

Ростовцев В.Л.

Всероссийский научно-исследовательский институт
физической культуры и спорта, г. Москва

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗМА ЭЛИТНЫХ СПОРТСМЕНОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МНОГОЛЕТНЕГО СПЕЦИФИЧЕСКОГО МЕТАБОЛИЗМА ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

В статье приводятся данные различий адаптационных изменений показателей газообмена, ЧСС и периферической крови у элитных спортсменов в трех видах спорта: борьбе, синхронном плавании и лыжных гонках. Показано, что отличие в структуре и композиционном составе этих показателей гармонизирует с характером многолетних профессиональных занятий спортом.

Изучение адаптационных изменений в организме человека в связи с его профессиональной деятельностью необходимо для исключения негативных влияний на состояние здоровья [3]. Особенно актуально это направление исследований в отношении спортсменов, преодолевших многочисленные барьеры селективного отбора и ставших победителями среди участников мировых чемпионатов и Олимпийских игр [5].

Доставка кислорода к работающим мышцам является далеко не единственным механизмом энергетического обеспечения движений [4]. Многие авторы считают, что наибольшую роль играют процессы мобилизации и использования субстратов, особенности функционирования миофибриллярного комплекса, эффективности работы отдельных органов. Однако со времени создания методов непрямой калориметрии [4] неинвазивные способы оценки энергообеспечения при максимальной физической нагрузке совершенствуются.

С тех пор как А.В. Хилл в 1924 г. и Р. Маргария в 1933 г. обнаружили кислородный долг после мышечной работы и связали его с повышением концентрации лактата в крови, дискуссия о точности и способах определения и интерпретации показателей внешнего дыхания не прекращается [2, 6, 8, 11]. При анализе точности измерения газоанализаторной и биохимической аппаратуры удалось подтвердить правомерность использования параметров внешнего дыхания в качестве критериев оценки метаболических процессов, происходящих в организме элитных спортсменов в связи с их профессиональной деятельностью.

Методы и экспериментальная модель исследования. В качестве экспериментальной модели были выбраны три вида спорта с от-

личительными и сходными признаками применения физических нагрузок: лыжные гонки, борьба и синхронное плавание. Лыжные гонки относятся к циклическим видам спорта с преимущественным проявлением качества выносливости. Главное здесь – длительное время противостоять утомлению в повторяющемся цикле лыжного хода. Борьба – вид спорта, предъявляющий повышенные требования к скоростно-силовой подготовленности организма. Однако требования к выносливости в этом виде спорта нельзя отнести далеко на второй план, так как при одинаковом уровне мастерства у соперника все решает именно это качество. Синхронное плавание требует от спортсменки четкого выполнения физических упражнений в условиях гипоксии. Сходством этих видов спорта является включение в работу большого количества скелетных мышечных групп. Кроме того, соревновательное время работы в борьбе, синхронном плавании и в спринтерских дисциплинах лыжных гонок относится к одной зоне мощности. Казалось, это сходство могло бы нивелировать различия в кислородном обеспечении и метаболических реакциях организма спортсменов. Однако, как показано ниже, для каждого вида спорта имеются свои существенные отличия, явно отражающие лимитирующие условия функционирования организма в том или ином виде спорта.

Исследование проведено на спортсменках высшей квалификации (8 заслуженных мастеров спорта, 7 мастеров спорта международного класса, 8 мастеров спорта). Всего в исследованиях приняли участие 8 спортсменок-дзюдоисток, 8 синхронисток и 7 лыжниц-гонщиц. В таблице 1 представлены общие характеристики этих групп.

Для изучения особенностей влияния занятий определенным видом спорта на организм были проведены тестирования в беге на тредбане со ступенчатым повышением скорости движения ленты. Спортсменки после стандартной разминки и регистрации исходных показателей начинали бег со скоростью 2,5 м/сек. Каждая ступень нагрузки продолжалась 3 мин. Затем скорость повышалась на 0,5 м/сек. Испытуемым давалась установка бежать до отказа. Кроме регистрации параметров газообмена в конце каждой ступени и на 3-й минуте восстановления производился забор крови из пальца для регистрации концентрации молочной кислоты. Взятие крови осуществлялось без остановки ленты тредбана. В конце каждой ступени (каждой 3-й минуты) спортсменка клала руку на специальный поручень, продолжая бег. В это время производилось взятие крови из пальца. После окончания теста на каждой минуте восстановления регистрировалось артериальное давление.

