

Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского
Серия «Биология, химия». Том 20 (59). 2007. № 3. С. 65-71.

УДК 612.769:796.015.572

ОСОБЕННОСТИ ГАЗООБМЕННОЙ ФУНКЦИИ ЛЕГКИХ У ПЛОВЦОВ РАЗЛИЧНОГО ВОЗРАСТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

Погодина С.В.

В статье изучаются возрастные особенности газообменных процессов в легких у пловцов при использовании физических нагрузок различной мощности. Рекомендуется использовать данные результатов исследований для оптимального дозирования физических нагрузок в тренировочном процессе юных пловцов.

Ключевые слова: физические нагрузки, возрастные особенности, газообмен в легких.

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень спортивных достижений в видах спорта, требующих проявления выносливости требует необходимого изучения и оценки функциональных возможностей систем и их функций, обеспечивающих организм кислородом [1]. Одной из основных физиологических систем, принимающих участие в кислородном обеспечении организма человека является система дыхания. Даже при условии высоких функциональных возможностей этой системы, выполнение многих видов физических упражнений (быстрый бег, плавание, при котором задерживается дыхание) связано с возникновением кислородного дефицита [2]. В свою очередь возрастные особенности дыхательных процессов диктуют своеобразные условия кислородному режиму организма юных спортсменов [3, 4]. Так, одним из основных процессов дыхания является обмен газов в альвеолах легких, обеспечивающий, за счет диффузии молекулярного кислорода и двуокиси углерода, необходимый для нормальной жизнедеятельности, уровень напряжения этих газов в артериальной крови [5]. Эффективность газообменных процессов во многом определяется их интенсивностью, которая при занятиях спортом может меняться в зависимости от степени внешнего воздействия (мощности физических нагрузок), возраста и квалификации спортсмена. Недостаточный учет данных факторов при дозировании физических нагрузок может привести к развитию гипоксических состояний у спортсменов, наступлению декомпенсированного утомления. Что в дальнейшем может оказаться на ухудшении состоянии здоровья и снижении уровня спортивных результатов [6]. Поэтому целью исследования стало изучение возрастных особенностей газообменной функции легких юных пловцов при использовании физических нагрузок различной мощности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях приняли участие 75 спортсменов в возрасте от 9 до 16 лет. Газообменную функцию изучали с помощью газоанализаторов типа ПГА-КМ, ПГА-ДУМ. Изучали следующие показатели: напряжение кислорода в выдыхаемом воздухе ($P_{\text{E}}\text{O}_2$, мм рт.ст.), напряжение двуокиси углерода в выдыхаемом воздухе ($P_{\text{E}}\text{CO}_2$, мм рт.ст.), коэффициент утилизации кислорода ($\Delta\text{FO}_2\text{,об. \%}$), скорость потребления кислорода (VO_2 , мл/мин), скорость выделения двуокиси углерода (VCO_2 , мл/мин), дыхательный коэффициент (R , усл.ед.), вентиляторный эквивалент по кислороду ($\text{B}\dot{\text{E}}\text{O}_2$, усл. ед.), кислородную стоимость дыхательного цикла (VO_2/\dot{f} , мл/мин/цикл.). Для нивелирования влияния на показатели функционального состояния легких ряда величин и внутренних факторов показатели газов приводили к условиям STPD (т.е. учитывалась температура воздуха, окружающее атмосферное давление, насыщение водяными парами). Исследования проводили как в состоянии покоя, так и при выполнении ступенчато-повышающейся нагрузки на велоэргометре. Полученные данные обрабатывали статистически.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Интенсивность и эффективность газообменных процессов может быть оценена по концентрации основных респираторных газов в пробах выдыхаемого воздуха. Результаты наших исследований показали, что усиление вентиляторной реакции в процессе выполнения нагрузочного теста сопровождалось повышением газообменной функции легких у спортсменов всех возрастных групп. Так, в группе пловцов в возрасте 9—10 лет скорость потребления кислорода возрастила в линейной зависимости от мощности выполнения работы (табл. 1).

