

УДК 612.1+612.2]-053.7:612.766.1

## ОСОБЕННОСТИ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЮНОШЕЙ 19-20 ЛЕТ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВОВ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ

*Минина Е.Н.*

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия  
E-mail: cere-el@yandex.ua*

Проведено исследование 40 здоровых юношей 19-20 лет с разным уровнем функциональных резервов. Выявлена корреляционная зависимость между показателями ИН и  $pCO_2$  в выдыхаемом воздухе на пике регуляторного напряжения при прохождении точки респираторной компенсации (RCP) и вентиляторного ПАНО, что подтвердило значимость совершенствования функциональных взаимоотношений в понижении цены и повышении успешности адаптации.

**Ключевые слова:** функциональные резервы, нагрузочное тестирование, внешнее дыхание.

### ВВЕДЕНИЕ

Многоуровневая регуляция кардиореспираторной системы в обеспечении газового гомеостаза организма в процессе адаптации к физической нагрузке во многом определяется уровнем функциональных резервов и оптимальностью энергообеспечения [1]. При этом граница перехода приспособительных процессов в компенсаторные является подвижной, а её динамичность лимитируется не только морфо-функциональными ресурсами, но и особенностями регуляторных межсистемных взаимодействий. При анализе интегративного ответа на физическую нагрузку, вовлекающего респираторную, сердечно-сосудистую, кроветворную и мышечную системы [2, 3], важно знать изменения физиологических механизмов компенсации, участвующих в транспорте и утилизации кислорода, а также, количественно определять уровень регуляторной оптимальности в качестве адаптационного резерва [4, 5]. В таком случае, выявление скрытых звеньев приспособительного механизма при его компенсаторном значении может позволить своевременно и эффективно производить коррекцию у лиц с нарушением функционирования или с низкими функциональными резервами, а так же успешно выбирать реабилитационные и тренировочные технологии в спортивной и оздоровительной деятельности.

Так по данным [6], дисбаланс вентиляционного контроля со сниженными параметрами максимального потребления кислорода и гемодинамики, позволяет использовать его как маркер для стратификации больных ИБС с хронической сердечной недостаточностью.

Вероятно, при поддержании газового гомеостаза, у лиц с различным уровнем функциональных резервов, кардиореспираторная дисрегуляция при переходе на процессы компенсации выражена в разной степени.

В связи с вышесказанным, **целью** данной работы явилось выявление особенностей прохождения этапа вентиляционной компенсации у юношей 19-22 лет с разным уровнем функциональных резервов кардиореспираторной системы.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе факультета физической культуры и спорта ТНУ им. В.И.Вернадского в период с 15 сентября по 15 ноября 2013 года и на базе футбольного клуба «Таврия» в период с 3 июня по 25 июля 2013 года. Было обследовано 40 практически здоровых юношей в возрасте 19-20 лет с разным уровнем двигательной активности и уровнем тренированности. Первую группу составили 20 футболистов, у которых общий объём двигательной активности составляет не менее 2 часов в день., а во вторую группу вошли 20 студентов, не занимающиеся регулярно физическими упражнениями. Для решения поставленных задач проводились исследования кардиореспираторной системы в покое, при выполнении нагрузки и на 3 минуте восстановительного периода. С помощью велоэргометра моделировали ступенчато-возрастающую нагрузку мощностью 50 Вт, 100 Вт, 150 Вт, 200 Вт, 250 Вт. В течение нагрузочного теста исследовали параметры кардиогемодинамики с помощью метода импедансной реографии с использованием прибора Reo Com Standart. Анализировали ударный объём (УО, мл) и систолическую (Ас, мВ) и диастолическую (Ад, мВ) амплитуды. Вычисляли диастолический индекс (DI, ед.) по формуле  $DI = Ad / Ac$ . С помощью капнографа «Еламед» определяли частоту дыхания (ЧД, ед), содержание углекислоты в выдыхаемом воздухе (РЕТСO<sub>2</sub>, мм рт. ст.). Используя спирограф «Спиро» измеряли объём дыхания за минуту (VE, л), пиковую объёмную скорость (PEV л/с), уровень максимальной вентиляции (MVC, %), процент утилизации кислорода (ΔFO<sub>2</sub>, об%). С помощью газоанализатора «КП-01» определяли скорость выделения углекислого газа (VCO<sub>2</sub>). Расчитывали вентиляторный эквивалент (ВЭСO<sub>2</sub>,ед.) по углекислому газу по формуле  $VE/VCO_2$ , ед., отражающий объём минутной вентиляции необходимый для выделения 1 л CO<sub>2</sub>. Точку респираторной компенсации (RCP), которая характеризует переход на преимущественно анаэробное энергообразование и отражает вентиляционный порог анаэробного обеспечения (ПАНО), определяли по динамике вентиляторного эквивалента (момент резкого усиления вентиляции по отношению к VCO<sub>2</sub>).