В качестве нагрузочного устройства использовался тредбан немецкой фирмы «Н.р: cosmos», модель «Venus», длиной 2,5 м и шириной ленты 0,75 м. Тредбан отличается бесшумным и равномерным движением ленты, скорость которого не зависит от веса испытуемых. Реализация указанного протокола нагрузки обеспечивалась с помощью компьютерной газоанализаторной программы «Metasoft 3».

Для анализа параметров газообмена применялся газоанализатор немецкой фирмы «Cortex», модель «MetaLyzer II-R2», с погрешностью измерения не более 1,5%. Проверка точности измерений проводилась с указанной в инструкции регулярностью с помощью калибровочных газов и воздушного шприца.

Измерение объема вдыхаемого и выдыхаемого газов осуществляется этим прибором раздельно на каждом вдохе и выдохе с помощью эластичной маски и специальной турбины для определения объемов воздуха и выдыхаемого газа. Система не имеет «мертвого» пространства и не создает дополнительного сопротивления при выдохе. Измерение данных осуществлялось через каждые 10 сек. с учетом каждого вдоха и выдоха.

Регистрировались следующие параметры: потребление кислорода (VO_2) в абсолютных (л/мин) и относительных (мл/мин/кг) величинах, а также рассчитывалось потребление кислорода из единицы объема воздуха в процентах ($\%O_2$); вентиляция легких (VE) в л/мин; объем выдыхаемого углекислого газа (VCO_2) в л/мин; дыхательный коэффициент (RQ) в относительных единицах; частота дыхания ($ЧД$) в 1/мин; частота сердечных сокращений ($ЧСС$) в уд/мин; процент кислорода в выдыхаемом газе (FEO_2); далее рассчитывался процент потребления кислорода из единицы объема воздуха ($\%O_2$); вентиляционные эквиваленты по кислороду (VE , отнесенного к VO_2) и углекислому газу (VE , отнесенного к VCO_2); продолжительность (мин, сек) работы до отказа включала время разгона ленты и непосредственно время бега до отказа; содержание молочной кислоты в периферическом кровотоке (La) в моль/л.

Регистрация параметров производилась в прямом (on line) режиме. Расчет значений аэробного (ПАО) и анаэробного порогов (ПАНО) производились в соответствии с рекомендациями [11, 6].

Результаты исследования. Борьба отличается от лыжных гонок и синхронного плавания большей мощностью, силой и скорос-

Таблица 1. Общая характеристика групп спортсменок ($\bar{x} \pm \sigma$)

Вид спорта	Возраст	Звание	Стаж занятий	Рост	Вес
Борьба – дзюдо n = 8	24,7±5,9	2 змс 3 мсмк 3 мс	более 10 лет	157,1±7,6	54,2±4,7
Лыжные гонки n = 7	22±3,1	2 мсмк 5 мс	более 10 лет	165,5±3,4	58,5±4,0
Синхронное плавание n = 8	21±2,4	6 змс 2 мсмк	более 10 лет	171,2±3,7	58,7±2,7

\bar{x} – среднее значение, σ – среднее квадратичное отклонение.

тью проявления двигательных действий. Это выразилось в большей вариации практически всех регистрируемых параметров газообмена. Среднеквадратичные показатели VO_2 , VCO_2 и VE у дзюдоисток во время бега превышали значения этих же показателей у спортсменов лыжниц и синхронисток. При работе в допороговой зоне мощности при достаточном поступлении кислорода к работающим мышцам происходила синхронная динамика повышения этих показателей. Порог аэробного обмена был менее выражен, чем момент достижения анаэробного порога, однако был заметен более отчетливо, чем у лыжниц и синхронисток. ПАО находился в зоне, соответствующей концентрации молочной кислоты 2–3 ммоль/л. На рис. 1 проявление ПАО в динамике изменений VE , VO_2 , VCO_2 наблюдается уже на 4-й минуте работы. ПАО выражен более четко, характеризуется неодинаковым ростом этих же параметров. Повышение VCO_2 и VE более значительно, чем VO_2 , что указывает на признаки недостатка кислорода, сопровождается ростом концентрации молочной кислоты в организме и, соответственно, опережением повышения VE и VCO_2 по сравнению с VO_2 .

