

ЭРГОСПИРОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕВУШЕК-ПЛОВЦОВ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТНЫХ И КВАЛИФИКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

А.В. Шепилов, А.В. Ненашева, А.П. Исеев

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Физиологическая оценка физической работоспособности (ФР) спортсменов в зависимости от их возрастных и квалификационных характеристик имеет не только важное теоретическое значение в связи с расширением и углублением спектра полученных данных, но и прикладное значение с целью прогнозирования и моделирования адаптационных процессов и спортивной результативности. Исследование кислородтранспортных (вентиляционных, газообменных, циркуляции крови) значений позволяет выявить фоновые данные в предрабочем состоянии, выход на анаэробный порог в ступенчатой возрастающей нагрузке, установить резервные возможности системообразующих функций спортсменов. Особенно важно проведение таких исследований в мезоциклах заключительной подготовки к социально-значимым соревнованиям.

Ключевые слова: объемные характеристики, кислородный пульс, дыхательный коэффициент, спортивный онтогенез.

Актуальность. Отставание в спортивном плавании РФ от ведущих держав требует поиска и обоснования новых технологий подготовки (тренировка, восстановление). Это требует просмотра содержания тренировочного процесса в подготовительном периоде, использование нетрадиционных средств подготовки, включающей эффективные методы восстановления. К ним следует отнести двигательные действия специализированного характера, выполняемые в режиме аэробного порога (АЭП), технологии привыкания к работе в условиях гипоксии, отбор юных спортсменов, предрасположенных к виду спорта и специализации в нем.

Организация и методы исследования. В работе представлены результаты возрастных и квалификационных характеристик обследованных юных пловцов 11–12, 13–14 и 17–19 лет соответственно спортивных квалификаций III, II, I разрядов и званий КМС, МС. В исследовании применялась диагностирующая эргоспирометрическая система «Шиллер». Спортсмены обследовались в начале заключительного мезоцикла подготовки к соревнованиям. В исследовании соблюдались все условия физиологического эксперимента. Общее количество обследованных пловцов равнялось 37.

Результаты исследования и их обсуждение. В табл. 1 представлены результаты исследования пловцов высокой квалификации (МС, КМС).

Как следует из табл. 1, нагрузка при достижении анаэробного порога (АнП) варьировала и составляла $171,88 \pm 9,38$ Вт. Объем потребления O_2 последовательно увеличивался, достигая 1,65 л/мин при максимальной нагрузке. Соответственно возрастал объем относительно потребляемого кислорода (на 1 кг массы тела). При этом темпы измене-

ний анализируемых показателей соответственно были: 20,63; 1,09; 19,10 и 1,09 усл. ед. Объем выдыхаемого CO_2 последовательно увеличивался, составляя повышение в 24,50 раза и 1,16 раза. Значения дыхательного коэффициента возросли в 1,64 и 1,05 раза. При этом нагрузка от АнП до максимальной повысилась в 1,09 раза. Следовательно, пропорциональность показателей на пике нагрузок сохранялась. Однако обследуемые спортсмены исходно находились в диапазоне доминирования жирового питания ($RQ > 0,7$), что вызывает соединение кислорода с жирами, вместо двуокиси углерода образуется вода [1]. Что касается вентиляционных характеристик, то соответственно увеличивались: объем вдыхаемого воздуха в 19,40 раза и 1,15 раза; дыхательный объем в 2,8 и 1,09 раза; частота дыхания в 3,18 и 1,06 раза; отношение вентиляции физиологически мертвого пространства к дыхательному объему в 0,64 и 0,89 раза. Итак, среди факторов, определяющих легочную вентиляцию, объемы оказывали большее влияние на ее производные. У данной группы спортсменок при реакции O_2 с жирами большее количество кислорода соединяется с атомами водорода жира и вместо CO_2 образуется вода. При функциональном питании дыхательный коэффициент в модельных значениях равен 0,825 ед.