Дополнительно измеряли показатели variability сердечного ритма и анализировали резервы миокарда с использованием прибора «ФАЗАГРАФ®». Исследовались следующие функциональные показатели: индекс вагосимпатического баланса (LF/HF, ед), показатель индекса напряжения регуляторных систем (ИН, ед).

Анализ полученных результатов проводился с использованием программы STATISTICA V.6.0. Для оценки достоверности отличий, после предварительной проверки нормальности распределения использовали t-критерий Стьюдента,

критерий Манна-Уитни и критерий Вилкоксона. Корреляционный анализ проводили с использованием критерия ранговой корреляции Спирмена.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе были определены межгрупповые различия функциональных резервов кардиореспираторной системы. Как известно, аэробные возможности определяются совокупностью функционирования физиологических систем организма, обеспечивающих поступление кислорода и его утилизацию в тканях, а показатель МПК является интегральным маркером функциональных резервов кардиореспираторной системы. В нашем исследовании у юношей первой группы его значения превысили значения показателя МПК второй группы на 33,3 % ( $p < 0,001$ ), достигая уровня относительного МПК  $50,1 \pm 1,1$  мл/мин/кг. При этом, динамика показателей кардиогемодинамики у спортсменов при ступенчато-возрастающей нагрузки указывала на экономичность и эффективность функционирования сердечно-сосудистой системы (табл.1). На фоне гипокINETического типа кровообращения (СИ –  $2,6 \pm 0,1$  л/(мин • м<sup>2</sup>)) и менее выраженного прироста ЧСС при выполнении нагрузки 250 Вт у спортсменов отмечалось сохранение оптимальной диастолической функции миокарда и стабильный УИ. Восстановительный период у исследованных спортсменов характеризовался стабилизацией ЧСС, а во второй группе значения ЧСС на 55,2 % ( $\leq 0,001$ ), превышали исходные показатели в покое.

**Таблица 1**  
**Показателей кардиогемодинамики в группах юношей 19-20 лет с разным уровнем тренированности при увеличении внешней нагрузки, ( $\bar{x} \pm Sx$ ), n=40**

Показатели	Гр	Условия						
		покой	50 Вт	100 Вт	150 Вт	200 Вт	250 Вт	восст
ЧСС, уд/мин	1	59,7±3,5	63,4±3,1	73,5±2,1	90,1±2,5	116,3±3,5	132,1±3,0	67,6±2,1
	2	71,5±3,1 **	83,0±2,9 ***	97,0±3,5 ***	134,1±3,2 **	151±3,1 ***	172±4,1 ***	111,4±3,2 ***
УИ, усл.ед.	1	56,6±4,0	60,1±3,1	57,1±6,1	55,7±5,5	51,4±4,9	50,0±4,1	51,8±4,1
	2	29,1±4,1* **	34,6±4,8 ***	33,4±4,9 ***	34,1±5,2 ***	34,2±4,8 **	31,1±3,9 ***	23,9±3,2 ***
DI, ед	1	0,40±0,01	0,40±0,01	0,41±0,01	0,37±0,03	0,35±0,01	0,33±0,01	0,4±0,01
	2	0,59±0,01 ***	0,59±0,01 ***	0,60±0,01 ***	0,57±0,01 ***	0,54±0,01 ***	0,49±0,01 ***	0,61±0,01 ***

Примечание: \*- различия показателей достоверны по сравнению с группой 1 ( $p < 0,05$ ); \*\* - ( $p < 0,01$ ); \*\*\* - ( $p < 0,001$ ); 1- группа спортсменов, 2- группа студентов-неспорсменов.

