythrocythemia on aerobic work capacity // *J. Appl. Physiol.*, 1980, 48: 636–642.
160. Carlsten A., Hallgren B., Gagenburg R., Svanborg A., Werko L. Myocardial metabolism of glucose, lactic acid, amino acids and fatty acids in healthy human individuals at rest and at different work loads // *Scand. j. clin.-lab. invest.*, 1961, 13: 418–424.
161. Chance B. Cellular oxygen requirements // *Fed. Proc.*, 1957, V. 16: 671–680.
162. Chance B. Quantitative aspects of the control of oxygen utilization // *CIBA foundation Symposium on the regulation of cell metabolism*. — London: Churchill Ltd., 1959. P. 91–121.
163. Chance B. The response of mitochondria to muscular contraction // *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1959, 81: 477–489.
164. Chance B. The interaction of energy and electron transfer reactions in mitochondria // *J. Biol. Chem.*, 1961, 236: 1969–1978.
165. Chance B. *Energy-linked functions of mitochondria*. — N.Y.: Acad. Press, 1963.
166. Chance B. Reaction of oxygen with the respiratory chain in cells and tissues // *J. gen. Physiol.*, 1965, 49: 163–188.
167. Chance B., Hess B. Spectroscopic evidence of metabolic control // *Science*, 1958, 129: 700–723.
168. Chance B., Leigt G.S., Clark B.J., Marvis J., Kent J., Nioka S., Smith D. Control of oxidative metabolism and oxygen delivery in human skeletal muscle: a steady-state analysis of work energy cost transfer function // *Proc. Nat. Acad. Sci.: USA*, 1985, 82: 8384–8388.
169. Chance B., Mauriello J., Aubert X.M. ADP arrival at muscle mitochondria following a twitch // K. Lodahl, S.M. Horvath (eds.). *Muscle as a tissue*. — N.Y.: McGraw-Hill Book Co., 1962. P. 128–145.

170. Chance B. *Metabolic control principles and ^3IP NMR* // *Fed. Proc.*, 1986, 45: 2915–2920.
171. Cerretelli R., di Prampero P.E. *Gas exchange in exercise* // *Handbook of Physiology*, V. IV, Sect. 3. *The respiratory system*, Ch. 166. *Gas exchange*. — Bethesda, M.D.: *Am. Physiol. Sci.*, 1987. P. 297–340.
172. Cerretelli R., Rennie D.W., Pendergast D.P. *Kinetics of metabolic transients during exercise* // *Intern. J. Sports Med.*, 1980, 1: 171–180.
173. Cerretelli R., Rennie D.W., Pendergast D.P. *Kinetics of metabolic transients during exercise* // R. Cerretelli, B.J. Whipp (eds) *Exercise bioenergetics and gas exchange*. — Amsterdam: Elsevier, 1980. P. 187–209.
174. Cerretelli R., Shindell D., Pendergast D., Rennie D.W. *Oxygen uptake transients at the onset and offset of arm and leg work* // *Respir. Physiol.*, 1977, 30: 81–97.
175. Christensen D.L. *Diet and endurance performance of Kenyan runners: physiological perspective* // J. Pitsiladis, J. Bale, C. Sharp, T. Naakes (eds), *East African Running*. — London: Routledge, 2007. P. 102–117.
176. Christensen E.H., Krogh A., Lindhard J. *Contributions to physiology of heavy muscular work* // *Scand. Arch. Physiol.*, 1936, Suppl. 10.
177. Chung J. *Control of respiration and bioenergetics during muscle contraction* // *Am. J. Physiol. (Cell Physiol.)*, 2005, 288: 730–738.
178. Conley M. *Bioenergetics of exercise and training* // T.R. Baechle, R. Earle (eds.). *Essentials of strength training and conditioning*, 2nd ed. — Champaign, IL, 2000. P. 73–90.
179. Costill D.L. *Metabolic responses during distance running* // *J. appl. Physiol.*, 1970, 28: 251–258.
180. Costill D.L. *Energy supply in endurance activities* // *Intern. J. Sports Med.*, 1984, 5 (Suppl.): 19–21.
181. Costill D.L. *Inside running: basics of sports physiology*. — Indianapolis: Benchmark Press Inc., 1986. 186 p.
182. Craig F.N. *Oxygen uptake at the beginning of work* // *J. appl. Physiol.*, 1972, 33: 611–615.
183. Cunningham D.A., Faulkner J.A. *The effect of training aerobic and anaerobic metabolism during a short exhaustive run* // *Med. sci. sports*, 1969, 1: 65–72.
184. Dal Monte A. *Exercise testing and ergometers* // A. Dirix, H.J. Knuttgen, K. Tittel (eds.). *The Olympic Book of sports medicine*, Vol. 1. — Oxford: Blackwell Sci. Publ., 1988. P. 121–150.
185. Dal Monte A., Dragen J. *Physiological, medical, biomechanical and biochemical measurements* // A. Dirix, H.J. Knuttgen, K. Tittel (eds.). *The Olympic Book of sports medicine*, Vol. 1. — Oxford: Blackwell Sci. Publ., 1988. P. 97–108.