При ступенчатом тесте до отказа пульс имеет устойчивый рост в течение всего тестирования. Достижение устойчивого состояния на каждой ступени характеризуется некоторой стабилизацией ЧСС. Различия индивидуальных значений пульса могут достигать при отказе от работы 30 уд/мин в зави-

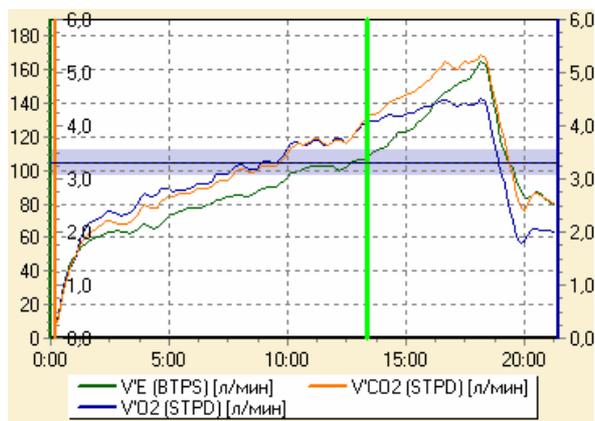


Рисунок 1. Определение ПАО по показателям газообмена у спортсменов во время ступенчатого теста до отказа в беге на тредбане.

симости от преобладающих влияний нейрогуморальных механизмов регуляции [1].

Правильность определения значений аэробно-анаэробного обмена подтверждается динамикой изменения вентиляционных эквивалентов. ПАО соответствует одинаковый одновременный рост этих значений (рис. 2). В конце 3-ей мин. работы заметен одинаковый рост вентиляционных эквивалентов, тогда как при ПАО (отмечено вертикальной линией) повышение VE/VO_2 более существенно.

Динамика изменений показателей газообмена у спортсменов-синхронисток имеет свои особенности. Вариация этих показателей во время теста меньше. ПАО обнаружен уже в конце 4-й мин. работы, а ПАО – в середине 8-й минуты теста. От момента ПАО до отказа от работы спортсменки-синхронистки отработали всего 2 минуты. В этот период спортсменки находились в зоне анаэробной производительности, в которой основным механизмом энергообеспечения является гликолитическое фосфорилирование, сопровождающееся накоплением молочной кислоты.

Заметим, что у спортсменов-дзюдоисток время работы в этой зоне существенно выше и составило около 5 минут.

При сравнении динамики изменений вентиляционных эквивалентов в борьбе и синхронном плавании можно заметить существенные различия. Плавный рост вентиляционных эквивалентов у синхронисток наблюдается, начиная с 3-ей минуты работы. У дзюдоисток рост этих показателей начи-