Таблица 1.
Показатели газообменной функции легких у пловцов 9—10 лет в состоянии покоя
и при выполнении нагрузки ступенчато-повышающейся мощности (n=25)
 $(\bar{x} \pm S_x)$

№	Показатели	Мощность, Вт				
		0	25	50	75	100
1	$P_{\text{E}}\text{O}_2$, мм рт.ст.	123,2±2,3	117,6±2,3	115,3±3,7*	115,5±3,1*	115,1±3,0*
2	$P_{\text{E}}\text{CO}_2$, мм рт.ст.	21,0±1,2	24,3±1,8	27,0±2,1*	27,3±2,2*	26,9±2,3*
3	$\Delta\text{FO}_2\text{, об. \%}$	3,62±0,42	4,40±0,34	4,72±0,30*	4,71±0,32*	4,76±0,29*
4	VO_2 , мл/мин	431,8±24,7	1125,2±28,8**	1508,9±36,7**	2126,3±44,8*	2235,7±52,6
5	VCO_2 , мл/мин	349,1±19,4	871,8±21,7*	1210,8±34,1*	1732,4±40,3*	1765,4±42,1*
6	R , от.едн.	0,81±0,06	0,76±0,07	0,80±0,07	0,81±0,08	0,78±0,08
7	$\text{B}\dot{\text{E}}\text{O}_2$, л/мин	27,6±1,3	22,7±1,6*	21,2±1,8*	21,3±2,1*	21,0±2,0*
8	VO_2/\dot{f} , мл/мин/ЦИК.	23,9±2,2	42,6±2,7*	52,6±2,9*	54,8±3,3*	53,9±3,5*

Примечание: * - различия достоверны, относительно фоновых показателей.

ОСОБЕННОСТИ ГАЗООБМЕННОЙ ФУНКЦИИ ЛЕГКИХ У ПЛОВЦОВ

Если в состоянии покоя кислородный запрос организма составил $431,8 \pm 24,7$ мл/мин, то при нагрузке в 100 Вт он увеличился до $2235,7 \pm 52,6$ мл/мин ($p < 0,01$). Пропорционально интенсивности потребления кислорода возрастала и скорость выделения углекислого газа, которая к окончанию нагрузочного теста составила $1765,4 \pm 42,1$ мл/мин ($p < 0,01$). Однако усиление метаболических трат не способствовало изменению дыхательного коэффициента, величина которого практически оставалась одинаковой в течение всего нагрузочного теста. Одним из важнейших компонентов усиления газообменной функции легких является рост процента утилизации кислорода. Увеличение газообменной поверхности легких, в связи со значительным повышением объема альвеолярной вентиляции, обеспечивало повышение процентной величины утилизации кислорода с $3,62 \pm 0,42$ об.% в состоянии относительного мышечного покоя, до $4,76 \pm 0,29$ об.% ($p < 0,05$) при предельной физической нагрузке. Изменялось и напряжение основных респираторных газов в пробах выдыхаемого воздуха. Рост метаболических трат сопровождался снижением pO_2 в выдыхаемом воздухе с $123,2 \pm 2,3$ мм рт.ст. в покое, до $115,1 \pm 3,0$ мм рт.ст. ($p < 0,05$) при нагрузке в 100 Вт. Обратная динамика зарегистрирована относительно напряжения углекислого газа в выдыхаемом воздухе, величина которого увеличилась с $21,0 \pm 1,2$ мм рт.ст., до $26,8 \pm 2,3$ мм рт.ст. ($p < 0,05$) в конце нагрузочного теста. Мобилизация функциональных возможностей системы внешнего дыхания в процессе преодоления нагрузок ступенчато-повышающейся мощности сопровождалась ростом ее эффективности. Вентиляторный эквивалент по кислороду снижался с $27,6 \pm 1,3$ л/мл до $21,0 \pm 2,0$ л/мл, ($p < 0,05$). Кислородная эффективность дыхательного цикла напротив увеличивалась более чем в 2 раза ($p < 0,01$).