186. Danforth W.H. Activation of glycolytic pathway in muscle // B. Chance, R.W. Estabrook (eds). — N.Y.: Acad. Press, 1965. P. 287–292.
187. Davies K.J. Muscle mitochondrial bioenergetics, oxygen supply and work capacity during dietary iron deficiency and repletion // *Am. J. Physiol.*, 1982, 242: E 418–E 427.
188. Davies R.E. Energy-rich phosphagens // B. Perkow, B. Saltin(eds.), *Muscle metabolism during exercise*. — N.Y.: Plenum Press, 1971. P. 327–339.
189. Davies R.E. The dynamics of energy-rich phosphates // J. Keul (ed.), *Limiting factors of physical performance*. — Stuttgart: J. Thieme Publ., 1973. P. 56–62.
190. Diamant B., Karlsoon J., Saltin B. Muscle tissue lactate after maximal exercise in man // *Acta physiol. Scand.*, 1968, 72: 303–384.
191. Dill D.B. Economy of muscular exercise // *Physiol. Rev.*, 1936, 16: 263–278.
192. Dill D.B. Longitudinal study of 16 champion runners // *J. Sports Med.*, 1962, 2: 4–27.
193. Dill D.B., Edwards H.J., Newman E.V., Margaria R. Analysis of recovery from anaerobic work // *Arbeitsphysiologie*, 1936, 9: 299–306.
194. Dill D.B., Sacktor B. Exercise and the oxygen debt // *J. Sports Med. Phys. Fit.*, 1962, 2: 66–72.
195. di Prampero P.E. The alactic oxygen debt: its power, capacity and efficiency // V. Pernow, B. Saltin (eds), *Muscle metabolism during exercise*. — N.Y.: Plenum Press, 1971. P. 371–372.
196. di Prampero P.E. Anaerobic capacity and power // R.J. Shephard (ed), *Frontiers of fitness*. — Springfield, IL., C. Thomas Publ., 1971. P. 155–173.
197. di Prampero P.E. Energy balance during anaerobic work // J.R. Cumming, D. Snidal, A.W. Taylor (eds.), *Environmental effects on work performance*. — Publ. by the Canad. Ass. of Sports Sci., 1972. P. 229–233.
198. di Prampero P.E. Energy stress and supply in exercise // E. Jokl, P.L. Anand, H. Stobo (eds.). *Advances in exercise physiology*. — Basel: Karger, 1976. P. 132–146.
199. di Prampero P.E. Energetics of muscular exercise // *Rev. Physiol. biochem. Pharmacol.*, 1981, 89: 143–222.
200. di Prampero P.E., Margaria R. Mechanical efficiency of phosphagen (ATP+CP) Splitting and its speed of resynthesis // *Pflüger's Arch. ges. Physiol.*, 1969, 308: 197–202.
201. di Prampero P.E., Meyer M., Cerretelli P., Piiper J. Anaerobic energy sources in exercise // P. Cerretelli, B.J. Whipp (eds), *Exercise bioenergetics and gas exchange*. — Amsterdam: Elsevier, 1980. P. 45–54.

202. di Prampero P.E., Margaria R. Relationship between O_2 -consumption, high-energy phosphates and the kinetics of the O_2 debt in exercise // *Pflüger's Arch. ges. Physiol.*, 1968, 304: 11–19.
203. di Prampero P.E., Peeters L., Margaria R. Alactic O_2 -debt and lactic acid production after exhausting exercise in man // *J. appl. Physiol.*, 1973, 34: 628–632.
204. Dragan G. General physical capacity // A. Dirix, H. Y. Knuttgen, K. Tittel (eds), *The Olympic book of sports medicine*, Vol. 1. — Oxford: Blackwell Sci. Publ., 1988. P. 89–96.
205. Eggleton V.V., Evans C.L. The lactic acid content of the blood after muscular contraction under experimental conditions // *J. Physiol.*, 1930, 70: 269–293.
206. Ekblom B. External and internal factors influencing physical performance // P. Marconnet, P.V. Komi (eds). *Muscular function in exercise and training*. — Basel, S. Kaiser, 1987. P. 90–97.
207. Ekblom B. Energy expenditure during work // P. Bjorntorp, B.N. Brodoff (eds.). — Philadelphia: Lippincott, 1992. P. 136–144.
208. Ekblom B., Wilson G., Åstrand P.O. Central circulation during exercise after venesection and reinfusion of red blood cells // *J. appl. Physiol.*, 1976, 40: 379–383.
209. Essen B. Studies on the regulation of metabolism in human skeletal muscle using intermittent exercise as an experimental model // *Acta physiol. Scand.*, 1978, Suppl. 454.
210. Fallowfield J.L. Nutrition for performance // J.L. Fallowfield, D.M. Wilkinson (eds.), *Improving sports performance in middle and long distance running: A scientific approach to race preparation*. — Chichester: J. Wiley and Sons, Ltd., 1999. P. 140–167.
211. Fallowfield J.L., Wilkinson D.M. (eds.) *Improving sports performance in middle and long-distance running: a scientific approach to race preparation*. — Chichester: J. Wiley and Sons, Ltd., 1999. 247 p.
212. Faulkner J.A., Jones D.A., Round J.M., Edwards H.T. Dynamics of energetic processes in human muscle // P. Cerretelli, B.J. Whipp (eds.), *Exercise Bioenergetics and Gas Exchange*. — Amsterdam: Elsevier, 1980. P. 81–50.
213. Fawaz E.N., Fawaz Y., von Dahl K. Enzymatic estimation of phosphocreatine // *Proc. Soc. exp. Biol.*, 102: 38–44.
214. Fox E.L. Measurement of the maximal alactic (phosphagen) capacity in man // *Med. Sci. Sports*, 1973, 5: 66–71.
215. Fox E.L. *Sports physiology*. — Philadelphia: W.B. Saunders Co., 1979, 292 p.
216. Fox E.L. *Physiology of exercise and physical fitness* // R.H. Shauss (ed.), *Sports Medicine*. — Philadelphia: W.B. Saunders Co., 1984. P. 381–456.