Значения газообмена изменялись следующим образом от состояния относительного покоя к АнП и максимальной нагрузке: эквивалент O_2 в 2,07 и 1,05 раза; эквивалент CO_2 в 1,75 и 1,00 раза; давление O_2 в конце вдоха в 1,31 и 1,02 раза; давление CO_2 в конце выдоха в 1,73 и 0,99 раза. Следовательно, в период повышения эргоспирометрической нагрузки газообменные сдвиги произошли

Таблица 1

Эргоспирометрические значения девушек-пловцов 17–19 лет (n = 12)

Параметры	Ед. измерен.	Показатель	АнП	Макс. нагр.	Показатель	АнП	Макс. нагр.
		M ₁	M ₁	M ₁	m ₁	m ₂	m ₃
Нагрузка	Вт	–	171,88	187,50	–	8,28	9,38
Объем потребляемого кислорода	л/мин	0,08	1,51	1,65	0,02	0,16	0,18
Объем потребляемого кислорода на 1 кг веса	мл/кг/мин	1,39	26,58	28,91	0,31	2,35	2,41
Объем выдыхаемого CO ₂	л/мин	0,06	1,47	1,70	0,01	0,18	0,19
Дыхательный коэффициент RER	усл. ед.	0,59	0,97	1,02	0,01	0,05	0,03
Кровообращение							
Частота сердечных сокращений	1/мин	81,75	172,75	179,38	2,63	3,13	4,00
Кислородный пульс	мл/уд.	0,99	8,73	9,18	0,19	0,96	0,99
Систолическое артериальное давление	мм рт. ст.	110,00	172,38	170,38	2,99	5,38	7,38
Диастолическое артериальное давление	мм рт. ст.	60,00	98,75	92,00	3,00	3,13	7,88
Вентиляция							
Объем вдыхаемого воздуха	л/мин	2,00	38,88	44,75	0,38	3,00	3,13
Дыхательный объем	л	0,45	1,26	1,37	0,03	0,13	0,14
Частота дыхания	1/мин	9,61	30,59	32,38	1,28	1,94	2,03
Отношение вентиляции физиологического мертвого пространства к дыхательному объему		98,25	63,00	56,38	0,95	2,63	5,63
Газообмен							
Эквивалент O ₂	усл. ед.	11,75	24,38	25,63	0,38	0,68	1,25
Эквивалент CO ₂	усл. ед.	14,25	25,00	25,00	0,25	0,45	0,88
Давление O ₂ в конце вдоха	мм рт. ст.	79,91	104,88	106,99	1,39	1,56	1,61
Давление CO ₂ в конце выдоха	мм рт. ст.	23,10	39,85	39,63	0,79	0,95	1,04

векторно к усилению кислородзависимых характеристик. Известно [2], что около $\frac{3}{4}$ потребляемого кислорода метаболизируется в углекислый газ. Соответственно выделение CO₂ (VCO₂) в покое составляет примерно 190 мл/мин, а отношение VCO₂/VO₂ (дыхательный коэффициент RQ=0,75...0,85 ед.). Пока кислород доставляется тканям в достаточном количестве для обеспечения мышечной работы VO₂ и VCO₂ растут пропорционально друг другу. При очень интенсивной работе потребление O₂ достигает такого уровня, когда реакции кровообращения не успевают его обеспечивать. Нами отмечались неадекватные реакции диастолического давления, низкие значения кислородного пульса, давления CO₂ в конце выдоха, лактаcid при максимальной нагрузке, исходно высокая ЧСС. Эти данные свидетельствуют о том, что на этом этапе подготовительного периода применяемые трени-

ровочные воздействия не соответствовали функциональным возможностям девушек-пловцов 17–19 лет.

Показатели частоты сердцебиений последовательно возрастали от покоя к АнП в 2,11 и от Ана к максимальной нагрузке в 1,04 раза соответственно. Кислородный пульс варьировал от 8,82 до 1,05 раза, систолическое АД в 1,57 и 0,99 раза. Диастолическое давление увеличилось в 1,65 и 0,93 раза.