Значительная активация газообменной функции легких в процессе выполнения нагрузочного теста зафиксирована у спортсменов 11—13 лет (табл. 2). Увеличение метаболического запроса способствовало росту скорости потребления кислорода более чем в 5,4 раза и выделения углекислого газа в 5,6 раза. Значительные изменения наблюдались в газовом составе выдыхаемого воздуха. Напряжение кислорода прогрессирующее снижалось с $122,6 \pm 1,9$ мм рт.ст. в состоянии покоя, до $115,5 \pm 3,1$ мм рт.ст. ($p < 0,05$) при нагрузке в 150 Вт, а величина pCO_2 возрастала с $21,4 \pm 1,3$ мм рт.ст. до $28,5 \pm 2,3$ мм рт.ст. ($p < 0,05$) соответственно. Усиление интенсивности газообмена обеспечивалось повышением процентной величины утилизации кислорода, которая изменялась с $3,72 \pm 0,38$ об.% в состоянии покоя до $4,75 \pm 0,36$ об.% в конце нагрузочного тестирования. Несмотря на значительное увеличение объема легочной вентиляции, который ступенчато возрастал в соответствии с увеличивающейся нагрузкой, эффективность системы внешнего дыхания повышалась. На каждой последующей нагрузке организм из одного литра вентилируемого воздуха утилизировал кислорода больше чем на предыдущей. Возросла и относительная величина потребления кислорода приходящаяся на один дыхательный цикл. Если в состоянии покоя кислородная эффективность равнялась $23,5 \pm 1,8$ мл/мин, то на пике нагрузки она возросла до $56,8 \pm 4,8$ мл/мин/цикл ($p < 0,01$)

Таблица 2.

Показатели газообменной функции легких у пловцов 11—13 лет в состоянии покоя и при выполнении нагрузки ступенчато-повышающейся мощности (n=25)
 $(\bar{x} \pm S_x)$

№	Показатели	Мощность, Вт				
		0	50	75	100	125
1	P _E O ₂ , мм рт. ст.	126,2±1,9	116,9±2,7	115,2±2,60*	114,0±3,4*	115,5±3,1*
2	P _E CO ₂ , мм рт. ст.	21,4±1,3	25,7±2,0	27,1±2,1*	28,5±2,4*	28,5±2,3*
3	ΔFO ₂ , об. %	3,72±0,38	4,54±0,41	4,73±0,38*	4,96±0,40*	4,75±0,36*
4	VO ₂ , мл/мин	428,0±27,3	1230,3±31,8*	1624,9±46,2*	2057,3±48,4*	2322,7±56,7*
5	VCO ₂ , мл/мин	347,0±19,7	984,0±23,3*	1299,2±30,8*	1679,2±36,2*	1973,7±44,4*
6	R, от.едн.	0,81±0,04	0,80±0,03	0,80±0,04	0,81±0,05	0,85±0,04
7	ВЭО ₂ , л/мин	27,1±1,6	22,3±2,2*	21,2±2,2*	20,4±2,3*	21,1±2,5*
8	VO ₂ /f, мл/мин/цикл	23,5±1,8	43,5±3,2**	52,6±4,8**	56,9±5,0*	56,8±4,8*

Примечание: * - различия достоверны, относительно фоновых показателей.

Более выраженные изменения в газообменной функции легких наблюдались у спортсменов старшей возрастной группы (табл. 3). Преодоление нагрузок ступенчато-повышающейся мощности сопровождалось линейным увеличением скорости потребления кислорода с 646,4±29,7 мл/мин в состоянии покоя, до 2963,9±48,9 мл/мин, ($p<0,01$) при нагрузке 150 Вт. В результате значительной активизации метаболических реакций резко возросла элиминация углекислоты из организма. Скорость выведения углекислого газа на пике нагрузки увеличилась более чем в 4,0 раза. Активизация вентиляторной функции легких оказывала влияние на состав выдыхаемого воздуха. Отмечено снижение парциального давления кислорода в пробах выдыхаемого воздуха на каждой ступени нагрузочного теста. Так, если в состоянии покоя pO₂ равнялось 119,1±2,3 мм рт.ст., то при завершении физической работы снизилось до 108,4±3,3 мм рт.ст., ($p<0,05$), при этом напряжение углекислого газа увеличивалось. На последней ступени нагрузочного теста P_ECO₂ возросло более чем на 3,0 мм рт.ст., ($p<0,05$) по отношению к фоновым показателям. Реакции срочной адаптации сопровождались повышением эффективности системы внешнего дыхания, что проявлялось снижением количества вентилируемого воздуха, необходимого для обеспечения метаболического запроса организма, с 24,2±1,8 л/мл в состоянии покоя, до 19,3±2,4 л/мл, ($p<0,05$) при предельной физической нагрузке. Значительно возросло и количество потребляемого кислорода на единицу увеличения частоты дыхательных движений. Если в состоянии относительного покоя отношение VO₂/f составило 38,8±2,7 мл/мин/цикл., то на пике нагрузки достигло значений 122,6±5,1 мл/мин/цикл. ($p<0,01$).