217. Fox E.L., Mathews D.K. *The physiological basis of physical education and athletics*, 3rd ed. — Philadelphia: SBS College Publ., 1981, 677 p.
218. Fujihara Y., Hildebrandt J.R., Hildebrandt J. Cardiorespiratory transients in exercising man. I. Test of superposition // *J. appl. Physiol.*, 1973, 35: 58–67.
219. Fujihara Y., Hildebrandt J.R., Hildebrandt J. Cardiorespiratory transients in exercising man. II. Linear models // *J. Appl. Physiol.*, 1973, 35: 68–76.
220. Gaesser G.A., Brooks G.A. Glycogen repletion following continuous intermittent exercise to exhaustion // *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. exercise*, 1980, 49: 722–728.
221. Gerschhler W. Über Veränderungen in der Trainingsauffassung // *Sportmedizin*, 1955, 9: 146–148.
222. Gastin P.B. Energy interaction and relative contribution during maximal exercise // *Sports Med.*, 2001 31: 725–741.
223. Gladden L.B. Lactate transport and exchange during exercise // L.B. Rowell, J.T. Shepherd (eds.), *Handbook of Physiology. Section 12. Exercise: Regulation and integration of multiple systems.* — N.Y.: Oxford Univ. Press, 1996. P. 614–643.
224. Gledhill N. Blood doping and related issue. A brief review // *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1982, 14: 183–189.
225. Gledhill N. Ergogenic effects of blood doping // *Sport Wyczynowy*, 1985, 23: 3–8.
226. Gledhill N. Bicarbonate ingestion and anaerobic performance // *Sports Med.*, 1984, 1: 174–180.
227. Gollnick P.D., Hermansen L. Biochemical adaptation to exercise: anaerobic metabolism // *Exer. Sport Sci. Rev.*, 1973, 1: 1–43.
228. Gollnick P.D., King D.W. Energy release in the muscle cell // *Med. Sci. Sports*, 1969, 1: 23–31.
229. Greenhaff P.L. The creatine-phosphocreatine system: there's more than one song in its repertoire // *J. Physiol.*, 2003, 537: 637–661.
230. Greenhaff P.L., Bodin K., Söderlung K., Hultman E. Effect of oral creatine Supplementation on skeletal muscle phosphocreatine resynthesis // *Am. J. Physiol.*, 1994, 266: E 725–E 730.
231. Groebe K., Thene W.J. Theoretical analysis of oxygen supply to contracted skeletal muscle // *Adv. Exp. Med. Biol.*, 1986, 200: 495–514.
232. Harris R., Söderlung K., Hultman E. Elevation of creatine in resting and exercise muscle of normal subjects by creatine supplementation // *Clinical Sci.*, 1992, 93: 367–374.
233. Henry F.M. Individual differences in the oxygen metabolism of work of two speeds of movement // *Res. Quart.*, 1951, 22: 324–333.

234. Henry F.M. Aerobic oxygen consumption and alactic debt in muscular work // *J. appl. Physiol.*, 1951, 3: 427–432.
235. Henry F.M. Time velocity equations and oxygen requirements of "all-out" and "steady-pace" running // *Res. Quart.*, 1954, 25: 164–177.
236. Henry F.M., De Moor J.C. Lactic and alactic oxygen consumption in moderate exercise of graded intensity // *J. appl. Physiol.*, 1956, 8: 608–613.
237. Henry F.M., Trafton I.R. The velocity curve of sprint running with some observations on the muscle viscosity factor // *Res. Quart.*, 1951, 22: 409–422.
238. Hermansen L. Anaerobic energy release // *Med. Sci. Sports*, 1969, 1: 32–38.
239. Hermansen L. Oxygen transport during exercise in human subjects // *Acta Physiol. Scand.*, 1973, Suppl. 399.
240. Hermansen L., Vaage O. Lactate disappearance and glycogen synthesis in human muscle after maximal exercise // *Am. J. Physiol.*, 1977, 233: E 422–E 429.
241. Hill A.V. The diffusion of oxygen and lactic acid through tissues // *Proc. Roy. Soc. B.*, 1928, 104: 39–43.
242. Hill A.V. The physiological basis of athletic records // *Sci. Monthly*, 1929, 21: 409–415.
243. Hill A.V. The scientific study of athletes // *Scientific American*, 1929, 134: 224–225.
244. Hill A.V. The revolution in muscle physiology // *Physiol. Rev.*, 1932, 12: 56–67.
245. Hill A.V., Lupton H. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen // *Quart. J. Med.*, 1923, 16: 135–139.
246. Hill A.V., Long C.N., Lupton H. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen.
247. Part IV. Methods of studying the respiratory exchange in man during muscular exercise and while breathing various gas mixtures.
248. Part V. The recovery process in man.
249. Part VI. The oxygen debt at the end of exercise // *Proc. Roy. Soc.*, 1924, 97 (B): 84–134.
250. Part VII. Muscular exercise and oxygen intake. 1924, 97 (B): 155–167.
251. Hiroonen J., Rehunen O., Rusco H., Harkonen M. Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise // *Eur. J. appl. Physiol.*, 1987, 56: 253–261.
252. Hochachka P.W. Patterns of O₂ dependence of metabolism // *Adv. Exp. Med. Biol.*, 1987, 222: 143–149.

253. Hochachka P.W. *Muscle as molecular and metabolic machines.* — Boca Raton: CRC Press, 1994, 158 p.
254. Hochachka P.W., Somero J.N. *Biochemical adaptation.* — N.Y.: Princeton University Press, 1984, 567 p.
255. Hohorst H.J. L-(t)Lactat, Bestimmung mit Lactatdehydrogenase und DPN // Bergmeyer H.U. (ed). *Methoden der enzymatischen Analyse.* — Weinheim: Verlag chemie, 1977.
256. Holmer J. *Physiology of swimming man* // *Acta Physiol. Scand.*, 1974, Suppl. 407.
257. Hollmann W. *Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportler.* — Munich: Barth-Verlag, 1963, 473 p.
258. Hollmann W., Liesen H., Mader A. *Metabolic capacity* // A. Dirix, H.J. Knuttgen, K. Tittel (eds), *The Olympic book of Sports medicine*, Vol. 1. — Oxford: Blackwell Sci. Publ., 1988. P. 58–68.
259. Holmgren A., Ström J. *Blood lactate concentration in relation to absolute and relative work load in normal man and in mitral stenosis, atrial septal defect and vasoregulatory asthenia* // *Acta med. Scand.*, 1959, 163: 185–196.
260. Holloszy J.O. *Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle* // *J. Biol. Chem.*, 1967, 242: 2278–2282.
261. Holloszy J.O. *Biochemical adaptation in muscle. Effects exercise on mitochondrial oxygen uptake and enzyme activity in skeletal muscle* // *J. Biol. Chem.*, 1964, 242: 2278–2282.
262. Holloszy J.O. *Biochemical adaptation to exercise: aerobic metabolism* // *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 1973, 1: 45–71.
263. Homsher E. *Muscle enthalpy production and its relationship to actomyosin ATP-ase* // *Ann. Rev. Physiol.*, 1987, 49: 673–690.
264. Horswill C.A., Costill D.L., Fink W.S. *Influence of Sodium bicarbonate on sprint performance: relationship to dosage* // *Med. Sci. Sports exerc.*, 1988, 20: 566–569.
265. Howald H. *Effect of physical exercise on muscle metabolism* // O. Hanninen, M. Harri (eds.), *Physical performance and muscle metabolism.* — Helsinki: Finnish Soc. for Research in Sprint. Publ. 57, 1978. P. 16–29.
266. Howald H. *The vital force: a study of bioenergetics.* — N.Y.: W.H. Freeman, 1986, 202 p.
267. Hultman E., Bergström J., Mc Lennan-Anderson N. *Breakdown and resynthesis of phosphorylcreatine and adenosine triphosphate in connection with muscular work in man* // *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 1967, 19: 56–66.
268. Hultman E., Sjöholm H. *Substrate Availability* // *Biochemistry of exercise*, Intern. Series on Sport Sciences, V. 1. 13. — Champaign: Human Kinetics Publ., Inc., 1983. P. 63–69.