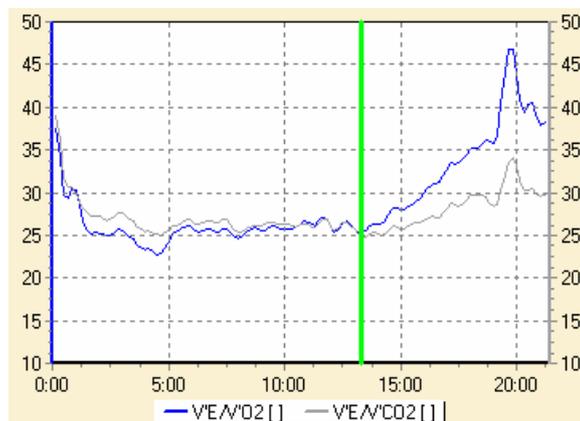
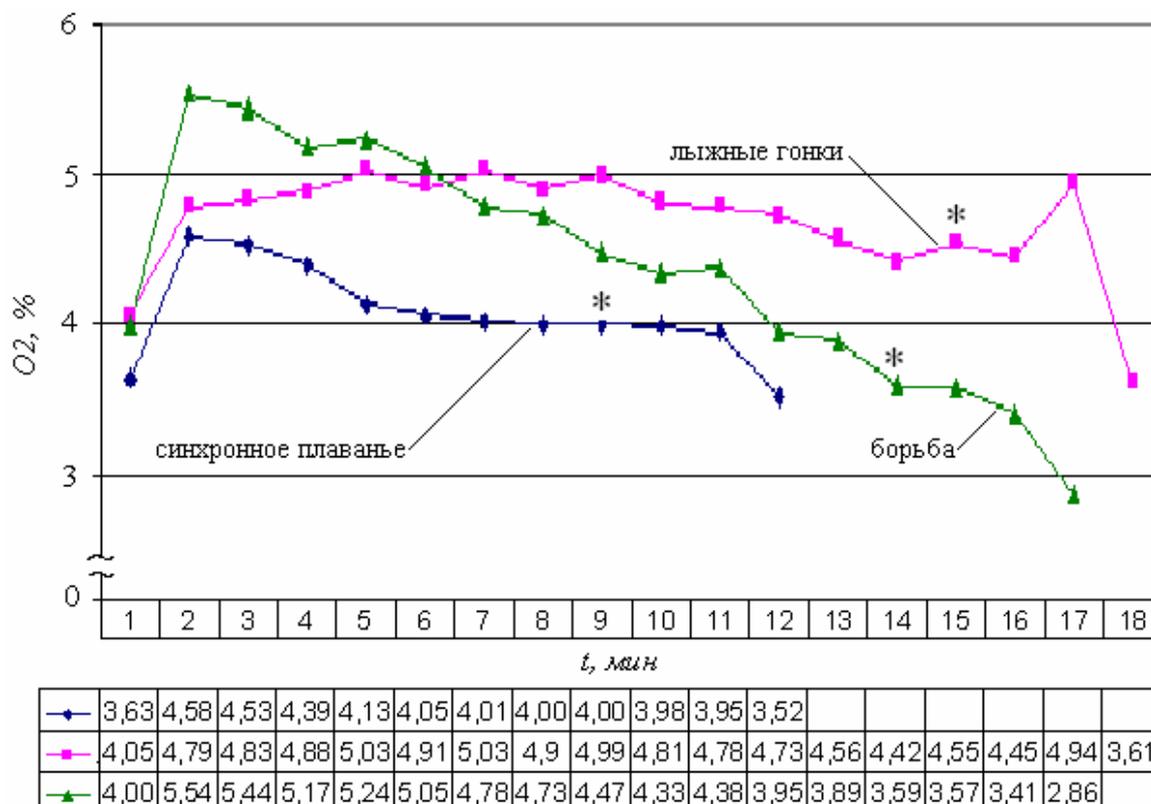


Рисунок 2. Определение ПАО по изменениям вентиляционных эквивалентов во время ступенчатого теста до отказа в беге на тредбане.



* – момент регистрации МПК.

Рисунок 3. Изменение потребления кислорода из единицы объема воздуха у спортсменов разных видов спорта во время максимального ступенчатого теста.

нается уже со второй минуты и характеризуется большей крутизной.

ПАО и ПАНУ у спортсменов – лыжниц-гонщиц были обнаружены, соответственно, на 7-й и 13-й минутах работы.

У лыжниц вентиляционные эквиваленты практически не изменяются почти до 14-й минуты. ПАО наблюдается на 5-й минуте, и смешанная пороговая зона достаточно продолжительна и составляет более 8 минут. Спортсменки этого вида спорта отличаются и от дзюдоисток, и от синхронисток большей работоспособностью, более высокими значениями МПК и VE. Однако имеют и схожие черты с этими видами спорта. У лыжниц и синхронисток показатели %O₂ при МПК отличаются незначительно (рис. 3). Это свидетельствует о присутствии экономичного характера энергообеспечения, которое, на наш взгляд, обусловлено меньшими затратами энергии на излишнюю работу легочных групп мышц. У лыжниц это связано с приближением показателя легочной вентиляции

к своему пределу, который, хотя и больше, чем в других видах спорта, но недостаточен для удовлетворения потребностей этого вида спорта. Длительная соревновательная деятельность «заставляет» спортсменок этого вида спорта совершенствовать экономичность доставки O₂ к работающим мышцам. Это обстоятельство влечет необходимость повышения избирательной способности кислорода – потребления кислорода из единицы объема воздуха (%O₂).