ОСОБЕННОСТИ ГАЗООБМЕННОЙ ФУНКЦИИ ЛЕГКИХ У ПЛОВЦОВ

Таблица 3.

Показатели газообменной функции легких у пловцов 14—16 лет в состоянии покоя и при выполнении нагрузки ступенчато-повышающейся мощности
 $(\bar{x} \pm S\bar{x})$

№	Показатели	Мощность, Вт				
		0	75	100	125	150
1	P _E O ₂ , мм рт. ст.	119,1±2,3	111,2±2,5*	110,5±3,0*	109,8±3,2*	108,4±3,3*
2	P _E CO ₂ , мм рт. ст.	22,8±1,8	29,2±2,2*	29,9±2,3*	30,6±2,1*	33,6±2,4*
3	ΔFO ₂ , об. %	4,12±0,41	5,30±0,40*	5,44±0,38*	5,51±0,43*	5,82±0,47*
4	VO ₂ , мл/мин	646,4±29,7	1534,9±33,6*	1948,5±34,9*	2607,9±40,2*	2963,9±48,9*
5	VCO ₂ , мл/мин	504,2±20,3	1186,6±24,8*	1553,9±28,7*	2038,1±30,4*	2235,9±48,1*
6	R, от. един.	0,78±0,07	0,77±0,06	0,77±0,08	0,78±0,06	0,75±0,07
7	ВЭO ₂ , л/мин	24,2±1,8	18,9±2,0*	18,5±2,3*	18,3±2,2*	19,3±2,4
8	VO ₂ /f, мл/мин/цикл.	38,8±2,7	98,0±3,9*	113,1±4,6*	119,6±4,4*	122,6±5,1*

Примечание: * - различия достоверны, относительно фоновых показателей.

Анализ полученных результатов показал, что в состоянии относительного покоя у детей в возрасте 9—13 лет рO₂ выдыхаемого воздуха значительно превышает показатели, зарегистрированные у спортсменов старшей возрастной группы. Высокие значения P_EO₂ могут свидетельствовать об относительной гипервентиляции, снижающей эффективность газообмена. Уменьшение концентрации кислорода в выдыхаемом воздухе, свойственной пловцам 14—16 лет, связано с расширением возможностей для осуществления газообменной функции, в первую очередь за счет роста альвеолярной поверхности легких. Кроме того, эффективность вентиляции легких определяется соотношением глубины и частоты дыхания, при котором энергетические траты на вентиляцию 1 л воздуха минимальны [2, 18]. Снижение вентиляторного эквивалента у спортсменов 14—16 лет по отношению к подросткам 9—13 лет позволяет сделать вывод о расширении функциональных резервов системы внешнего дыхания в процессе адаптации к плавательным нагрузкам, что проявилось экономизацией вентиляторной функции в состоянии покоя. С повышением энергетических трат в процессе выполнения нагрузочного теста у спортсменов всех возрастных групп отмечалось усиление газообменных процессов в легких. Потребление кислорода и выделение углекислого газа увеличивались пропорционально интенсивности физической нагрузки. Однако, валовые показатели V_{O₂} и V_{CO₂} различались у спортсменов трех возрастных групп. Наиболее значительные энергетические траты были зарегистрированы у пловцов 14—16 лет. Известно, что уровень потребления кислорода прямо пропорционален объему легочной вентиляции и проценту утилизации кислорода. Усиление вентиляторной функции сопровождалось изменением газового состава выдыхаемого воздуха: рO₂ снижалось, а рCO₂, наоборот, возрастало. Низкие показатели P_EO₂ зафиксированы у спортсменов 14—16 лет на всех ступенях нагрузочного теста. Очевидно, повышение энергетического потенциала организма пловцов, связано не только с расширением возможностей вентиляторной функции, но и с повышением диффузационной способности легких.