269. Hultman E., Sjöholm H. Energy metabolism and contraction force of human skeletal muscle in sites during electrical stimulation // *J. Physiol.*, 1983, 345: 525–532.
270. Jacques J.A., Bellman R., Kalaba K. Some mathematical aspects of chemotherapy. II The distribution of a drug in the body // *Bull. Math. Biophys.*, 1960, 22: 309–322.
271. Jöbsis F.F. Basic processes in cellular of respiration // W.O. Fenn, H. Rahn (eds.). *Handbook of Physiology. Vol I. Sect. 3. Respiration.* Publ. Am. Physiol. Soc. — Baltimore. Williams and Wilkins Comp., 1964.
272. Jöbsis F.F., Chance B. Time relations between muscular contraction and response of cytochrome chain // *Fed. Proc.*, 1957, 16: 68–73.
273. Jöbsis F.F., Stainsby W.N. Oxidation of NADH during contractions of circulated mammalian skeletal muscle // *Respir. Physiol.*, 1968, 4: 292–300.
274. Jones A.M., Carter H., Pringle J.S.M., Campbell I.T. Effect of creatine supplementation on oxygen uptake kinetics during sub-maximal cycle exercise // *J. appl. Physiol.*, 2002, 92: 2571–2577.
275. Jones N.L., Sutton J., Taylor R., Toews C.J. Effect pH on cardiorespiratory and metabolic response to exercise // *J. appl. Physiol.*, 1977, 43: 959–974.
276. Karlsson J. Lactate and phosphagen concentration in working muscle of man // *Acta physiol. Scand.*, 1971, 78: Suppl. 358.
277. Karlsson J., Åstrand P.-O., Ekblom B. Training of the oxygen transport system in man // *J. appl. Physiol.*, 1967, 22: 1061–1065.
278. Karlsson J., Nordesjö L.O., Jorfeldt L., Saltin B. Muscle lactate, ATP and CP level during exercise after physical training in man // *J. Appl. Physiol.*, 1972, 33: 199–203.
279. Karpovich P.V. Ergogenic aids in work and sport // *Res. Quart. (Suppl.)*, 1941, 12: 432–445.
280. Karvonen J. Physiological limitation of performance Sport // O. Gruppe, D. Kurz, J.M. Teipel (eds.). *Sport in the modern world-chances and problems. Papers, results, materials.* — Berlin: Springer Verl., 1973. P. 499–502.
281. Katch V.L. Kinetics of oxygen uptake and recovery for supramaximal work of short duration // *Int. J. angew. Physiol.*, 1973, 31: 197–207.
282. Katch V.L., Wiltman A. Interrelationship between anaerobic power output, anaerobic capacity and aerobic power // *Ergonomics*, 1978, 21: 201–209.
283. Keul J. The relationship between circulation and metabolism during exercise // *Med. Sci. Sports*, 1973, 5: 209–219.
284. Keul J., Doll E., Keppler D. Energy metabolism of human muscle. — Basel: S. Karger, 1972, 313 p.

285. Keul J., Doll E., Stein H., Homberger H., Kern H., Reindell H. Über den Stoffwechsel des menschlichen Herzens. I Die Substratversorgung des menschlichen Herzens in Ruhe, während und nach Körperlichen Arbeit // *Pflüger's Arch. ges. Physiol.*, 1965, 282; 1–32.
286. Keul J., Keppler D., Doll E. Standard bicarbonate, pH, lactate and pyruvate concentrations during and after muscular exercise // *German. Med. Monthly*, 1967, 12: 156–158.
287. Keys A. Physical performance in relation to diet // *Fed. Proc.*, 1943, 2: 164–171.
288. Kindermann W., Keul J. Anaerobe Energiebereitstellung im Hochleistungssport. — Schondorf: Hofman Verl., 1977.
289. Kindermann W., Keul J. Lactate acidosis with different form of sport activities // *Can. J. Appl. Sci.*, 1977, 2: 177–182.
290. Kligenberg M. Control characteristics of the adenine nucleotide system // B. Chance, R.W. Estabrook, J.R. Williamson (eds.), *Control of energy metabolism*. — N.Y., 1965.
291. Knuttgen H.G. Physical working capacity and physical performance // *Med. Sci. Sports*, 1969, 1: 1–8.
292. Knuttgen H.G. Oxygen debt after submaximal physical exercise // *J. appl. Physiol.*, 1970, 29: 651–657.
293. Komi P., Rusko H., Vos J., Vihko V. Anaerobic performance capacity in athletes // *Acta physiol. Scand.*, 1977, 100: 107–114.
294. Konrady G.P., Slonim A.D., Farfel V.S. General basis of work physiology. (In Russian). — Moscow: Biomedgiz, 1934, 672 p.
295. Krebs H. Rate limiting factors in cell respiration // *CIBA Foundation Symposium on the regulation of cell metabolism*. — London: Churchill Ltd., 1959. P. 1–10.
296. Krebs H., Kornberg H.L., Burton K. A survey of the energy transformations in living matters // *Ergebn. Physiol.*, 1957, 49: 219–298.
297. Krogh A., Lindhard J. The relative value of fat and carbohydrate as sources of muscular energy. With appendices on the correlation between standard metabolism and the respiratory quotient during rest and work // *Biochem. J.*, 1920, 14: 290–363.
298. Lamb D.R. *Physiology of exercise: responses and adaptations*, 2nd ed. — N.Y.: Mac Millan Publ. Comp., 1984, 420 p.
299. Lamb D.R. Basic principles for improving sport performance // *Sports Sci. Exchange*, 1995, 8: 1–6.
300. Landahl H.D. Theoretical considerations on potentiation in drug action // *Bull. Math. Biophys.*, 1958, 20: 1–23.
301. Lehman G. *Praktische Arbeitsphysiologie*. — Stuttgart, 1953.
302. Lehninger A.L. *Bioenergetics*. — Membo Park, Co.: W.A. Benjamin, Inc., 1973, 275 p.