Результаты исследования эргоспирометрических данных у пловцов высокого класса позволили заключить о наблюдаемой пропорциональности и некоторой десинхронизации изменений. Функциональная система в своей интегративной деятельности предполагает специфические автономные проявления адаптивных показателей. В порядке значимости эти сдвиги можно последовательно распределить: объемные значения O₂ и CO₂, парамет-

ры кровообращения, вентиляционные и газообменные характеристики. Наблюдается оптимальное соотношение энергообеспечения ($RQ = 0,71$) углеводного и жирового. Проявление лактацитоза во время нагрузки не наблюдалось.

Более приоритетно изменялись показатели вентиляционных эквивалентов O_2 и CO_2 , давления O_2 в конце вдоха и CO_2 в конце выдоха, отношений вентиляции физиологического мертвого пространства к дыхательному объему у девушек 13–14 лет по сравнению со взрослыми спортсменами.

Альвеолярная вентиляция является одним из главных факторов, определяющих величину концентрации O_2 и CO_2 в альвеолах, растворимые в тканях тела газы оказывают давление, потому что молекулы растворимого газа находятся в случайном движении и обладают кинетической энергией [1]. Парциальное давление газов в альвеолярном воздухе детерминирует переход молекул газа в альвеолярные капилляры, которые растворяются в кро-

ви. Скорость диффузии в жидкостях определяется растворимостью и молекулярной массой. Принимая диффузный коэффициент O_2 за единицу, относительные диффузные коэффициенты важных для процесса дыхания газов в жидкостях тела имеют следующие значения: кислород – 1,0; двуокись углерода – 20,3; азот – 0,53; гелий – 0,95 ед. Все участвующие в процессе дыхания газы легко растворимы в липидах и соответственно в клеточных мембранах. Газы диффундируют через тканевую воду. Учитывая, что дыхательный коэффициент свидетельствует о липидном энергообеспечении, можно полагать наличие недостаточной диффузии и абсорбции газов.

Результаты исследования эргоспирометрических показателей у девушек 13–14 лет представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, нагрузка при АНП составила $172,00 \pm 5,07$ Вт, а при максимальной нагрузке мощность была $175,00 \pm 5,27$ Вт, т. е. увеличи-

Таблица 2

Эргоспирометрические значения девушек-пловцов 13–14 лет ($n = 13$)

Параметры	Ед. измерен.	Показатель	АНП	Макс. нагр.	Показатель	АНП	Макс. нагр.
		M_1	M_1	M_1	m_1	m_2	m_3
Нагрузка	Вт	–	172	175	–	5,07	5,27
Объем потребляемого кислорода	л/мин	0,07	1,83	1,85	0,01	0,06	0,08
Объем потребляемого кислорода на 1 кг веса	мл/кг/мин	1,4	37,2	37,8	0,04	1,14	1,24
Объем выдыхаемого CO_2	л/мин	0,05	1,830	1,832	0,01	0,06	0,06
Дыхательный коэффициент RER	усл. ед.	0,71	0,92	0,99	0,01	0,07	0,09
Кровообращение							
Частота сердечных сокращений	1/мин	96	172	175	3,01	5,07	5,27
Кислородный пульс	мл/уд.	0,7	96	10,6	0,02	0,22	0,32
Систологическое артериальное давление	мм рт. ст.	115,84	172	170	2,78	3,07	3,37
Диастолическое артериальное давление	мм рт. ст.	76,45	78	76	1,98	2,29	2,19
Вентиляция							
Объем вдыхаемого воздуха	л/мин	2,0	52	56,0	0,06	1,27	1,57
Дыхательный объем	л	0,37	1,28	1,31	0,01	0,03	0,04
Частота дыхания	1/мин	11,0	40,5	40,83	112	1,22	0,33
Отношение вентиляции физиологического мертвого пространства к дыхательному объему		98	72	62	4,35	2,96	2,46
Газообмен							
Эквивалент O_2	усл. ед.	18,00	27	30,54	0,60	0,82	0,84
Эквивалент CO_2	усл. ед.	16,00	27	30,00	0,001	0,81	0,61
Давление O_2 в конце вдоха	мм рт. ст.	104,2	104,7	113,14	3,12	3,15	3,44
Давление CO_2 в конце выдоха	мм рт. ст.	29,7	38,1	40,89	3,15	4,15	5,19