Процент утилизации кислорода увеличился до $5,82 \pm 0,47$ об%, тогда как у более юных пловцов он не превышал значений $4,75 \pm 0,36$ об%. ($p < 0,01$). Повышение мощности системы внешнего дыхания в процессе онтогенетического развития и под влиянием плавательных нагрузок сопровождалось ростом ее эффективности. Энергетические траты по обеспечению вентиляции легких неуклонно снижались по мере взросления спортсменов. Вентиляторный эквивалент кислорода, как один из критериев эффективности, на каждой ступени нагрузочного теста был значительно ниже в группе спортсменов 14—16 лет. Очевидно, минимизация энергетических трат является важнейшей составляющей эффективной адаптации к физическим нагрузкам, базой, на основе которой формируется аэробный потенциал организма.

ВЫВОДЫ

1. Повышение мощности физических нагрузок вызывает неоднозначные изменения интенсивности газообмена у пловцов различного возраста. Это выражается в изменении скорости потребления и выделения основных респираторных газов (O_2 , CO_2), газового состава выдыхаемого воздуха, процентной величины утилизации O_2 , степени энергетических трат по обеспечению вентиляции легких.
2. Для пловцов младших возрастных групп, характерным является: большее, в сравнении со старшими пловцами, увеличение скорости потребления O_2 и выделения CO_2 на пике нагрузки относительно состояния покоя; высокие значения $P_{E}O_2$, свидетельствующие об относительной гипервентиляции и снижающие эффективность газообмена; высокие энергетические траты по обеспечению вентиляции легких; относительный низкий процент утилизации O_2 .
3. Для спортсменов 14-16 лет, напротив характерным является: низкие значения $P_{E}O_2$ (что связано с расширением возможностей для осуществления газообменной функции за счет роста альвеолярной поверхности легких); снижение энергетических трат на вентиляцию легких; повышение процентной величины утилизации O_2 .
4. Полученные данные позволяют использовать выявленные закономерности как физиологическое обоснование дозирования физических нагрузок в тренировочном процессе юных пловцов.

Список литературы

1. Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения. – К.: Олимпийская литература, 2004. – 808 с.
2. Савельев Б.Г., Ширяева И.С. Функциональные параметры системы дыхания у детей и подростков: Руководство для врачей. – М.: Медицина, 2001. – 232 с.
3. Возрастная физиология: (Физиология развития ребенка): Учеб. Пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / М.М.Безруких, В.Д.Сонькин, Д.А.Фарбер. – М.: Академия, 2002. – 416 с.
4. Колчинская А.З. Кислородные режимы организма ребенка и подростка. - К.: Наукова думка, 1973. - 320 с.
5. Основы физиологии функциональных систем. / Под ред. К.В.Судакова. - М.: Медицина, 1983. - 272 с.
6. Моногаров В.Д. Генез утомления при напряженной мышечной деятельности // Наука в олимпийском спорте. – 1994. – №1. – С.47-57.

ОСОБЕННОСТИ ГАЗООБМЕННОЙ ФУНКЦИИ ЛЕГКИХ У ПЛОВЦОВ

Погодіна С.В. Вікові особливості газообмінної функції легенів у плавців при використанні фізичних навантажень різної потужності. // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія хімія”. – 2007. – Т. 20 (59). – № 3. – С. 65-71.

У статті вивчаються вікові особливості газообмінних процесів у легенях плавців при використанні фізичних навантажень різної потужності. Рекомендується використовувати результати досліджень при оптимальному дозуванні фізичних навантажень у тренувальному процесі юних плавців.

Ключові слова: фізичні навантаження, вікові особливості, газообмін у легенях.

Pogodina S.V. Features of an exchange of gases in easy at the swimmers of various age at use of physical loadings of various capacity // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2007. – V.20 (59). – № 3. – P. 65-71.

In clause the intensity and efficiency of an exchange of respiratory gases in easy at the swimmers of various age is studied at use of physical loadings of various capacity. It is recommended to use the data of results of researches for an establishment of an optimum doze of physical loadings during trainings the young swimmers.

Keywords: physical loadings, age features, exchange of gases in easy.

Поступила в редакцію 20.09.2007 г.