303. Levy M.L. Lactate uptake by intact kidney // *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1965, 119: 1029–1036.
304. Lloyd B.B. The energetic of running: an analysis of world records // *Advanc. Sci.*, 1966, 22: 515–530.
305. MacLaren, Adamson G. An investigation into the combined effects of creatine and Sodium bicarbonate supplementation on repeated Bouts of high-intensity Exercise in Elite Cyclists // *J. Sports Sci.*, 1955, 13: 429–432.
306. Mader A., Heck H., Hollman W. A computer simulation model of energy output in relation to metabolic rate and internal environment // H.G. Knuttgen, J.A. Vogel, J. Portmans (eds.), *Biochemistry of Exercise*. — Champaign, IL.: Human Kinetics, 1983. P. 239–251.
307. Magel J.R., Foglia G.F., McArdle W.D., Gutin B., Pechar G.S., Katch F.I. Specificity of Swim training on maximum oxygen uptake // *J. appl. Physiol.*, 1975, 38: 151–159.
308. Mahler M. Kinetics and control of oxygen consumption in skeletal muscle // P. Cerretelli, B.J. Wipp (eds.), *Exercise biogenetics and gas exchange*. — Amsterdam: Elsevier, 1980.
309. Makarova G.A. Study of the influence of autohemotransfusion on some of functional state in man. Thesis (Dr. Med.). (In Russian) Moscow: 1975, 214 p.
310. Margaria R. A historical review of the physiology of oxygen debt and steady state in relation to lactic acid formation and removal // E. Jokl, E. Simon (eds.), *International research in sport and physical exercise*. — Springfield: C. Thomas, 1964. P. 11–28.
311. Margaria R. An outline for setting significant tests of muscular performance // *Arch. Physiol.*, 1965, 6: 37–44.
312. Margaria R. Assessment of physical activity in oxidative and anaerobic maximal exercise // *Z. angew. Physiol.*, 1966, 22: 124–155.
313. Margaria R. Aerobic and anaerobic energy sources in muscular exercise // *Exercise at altitude*. — Milan: Excepta Medica Foundation, 1967. P. 15–32.
314. Margaria R. Routine tests for aerobic and anaerobic muscular power // *Physical activity and the heart*. — Springfield. Inc.: Ch. Thomas, 1967. P. 331–335.
315. Margaria R. Lactic acid and muscle // *Helv.-med. acta*, 1970, 35: 323–324.
316. Margaria R. The sources of muscular energy // *Sci. Amer.*, 1972, 226: 84–91.
317. Margaria R. Capacity and power of energy processes in muscle activity, their practical relevance in athletics // G.R. Cumming, D. Snidal, A.W. Taylor (eds.), *Environmental effects on work performance*. — Publ. by the Canad. Ass. of Sports Sci., 1972. P. 163–171.

318. Margaria R. *Biomechanics and energetic of muscular exercise*. — Oxford: Clarendon Press, 1976, 78 p.
319. Margaria R., Aghemo P., Sassi G. *Effect of alkalosis on performance and lactate formation in supramaximal exercise* // *Intern. Z. Angew. Physiol.*, 1971, 29: 215–223.
320. Margaria R., Edwards H., Dill D.L. *The possible mechanism of contracting and paying of the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction* // *Am. J. Physiol.*, 1933, 106: 689–715.
321. Margaria R., Mangili F., Cuttica F., Cerretelli P. *The kinetics of the oxygen consumption at the onset of the muscular exercise in man* // *Ergonomics*, 1965, 8: 49–54.
322. Mathews C.M.E. *The theory of tracer experiments with L^{131} -labeled plasma proteins* // *Physics in Med. Biol.*, 1957, 2: 36–53.
323. Maughen R.J. *Creatine supplementation and exercise performance* // *Int. J. Sport Nutr.*, 1995, 5: 94–101.
324. McArdle W.D., Magel J.R., Delio D.J., Toner M., Chase J.M. *Specificity of run training on Vo_{2max} and heart rate changes during running and swimming* // *Med. Sci. Sports*, 1973, 10: 16–20.
325. McCafferty W.B., Harvath S.M. *Specificity of exercise and specificity of training: a subcellular review* // *Res. Quart.*, 1977, 48: 358–371.
326. McGarry J.D., Brown N.F. *The mitochondrial carnitine palmityltransferase system: form concept to molecule analysis* // *Eur. J. Biochem.*, 1997, 244: 1–14.
327. McGilvery R.W. *Quantitative significance of lactate production* // *Biochemistry. A Functional approach*. Biochemistry. A functional approach. — Philadelphia, W.B. Saunders, 1970. P. 268–270.
328. McGilvery R.W. *Biochemistry, a functional approach*. — Philadelphia, Saunders, 1970. 378 p.
329. McGilvery R.W. *Biochemical concepts*. — Philadelphia, W.B. Saunders Co., 1975. 476 p.
330. McGilvery R.W., Murray T.W. *Calculated equilibria of phosphocreatine and adenosine phosphates during utilization of high energy phosphate by muscle* // *J. Biol. Chem.*, 1974, 249: 5845–5850.
331. Mellerowicz H., Meller W. *Training: Biologische und medizinische Grundlagen und Prinzipien des Trainings*. — Berlin: Springer, 1972, 126 p.
332. Mellerowicz H., Smolaka V.N. (eds.). *Ergometry: Basics of Medical Exercise Testing*. — Baltimore: Urban und Schwarzenberg Med. Publ. 1981, 432 p.
333. Milkorn H.T. *The applications of control theory to physiological systems*. Philadelphia, Saunders, 1966.