Эргоспирометрия обеспечивает глобальную оценку интегративного ответа на физическую нагрузку, вовлекающего легочную, сердечно-сосудистую, кроветворную и мышечную системы [7]. С её помощью было оценено состояние физиологических механизмов компенсации органов и систем, участвующих в транспорте и утилизации кислорода у исследуемых обеих групп. В результате сравнительного анализа резервов системы дыхания исследуемых обеих групп можно отметить отсутствие различий в резервах мощности по показателю PEV, л/с. При этом было зафиксировано превышение значений резервов мобилизации по показателю отношения легочной вентиляции к уровню максимальной вентиляции ( $VE/MVC$ , %) на 13,5 % ( $< 0,05$ ) и резервов эффективности по показателю процента утилизации кислорода ( $\Delta FO_2$ , об%) на 17,4 % ( $< 0,05$ ) у исследуемых спортсменов первой группы (рис.1.).

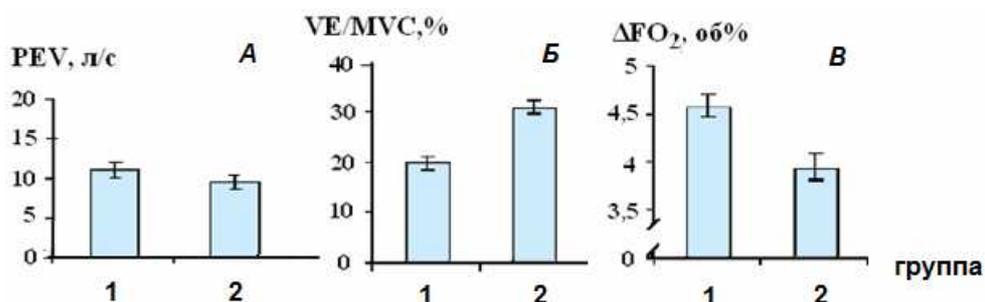


Рис.1. Сравнительная характеристика резервов мощности (А), мобилизации (Б) и эффективности (В) системы внешнего дыхания у исследуемых первой (1) и второй (2) групп при выполнении нагрузки 150 Вт

С целью оценки оптимальности регуляции по показателю ваго-симпатического баланса определяли тип вегетативного тонуса и тип дыхания в зависимости от содержания  $CO_2$  в выдыхаемом воздухе. Большинство (73,5 %) спортсменов первой группы была присуща ваготония и 74,8 % имело нормокапнический тип дыхания, а оставшаяся часть (26,5 % и 25,2% соответственно) проявляла признаки нормотонии и гиперкапнии. В группе студентов количество лиц с нормокапническим типом составило 50 %, гипокапнический тип имело 20 % обследуемых, гиперкапнический тип 30 %, что сопровождалось перераспределением вегетативного тонуса в сторону симпатикотонии у 41 % исследуемых, нормотонии- у 40 % и ваготонии – у 19 % (рис.2.).

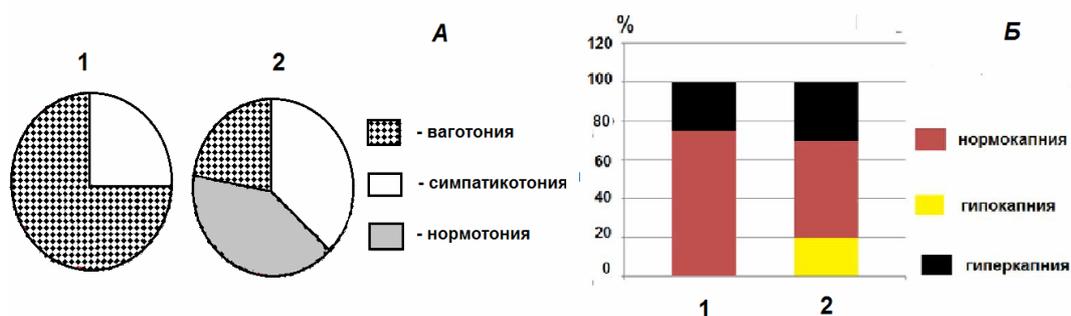


Рис.2. Распределение типов вегетативного тонуса (А) и типов дыхания (Б) в группах юношей 19-20 лет с разным уровнем функциональных резервов кардиореспираторной системы

При этом динамика напряжения регуляторных механизмов по показателю ИН свидетельствовала о значительном его приросте у исследуемых 2 группы (табл.2).