Казалось бы, что эта способность не должна присутствовать у спортсменок-синхронисток. Длительность соревновательной борьбы в этом виде спорта значительно короче. Однако и они отличаются от дзюдоисток так же, как и лыжницы. Как видно из рисунка 3, значения %O₂ при достижении МПК у лыжниц, синхронисток и дзюдоисток равны, соответственно, 4,55, 4,00 и 3,59. По-видимому, это связано с тем, что тренировочная и соревновательная деятельность проходит в условиях жесткой

Таблица 2. Различия в физиологических показателях элитных спортсменок разных видов спорта при максимальной ступенчато повышающейся пробе до отказа в беге на тредбане ($x \pm \sigma$)

Вид спорта Показатели	Борьба n = 8	Лыжные гонки n = 7	Синхронное плавание n = 8	Различия (Δ) и достоверность различий между видами (P)		
	1	2	3	1 и 2	1 и 3	2 и 3
VO ₂ макс (МПК), мл/мин/кг	50,6±5,4	58,5±5,6	45,9±2,8	$\Delta = 7,9$ P<0,05	$\Delta = 4,7$	$\Delta = 12,6$ P<0,01 ...
O ₂ , %	3,65±0,35	4,25±0,35	4,06±0,27	$\Delta = 0,60$ P<0,05	$\Delta = 0,41$ P<0,05	$\Delta = 0,19$
VE, л/мин	100,1±15,5	106,6±8,7	88,3±9,5	$\Delta = 6,5$	$\Delta = 11,8$ P<0,05	$\Delta = 18,3$ P<0,05
ЧД, 1/мин	51,0±9,2	53,4±9,4	42,1±7,6	$\Delta = 2,4$	$\Delta = 8,9$	$\Delta = 11,3$
RQ, отн.ед.	1,08±0,05	1,04±0,08	0,99±0,05	$\Delta = 0,04$	$\Delta = 0,09$ P<0,05	$\Delta = 0,05$
ЧСС, 1/мин	187,2±9,5	191,1±6,4	189,1±6,1	$\Delta = 3,9$	$\Delta = 1,9$	$\Delta = 2,0$
La макс, ммоль/л	10,2±0,9	8,8±1,1	7,8±0,8	$\Delta = 1,4$	$\Delta = 2,4$	$\Delta = 1,0$

гипоксии. Спортсменки этого вида спорта не могут позволить себе пропускать много воздуха через легкие – на это у них просто нет времени.

Эти два вида спорта (синхронное плавание и лыжные гонки) объединяет также аэробная направленность энергообеспечения (табл. 2). В лыжных гонках это связано в первую очередь с длительностью ведения спортивной борьбы, а в синхронном плавании, по-видимому, с требованием отсутствия молочной кислоты в организме, т. к. в условиях гипоксии это может привести к излишнему накоплению La и контрактуре мышц. Такие особенности этих видов спорта приводят к необходимости преимущественного развития механизмов окислительного фосфорилирования по сравнению с гликолитическим. Можно предположить, что эти явления связаны с изменением композиционного состава мышечных волокон в пользу медленных, как это показано в других видах спорта [7].

На рис. 3 представлены средние значения %O₂ в трех видах спорта. Видно, что кривые отличаются друг от друга средними значениями, коэффициентом вариации, трендом (наклоном) по отношению к оси абсцисс и значениями потребления кислорода из единицы объема воздуха при достижении МПК. Как известно, МПК является производением показателей

VE и %O₂. Если МПК складывается из высоких значений VE и низких значений %O₂, это эффективный мощный дыхательный тип. В основном, он присущ видам спорта с повышенными требованиями к скорости и силе. Если производство этих показателей состоит из низких значений VE и высоких значений %O₂ – это экономичный тип дыхания.