334. Morgan W. (ed.). *Ergogenic aids and muscular performance*. — N.Y.: Acad. Press, 1972, 3472 p.
335. Mommaerts W.F.H.M. *Energetics of muscular contraction* // *Physiol. Rev.*, 1969, 49: 496—508.
336. Myburgh K.H. *Understanding the dominance of African endurance runners: Exercise biology and an integrative model* // Y. Putsis, J. Bale, C. Sharp, T. Noakes (eds.), *East African Running: Toward a cross-disciplinary perspective*. — London: Routledge, 2007. P. 134—158.
337. Nagle K.Y. *Physiological assessment of maximal performance* // J.H. Wilmore (ed.), *Exercise and sport science reviews*, V.1. — N.Y.: Acad. Press, 1973, 313—338.
338. Neumann G. *Special performance capacity* // A. Dirix, H.G. Knuttgen, K. Tittel (eds.). — Oxford: Blackwell Sci. Publ., 1988. P. 97—108.
339. Newmann E.V. *Distribution of lactic acid between blood and muscle of rats* // *Am. J. Physiol.*, 1938, 122: 359—367.
340. Newsholme E.A., Leech E.R. *Biochemistry for the medical sciences*. — Chichester: J. Wiley and Sons, 1983, 149 p.
341. Newsholme E.A., Leech E.R., Duister G. *Keep on running: The science of training and performance*. — Chichester: J. Wiley and Sons, 1994, 443 p.
342. Newsholme E.A., Start K. *Regulation in metabolism*. — London: J. Wiley, 1973.
343. Nicholls D.G. *Bioenergetics: an introduction to the chemiosmotic theory*. — N.Y.: Academic Press, 1982, 188 p.
344. Pate R., McFarland J., Van Wyck J., Okocha A. *Effects of blood reinfusion on endurance performance in female distance runners* // *Med. Sci. Sports*, 1979, 11: 97—103.
345. Pendergast D.R., Cerretelli P., Rennie D.W. *Aerobic and anaerobic glycolytic metabolism in arm exercise* // *J. Appl. Physiol.*, 1979, V. 47.P. 754—760.
346. Percy E.C. *Ergogenic aids in athletics* // *Med. Sci. Sports*, 1978, 10: 298—303.
347. Periti P.F. *Comment on the applicability of compartment theory to interacting biochemical systems* // *Experientia*, 1964, 20: 294—313.
348. Pearl D.C., Carlson L.D., Scherwood H. *Mechanism of oxygen deficit* // *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 1956, 92: 277—282.
349. Piiper J., di Prampero P.E., Cerretelli P. *Oxygen debt and high-energy phosphates in gastrocnemius muscle of the dog* // *Am. J. Physiol.*, 1968, 215: 523—531.
350. Poortmans J.R., Bossche J.D.-V., Leclercq R. *Lactate uptake by inactive forearm during progressive leg exercise* // *J. appl. Physiol.*, 1978, 45: 835—839.

351. Racker E. *A new look at mechanisms in bioenergetics*. — N.Y.: Acad. Press, 1976, 216 p.
352. Riggs D.S. *The mathematical approach to physiological problems*. — Baltimore: Williams, Wilkins, 1963.
353. Robertson R., Gilcher R., Metz K. Central circulation and work capacity after red blood cell reinfusion under normoxia and hypoxia in women // *Med. Sci. Sports*, 1979, 11: 98–99.
354. Robinson S. *Experimental studies of physical fitness in relation to age* // *Arbeitsphysiologie*, 1938, 10: 251–267.
355. Robinson S. *Physiology of muscular exercise* // J. Bard (ed) *Medical physiology*. — St. Louis, C. Mosby, 1961. P. 494–521.
356. Robinson S., Harmon P.M. The lactic acid mechanism and certain properties of the blood in relation to training // *Am. J. Physiol.*, 1941, 132: 757–762.
357. Robinson S., Harmon P.M. The effect of training and of gelatin on certain factor which limit muscular work // *Am. J. Physiol.*, 1941, 133: 161–169.
358. Roskamm H. Optimum pattern of exercise for healthy adults // *Can Med. Ass. J.*, 1967, 22: 895–902.
359. Roth W. *Physiologische Grundlagen und Prinzipien der Vervollkommen der Konditionellen Fähigkeiten* // T. Köner, P. Schwanitz (eds.), 2nd Aufl. — Berlin: Sportverlage, 1987. S. 151–173.
360. Rowell L.B., Kraning K.K., Evans T.O., Kennedy J.W., Blackmon J.R., Kusumi F. Splanchnic removal of lactic and pyruvate during prolonged exercise in men // *J. appl. Physiol.*, 1966, 21: 1773–1779.
361. Royce J. Oxygen consumption during submaximal exercises of equal intensity and different duration // *Intern. Z. angew. Physiol.*, 1962, 19: 218–221.
362. Sacktor B., Hurlbut E.C. Regulation of metabolism in working muscle in vivo // *J. Biol. Chem.*, 1966, 24: 632–634.
363. Sahlin K., Alvestrand A., Brand R., Hultman E. Intracellular pH and bicarbonate concentration in human muscle during recovery from exercise // *J. Appl. Physiol.*, 1978, 45: 474–480.
364. Saks V.A., Bobkov Y.G., Strumia E. (eds.) *Creatin phosphate: Biochemistry, pharmacology and clinical efficiency*. — Torino: Ed. Minerva Medica, 1987, 270 p.
365. Sahlin K. Effect of acidosis on energy metabolism and force generation in skeletal muscle // H.G. Knuttgen, J.A. Vogel, J. Poortmans (eds.), *Biochemistry of Exercise*. — Champaign, IL, Human Kinetics, 1983. P. 151–160.
366. Sahlin K. High-energy phosphates and muscle energetics. // J.R. Poortmans (ed), *Principles of Exercise Biochemistry*, 3rd ed. — Basel: Karger, 2004. P. 87–107.