Интегративная физиология

лось в 1,02 раза. При этом объем потребляемого O_2 соответственно от покоя к АНП и максимальной нагрузке увеличился в 26,14 и 26,43 раза, а на 1 кг массы тела в 26,57 и 1,02 раза. Объем выдыхаемого CO_2 возрастал соответственно в 36,60 и 1,00 раза, а дыхательный коэффициент был увеличен в 1,30 и 1,08 раза. Таким образом, у девушек-подростков (13–14 лет) по сравнению с девушками 17–19 лет наблюдались адекватные реакции периферических сосудов, объемных, вентиляционных и газообменных системообразующих характеристик интегративной деятельности организма. Приоритетно выглядели значения кислородного пульса, центральной гемодинамики подростков. Рост вентиляции был обусловлен преимущественно увеличением дыхательного объема. Давление CO_2 в конце выдоха у девушек 13–14 лет превышало значения взрослых спортсменов. Известно, что альвеолярное PCO_2 снижается обратно пропорционально легочной вентиляции и зависит от ско-

рости абсорбции или выделения газов и объема альвеолярной вентиляции [1].

Вентиляционные характеристики изменений в процессе функциональной пробы располагались следующим образом: объем выдыхаемого воздуха в 26,00 и 1,08 раза, частота дыхания в 3,67 и 1,01 раза, отношение вентиляции физиологически мертвого пространства к дыхательному объему в 0,73 и 0,86 раза. При этом значения газообмена возросли: по эквиваленту O_2 в 1,5 и 1,13 раза, эквиваленту CO_2 1,69 и 1,11 раза, давление O_2 в конце вдоха увеличилось в 1,04 и 1,08 раза, давление CO_2 в конце выдоха в 1,28 и 1,07 раза. Значения системы кровообращения соответственно изменялись следующим образом: частота сердечбиений увеличилась в 1,79 и 1,01 раза, кислородный пульс в 13,71 и 1,10 раза, систолическое АД в 1,48 и 0,99 раза, диастолическое АД в 1,02 и 0,97 раза.

Результаты обследования двух групп спортсменов показали, что в первой группе спортсменов

Таблица 3

Эргоспирометрические значения пловцов-девушек 11–12 лет (n = 15)

Параметры	Ед. измерен.	Показатель	АНП	Макс. нагр.	Показатель	АНП	Макс. нагр.
		M_1	M_1	M_1	m_1	m_2	m_3
Нагрузка	Вт	–	141,67	166,67	3,89	2,19	2,89
Объем потребляемого кислорода	л/мин	0,05	1,02	1,26	0,02	0,05	0,01
Объем потребляемого кислорода на 1 кг веса	мл/кг/мин	3,80	24,17	29,47	0,01	0,59	0,61
Объем выдыхаемого CO_2	л/мин	0,14	1,00	1,33	0,01	0,03	0,04
Дыхательный коэффициент RER	усл. ед.	0,93	0,98	1,05	0,01	0,02	0,05
Кровообращение							
Частота сердечных сокращений	1/мин	75,33	172,00	181,33	2,42	1,73	0,01
Кислородный пульс	мл/уд.	1,80	5,93	7,00	0,09	0,12	0,24
Систолическое артериальное давление	мм рт. ст.	115,36	158,67	162,00	5,43	5,98	6,47
Диастолическое артериальное давление	мм рт. ст.	75,34	86,00	88,33	0,81	2,08	4,51
Вентиляция							
Объем вдыхаемого воздуха	л/мин	4,00	27,33	36,33	0,01	1,46	1,73
Дыхательный объем	л	0,25	0,85	0,98	0,001	0,01	0,04
Частота дыхания	1/мин	18,20	33,00	37,20	0,62	1,92	1,94
Отношение вентиляции физиологического мертвого пространства к дыхательному объему		98,33	65,67	54,67	1,09	1,96	2,42
Газообмен							
Эквивалент O_2	усл. ед.	24,00	25,00	27,67	0,58	0,62	0,68
Эквивалент CO_2	усл. ед.	25,00	25,33	26,00	0,58	0,69	0,93
Давление O_2 в конце вдоха	мм рт. ст.	113,40	105,13	107,43	0,36	0,44	0,76
Давление CO_2 в конце выдоха	мм рт. ст.	27,50	37,87	38,50	0,60	0,66	0,82

применяемые нагрузки были тренером завышены и не соответствовали фоновому функциональному и метаболическому состоянию. Эквивалент O_2 был ниже аналогичного CO_2 .