Таким образом, расширение функциональных резервов кардиореспираторной системы у юношей 19-20 лет сопровождалось оптимизацией регуляторных механизмов и характеризовалось низкими значениями ИН при увеличении внешней нагрузки (табл.2).

Таблица 2

Динамика индекса напряжения (ИН) и его корреляционной взаимосвязи с показателем  $PE\text{TCO}_2$  ( $R$  ИН- $PE\text{TCO}_2$ ) в группах юношей 19-20 лет с разным уровнем функциональных резервов кардиореспираторной, ( $x \pm Sx$ ),  $n=40$

Группа	Показатели	Покой	50 Вт	100 Вт	150 Вт	200 Вт	250 Вт	Вос-ние 3 мин
1	ИН, ед	58	65	55	68	71	<b>140</b>	87
	$R$ ИН- $PE\text{TCO}_2$	-	-	-	-	-	0,61§	-
2	ИН, ед	98	71	84	<b>190**</b>	<b>210***</b>	<b>305**</b>	<b>350**</b>
	$R$ ИН- $PE\text{TCO}_2$	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: различия показателей между группами по критерию Манна-Уайта: \*\*- ( $p < 0,01$ ), \*\*\*- ( $p < 0,001$ ); достоверность ранговой корреляции Спирмена: §- ( $p < 0,05$ ); различия показателей относительно покоя по критерию Вилкоксона: *курсив*- ( $p < 0,05$ ).

Как видно из таблицы 2 степень напряжения механизмов регуляции по показателю ИН значимо различалось в группах на последних ступенях нагрузочного тестирования. Выявление особенностей компенсаторных механизмов в процессе адаптации составили второй этап исследований.

Как известно, значительное снижение  $VE\text{CO}_2$  при увеличении мощности выполняемой нагрузки расценивается как порог перехода организма на

неэкономичный режим работы, поскольку с развитием утомления в функционирующих тканях истощаются запасы бикарбонатов, уменьшается буферная емкость крови, что, вероятно, могло являться одним из лимитирующих факторов дальнейшего выполнения мышечной нагрузки (рис.3.)

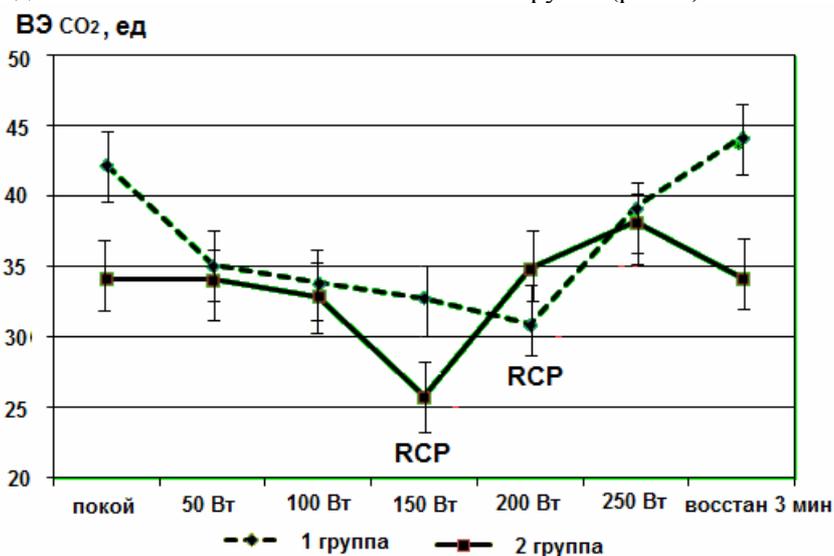


Рис.3. Динамика ВЭСО<sub>2</sub> в группах у спортсменов (1) и студентов (2) 19-20 лет при росте мощности физической нагрузки и при восстановлении  
Примечание: RCP - точка респираторной компенсации