367. Saks V.A., Kongas O., Vendelin M., Kay L. Role of the creatine/ phosphocreatine system in the regulation of mitochondrial respiration. *Acta Physio Scand.*, 2000, 168: 633–641.
368. Saltin B. Aerobic work capacity and circulation at exercise in man. // *Acta Physiol Scand*, 1964, 62, Suppl 230.
369. Saltin B. Metabolic fundamentals in exercise // *Med. Sci. Sports*, 1973, 5: 137–146.
370. Saltin B., Gollnick Ph.D. Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance // L.P. Peachy, R.H. Adrian, S.R. Geiger (eds.), *Handbook of Physiology, Skeletal muscle*. — Bethesda: Am. Physiol Soc, 1983. P. 555–572.
371. Scherrer J. Problemes physiologiques poses par la fatigue // *Travail Humain*, 1962, 25: 305–308.
372. Schneider E.G., Robinson S., Newton J.L. Oxygen debt in aerobic work // *J. Appl. Physiol.*, 1968, 25:58–62.
373. Shephard R.J. Standard tests of aerobic power // R.J. Shephard (ed), *Frontiers of fitness*. — Springfield, IL: Ch. Tomas Publ., 1971. P. 233–264.
374. Shephard R.J. *Physiology and biochemistry of exercise*. — N.Y.: Praeger Publ., 1985, 652 p.
375. Shephard R.J. Exercise physiology and performance of sport // *Sport Sci. Rev.*, 1992, 1: 1–12.
376. Sheppard C.W., Householder A.S. The mathematical basis of the interpretation of tracer experiments in closed steady-state systems // *J. Appl. Physiol.*, 1951, 22:510–520.
377. Simonson E. Zur Physiologie des Energieumsatzes beim Menschen. III. Weitere Beitrige zur Physiologie der Erholung bei körperlicher Arbeit. // *Pflügers Arch. gesam. Physiol.*, 1927, 215: 716–742.
378. Simonson E. Quelques questions concernant les echanges au cours du travail musculaire // *Travail Humain*, 1938, 6: 385–393.
379. Stainsby W.N. Critical oxygen tensions in muscle // J. Keul (ed), *Limiting factors of physical performance*. — Stuttgart, 1973. P. 137–144.
380. Stainsby W.N., Barclay J.K. Exercise metabolism: O₂ deficit, steady level O₂ uptake and O₂ uptake for recovery // *Med. Sci. Sports.*, 1970, 2: 177–186.
381. Stainsby W.N., Brooks G.A. Control of lactic acid metabolism in contracting muscles and during exercise // *Exerc. Sport. Sci. Rev.*, 1990, 18: 29–63.
382. Stanley W.C. Myocardial lactate metabolism during exercise // *Med. Sci. Sports.*, 1991, 23: 920–924.
383. Ström G. The influence of anoxia on lactate utilization in man after prolonged muscular work // *Acta Physiol. Scand.*, 1949, 17: 440–451.

384. Sutton J.R., Jones N.R., Toews C.J. Effect of Ph on muscle glycolysis during exercise // *Clin. Sci. Mol. Med.*, 1981, 61: 331–338.
385. Szögy A. The influence of speed and strength characteristics on the anaerobic capacity of adolescent cyclists // S. Oseid, K.H. Carlsen (eds.), *Children and exercise*. – Champaign, IL, Human Kinetics, 1989. P. 67–73.
386. Szögy A., Böhmer O. A two phase test for anaerobic capacity evaluation in laboratory and field // *XXIIIrd World Congress of FIMS*, Brisbane, 1986, 296 p.
387. Taylor H.L. Exercise and metabolism // W.R. Johnson (ed). *Science and medicine of exercise and sports*. – N.Y.: Harper and Br. Publ., 1960. P. 123–134.
388. Van Rost R., Hollmann W., Liesen H., Schulten D. Über den Einfluss einer Erythrozyten-Retransfusion auf die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit // *Sportarzt Sportmedizin*, 1975, 26: 137–144.
389. Viru A., Viru M. Biochemical monitoring of sport training. – Champaign: IL, Human Kinetics, 2001, 283 p.
390. Volkov N.I. Bioenergetics of Sports Activities. – Moscow: Theory and Practice of Physical culture and Sports, 2010, 141 p.
391. Volkov N.I. Oxygen consumption and lactic acid content in blood during strenuous muscular exercise // *Fed. Proc.*, 1963, 22: T118–T126.
392. Volkov N.I. Teoria e Practica do Treinamento Intervalado no Esporte. – Campinas (Brasil). Editore Multiesportes, 2002, 170 p.
393. Volkov N.I., Andris E.R., Saveljev Yu.M., Olejnikov V.I. Ergogenic effects of the Creatine Supplementation during the Training of Top-Class Athletes // V.A. Rogozkin, R. Maughan (eds.), *Current Research in Sport Sciences: An international perspective*. – N.Y.: Plenum Press, 1996. P. 137–143.
394. Volkov N.I., Lapin V.I. Analysis of the velocity curve in sprint running // *Med. Sci. Sports.*, 1979, 11: 332–337.
395. Volkov N.I., Olejnikov V.I., Hackman R., Schekenbach R.P., Watterson S. AdvoCare strategies in sports nutrition. – Moscow: SportAcademPress, 2002, 66 p.
396. Volkov N.I., Savelev I.A. Oxygen Demand and the Energy Cost of Intense Muscle Activity // *Human Physiol.*, 2002. V. 28, № 4: 457–465.
397. Volkov N.I., Smirnov V.V. Intermittent hypoxia and interval hypoxic training in swimming // K.L. Keskinen, R.V. Komi, A.P. Hollander (eds.). *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. – Jyväskylä: Gummerus Printing, 1999. P. 369–374.
398. Walker J.B. Creatine: Biosynthesis, regulation and function // *Advances in Enzymology*, 1979, 50: 177–242.