Оказалось, что низкие значения этого показателя (%O₂) наблюдаются у спортсменок-дзюдоисток. Это, по-видимому, связано с тем, что профессиональная деятельность этих спортсменок проходит не столь длительное время, как у лыжниц, и не в полной изоляции от воздуха, как это происходит с синхронистками. Спортсменки-дзюдоистки не лимитированы в возможности прокачивания воздуха через легкие. Кроме того, ввиду других обстоятельств ведения спортивной борьбы они скорее должны быть мощными, нежели экономичными. Было обнаружено, что наименьшим трендом динамики этого показателя обладают лыжницы.

Лыжницы имели существенно большие значения МПК по сравнению с дзюдоистками и синхронистками, что было обеспечено большим %O₂ по сравнению с дзюдоистками и большей VE по сравнению с синхронистками. Дзюдоистки отличались от синхронисток большей вентиляцией легких и меньшей избирательной способностью кислоро-

да. Синхронистки имели значительно меньшие показатели дыхательного коэффициента, чем дзюдоистки. Все различия объясняются спецификой пролонгированной мобилизации организма под влиянием многолетних специфических физических нагрузок.

Таким образом, адаптационные изменения, происшедшие за многие годы тренировок у элитных спортсменок, соответствуют метаболическим реакциям на состав и структуру тренировочной и соревновательной деятельности их видов спорта. Вероятно, параметры внешнего дыхания гармонично отражают те изменения, которые происходят в системах функционирования органов, использования субстратов, специфике работы миофибриллярного комплекса. Это подтвер-

ждается исследованиями, связанными с метаболическим контролем, в которых подчеркивается интегративная природа биохимических систем и общих сигналов, управляющих их активацией [9, 10]. Обнаруженные эффекты адаптации дают возможность предположить, что использование методов физической культуры, вариаций объема, интенсивности, соотношения средств и условий окружающей среды может приводить к произвольной целенаправленной перестройке механизмов энергообеспечения, морфофункционального состава тела, работы органов и систем организма. Многие из этих направлений, так же как и влияние генетических факторов, в должной степени остаются не исследованными.

Список использованной литературы:

1. Амосов Н.М., Бендет А.Я. Физическая активность и сердце. – Киев: Здоровье, 1989. – 214 с.
2. Волков Н.И., Ремизов Л.П. Использование физиологических критериев для оптимизации тренировочного процесса // Теория и практика физической культуры. 1975. – С. 12–15.
3. Меерсон Ф.З. Адаптационная медицина. Концепция долговременной адаптации. – М.: Дело, 1993. – 138 с.
4. Метаболизм в процессе физической деятельности. / Под ред. М. Харгривса. Пер. и ред. В.Л. Смутьского. – Киев: Олимпийская литература. 1998, - 286 с.
5. Платонов В.Н. Общая теория подготовки спортсменов в олимпийском цикле. – Киев: Олимпийская литература, 1997. – 584 с.
6. Селуянов В.Н., Мясинченко Е.Б., Холодняк Д.Г., Обухов С.М. Физиологические механизмы и методы определения аэробного и анаэробного порогов // Теория и практика физической культуры. – 1991. – №10. – С. 10–18.
7. Селуянов В.Н., Сарсания С.К., Сарсания К.С., Стукалов Б.А. Минимизация гликолитической направленности – суть инновационной технологии физической подготовки футболистов // Вестник спортивной науки. 2006. №2. – С. 7-13.
8. Christensen, E.H.; Hansen, O. Respiratory Quotient and O₂ – Aufnahme. Skand. Arch Physiol. 81. -1939.-С.180 – 189.
9. Connett R.J., Honig C.R., Gayeski T.E., Brooks G.A. Defining hypoxia: a systems view of VO₂, glycolysis, energetics and intracellular PO₂. J. Appl. Physiol. 68. – 1990. – С. 833 – 842.
10. Funk C.I., Clark A.J., Connett R.J. FA simple model of aerobic metabolism: applications to work transitions in muscle. Am. J. Physiol. 258. – 1990. – С. 995 – 1005.
11. Wasserman K., Hansen J.E., Darryl Y.S., Casaburi R., Whipp B.J. Principles of exercise testing interpretation. Third Edition. – Lippincott Williams & Wilkins. 1999. – 354 с.

Статья рекомендована к публикации 20.06.07