Результаты обследования юных пловцов 11–12 лет представлены в табл. 3.

Как следует из табл. 3, объем потребляемого O_2 увеличивался от состояния относительного покоя к АНП в 20,40, а при максимальной нагрузке относительно значений при анаэробном пороге в 1,24 раза. Объем потребляемого O_2 на 1 кг массы тела соответственно изменялся в 6,36 и 1,22 раза. Объем выдыхаемого CO_2 в 7,14 и 1,33 раза. Дыхательный коэффициент в 1,05 и 1,07 раза. Усматривается сдвиг баланса энергообеспечения векторно к углеводам ($RQ = 1$). При максимальной нагрузке проявлялся лактоацидоз. Объем выдыхаемого воздуха изменялся соответственно в 6,83 и 1,33 раза, а дыхательный объем в 3,40 и 1,15 раза. Значения частоты дыхания в 1,81 и 1,13 раза. Отношение вентиляции физиологически мертвого пространства к дыхательному объему в 0,67 и 0,83 раза. Вентиляционный эквивалент O_2 в 1,04 и 1,11 раза, а CO_2 в 1,01 и 1,03 раза. Объем выделяемой через легкие двуокиси углерода в покое составила 104,17 % объема поглощаемого в легких кислорода. Давление O_2 в конце вдоха изменялось в 0,93 и 1,02 раза, а давление CO_2 в конце выдоха в 1,38 и 1,82 раза. Частота сердцебиений увеличивалась соответственно в 2,28 и 1,85 раза. Кислородный пульс повысился в 3,29 и 1,19 раза. Систolicкое АД возрастало соответственно в 1,37 и 1,03 раза, диastolicкое АД в 1,14 и 1,03 раза.

Объем выведенной через легкие двуокиси углерода составил 104,17 % объема поглощенного в легких кислорода. Дыхательный коэффициент сви-

детельствовал о доминировании углеводно-белкового энергообеспечения, что соответствует возрастным потребностям организма детей в стадии начала пубертатного развития. Потребление кислорода на 1 кг массы тела у младших подростков при максимальной нагрузке и в покое превосходил взрослых спортсменов и уступал подросткам 13–14 лет при достижении АНП и максимальной нагрузке. Можно полагать, что потребление O_2 зависит от возможностей кислородтранспортной системы и системы утилизации кислорода. Скелетные мышцы получают основную часть сердечного выброса в зависимости от интенсивности работы и количества вовлеченных мышечных групп до 80–90 %. Для получения необходимой энергии в работающих мышцах усиливается менее эффективный путь ее образования – анаэробный, приводящий к повышенной продукции лактата. Его взаимодействие с бикарбонатным буфером является источником дополнительного CO_2 , который стимулирует дыхание и вызывает рост легочной вентиляции [2].

Таким образом, в исследовании убедительно показано, что тренировочные воздействия неадекватные функциональным возможностям приводят к негативным результатам, требующим коррекции тренировочного процесса и биоуправления динамическим гомеостазом.

Литература

1. Гайтон, А.К. Медицинская физиология / А.К. Гайтон, Дж.Э. Холл / пер. с англ.; под ред. В.И. Кобрин. – М.: Логосфера, 2008. – 1296 с.
2. Руководство по функциональной диагностике болезней сердца: науч.-практ. пособие по кардиологии / под ред. проф. А.Л. Сыркина. – М.: Золотой стандарт, 2009. – 368 с.

Поступила в редакцию 22 января 2012 г.