399. Walsh B. *The role of exercise and exercise-related factors in the control of mitochondrial oxidative function*. Ph.D. thesis, Karolinska Institute, Stockholm, 2002, 94 p.
400. Wasserman K., Hansen J.E., Sue D.Y., Casaburi R., Whipp B.J. *Principles of Exercise Testing and Interpretation*, 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1999, 556 p.
401. Wasserman K., Whipp B.J. Exercise physiology in health and disease // *Am. Rev. Respir. Dis.*, 1975, 112: 219–249.
402. Welch H.G., Faulkner J.A., Barclay J.K., Brooks G.A. Ventilatory response during recovery from muscular work and its relation with O_2 debt. // *Med. Sci. Sports*, 1970; 2, 15–19.
403. Welling P.C. *Pharmokinetics: Processes and Mathematics*. — Washington: P.C., Am. Chem. Soc., 1986, 290 p.
404. Weltman A., Katch V. Min-by-min respiratory exchange and oxygen uptake kinetics during steady-state exercise in subjects of high and low max VO_2 // *Res. Quart.*, 1976, 47: 490–498.
405. Whipp B.J., Wasserman K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. // *J. Appl. Physiol.* 1978; 33: 351–356.
406. Whipp B.J., Ward S.A., Lamarra N., Davis J.A., Wasserman K. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise // *J. Appl. Physiol.* 1982; 52: 1506–1513.
407. Williams M. Blood doping and aerobic activity // *J. Phys. Educ. Rec.*, 1980; 51: 55–56.
408. Williams M.H. (ed.) *Ergogenic aids in sport*. — Champaign: Human Kinetics Publ., 1983, 385 p.
409. Williams M.H. (ed.) *Nutritional aspects of human physical and athletic performance*, 2nd ed. — Springfield, IL: Ch. Thomas, 1985, 267 p.
410. Williams M.H. (ed.) *Nutrition for Health, Fitness and Sport* Boston, 7th ed. — N.Y.: McGraw Hill.: 2005, 247 p.
411. Williams M.H., Kreider R.B., Branch J.D. *Creatine. The power supplement*. — Champaign, IL: Human Kinetics, 1999, 251 p.
412. Williams M.H., Wesseldine S., Somma T., Schuster R. The effect of induced erythrocythemia upon 5-mile treadmill run time // *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1981, 13: 169–175.
413. Williamson J.R. Mitochondrial function in the heart // *Ann. Rev. Physiol.*, 1979, 41: 485–506.
414. Willis W.T., Jackman M.R. Mitochondrial function during heavy exercise // *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1994, 26: 1347–1354.
415. Wilmore J.N. *Training for sport and activity. The Physiological Basis of the Conditioning Process*, 2nd ed. — Boston: Allyn & Bacon, Inc., 1982, 294 p.

416. Wilmore J.N., Costill D.L. *Physiology of sport and exercise*. — Champaign, IL: Human Kinetics, 1999, 710 p.
417. Wilson D.F. Factors affecting the rate and energetics of mitochondrial oxidative phosphorylation // *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1994, 26: 37–43.
418. Wilson D.F., Erecinska M., Drown C. Effect of oxygen tension on cellular energetics // *Am. J. Physiol. (Cell Physiol., 2)*, 1977, 233: 135–140.
419. Wilson D.F., Erecinska M., Drown C. The oxygen dependence of cellular energy metabolism // *Arch. Biochem. Biophys.*, 1979, 195: 485–493.
420. Wilson D.F., Rumsey W., Green T. The oxygen dependence of mitochondrial oxidative phosphorylation measured by a new optical method for measuring oxygen concentration // *J. Biol. Chem.*, 1988, 263: 2712–2718.
421. White A., Handler P., Smith E.L., Hill R.L., Lehman I.R. *Principles of biochemistry*, 4th ed. — N.Y.: McGraw Hill Book Corp.: 1968, 1878 p.
422. Ziegenfuss T., Lemon P.W.R., Rogers M.R., Ross R., Yarasheski K.E. Acute creatine ingestion. Effects on muscle volume, anaerobic power, fluid volumes, and protein turnover. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1997, 39: 127–134.
423. Yakovlev N.N. *Surveys on the biochemistry of sport*. (In Russian). — Moscow: FiS, 1955, 264 p.
424. Yakovlev N.N. *Sport biochemie*. — Leipzig: Barth, 1977, 288 p.

Научное издание

**Николай Иванович ВОЛКОВ,
Владимир Иванович ОЛЕЙНИКОВ**

БИОЭНЕРГЕТИКА СПОРТА

Монография

Книга издана в авторской редакции

Дизайн и верстка *О. Терёшина, С. Штойко*
Корректор *Л.В. Лапина*

Подписано в печать 25.07.2011 г. Формат 60×88¹/₁₆.

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 10,0. Уч.-изд. л. 8,0. Тираж 1000 экз.

Изд. № 1590. Заказ № 5407.

ОАО «Издательство “Советский спорт”».

105064, г. Москва, ул. Казакова, 18.

Тел./факс: (499) 267-94-35, 267-95-90.

Сайт: www.sovsportizdat.ru

E-mail: sovsport@mail.tascom.ru

Отпечатано с электронной версии заказчика
в ФГУП «Производственно-издательский комбинат ВИНТИ».

140010, г. Люберцы Московской обл., Октябрьский пр-т, 403.

Тел. (495) 554-21-86