На рисунке 3 видно что в покое ВЭСО<sub>2</sub> у спортсменов выше на 16 % ( $p < 0,05$ ) по сравнению со студентами 2 группы. Этот показатель у студентов начиная с 1 нагрузки падает незначительно, достигает пика снижения при нагрузке мощностью 150 Вт на 51% ( $p < 0,05$ ), а при нагрузке 200 Вт увеличивался на 61 % ( $p < 0,05$ ) относительно предыдущий ступени нагрузочного теста. Такое изменение в динамике указывало на точку респираторной компенсации (RCP) или момент усиления вентиляции по углекислоте (дыхательная компенсация) на фоне непрерывно возрастающей физической нагрузки в ответ на развитие ацидоза в крови, который, в свою очередь, возникает благодаря лимиту возможностей буферных систем крови. Прохождение вентиляторного порога анаэробного обмена (ПАНО) у исследуемых 2 группы сопровождалось ростом напряжения регуляторных механизмов почти в два раза ( $p < 0,05$ ), не снижающегося на последующих нагрузках и в восстановительном периоде. При этом у исследуемых первой группы, которую составили тренированные юноши, прохождение RCP и вентиляторного ПАНО регистрировалось на нагрузке большей мощности 200 Вт. При этом рост регуляторного напряжения по показателю ИН почти в два раза ( $p < 0,05$ ) было зафиксировано только при выполнении нагрузки мощностью 250 Вт. Вероятно оптимальность регуляторного ответа у юношей с большими функциональными ресурсами способствовала осуществлению адекватного

вентиляторного контроля в переходных режимах функционирования, а выявленная корреляционная зависимость между показателями ИН и напряжением CO<sub>2</sub> (R=0,61) в выдыхаемом воздухе на пике регуляторного напряжения (табл.2) подтверждает значимость совершенствования функциональных взаимоотношений в понижении цены и повышении успешности адаптации.

Таким образом, эффективность вентиляторного контроля у юношей 19-20 лет обеспечивается уровнем функциональных резервов, с ростом которых степень выраженности адаптационного напряжения и компенсаторных трат снижается.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Расширение функциональных резервов кардиореспираторной системы у юношей 19-20 лет сопровождалось оптимизацией регуляторных механизмов и характеризовалось низкими значениями ИН при увеличении внешней нагрузки;
2. У исследуемых первой группы, которую составили тренированные юноши, прохождение РСР и вентиляторного ПАНО регистрировалось на нагрузке мощности 200 Вт, а рост регуляторного напряжения почти в два раза ( $p<0,05$ ) по показателю ИН при выполнении нагрузки мощностью 250 Вт;
3. Прохождение РСР и вентиляторного ПАНО у исследуемых 2 группы было выявлено при выполнении нагрузки мощностью 150 Вт и сопровождалось ростом напряжения регуляторных механизмов почти в два раза ( $p<0,05$ ), не снижающегося на последующих нагрузках и в восстановительном периоде;
4. Выявленная корреляционная зависимость между показателями ИН и напряжением CO<sub>2</sub> в выдыхаемом воздухе на пике регуляторного напряжения (R=0,61) подтверждает значимость совершенствования функциональных взаимоотношений в понижении цены и повышении успешности адаптации.

#### **Список литературы**

1. Агаджанян Н. А. Проблемы адаптации и учение о здоровье / Н. А. Агаджанян, Р. М. Баевский, А.П. Берсенева – М.: Изд-во РУДН, 2006. –284 с)
2. American Thoracic Society / American College of Chest Physicians ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing // Clinical Respiratory diseases and Critical Care Medicine. - 2003. - Vol. 167. - P. 211-277.
3. Balady, G.J. Clinicians Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults. A Scientific Statement From the American Heart Association / G.J. Balady, R. Arena, K. Sietsema // Circulation. - 2010. - № 122. - P. 191-225.
4. Standards for the use of cardiopulmonary exercise testing for the functional evaluation of cardiac patients: a report from the Exercise Physiology Section of the European Association for Cardiovascular
5. Prevention and Rehabilitation / A. Mezzania, P. Agostonib, A. Cohen-Solad [et al.] // European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. - 2009. -№. 16. - P. 249-267.
6. Жилукас Г., Брожайтене Ю. Физиология человека, 2006.-N 4.-С.24-28
7. Balady, G.J. Clinicians Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults. A Scientific Statement From the American Heart Association / G.J. Balady, R. Arena, K. Sietsema // Circulation. - 2010. - № 122. - P. 191-225.

**CHARACTERISTICS VENTILATION CONTROL YOUNG MEN 19-20 YEARS  
WITH DIFFERENT LEVELS FUNCTIONAL RESERVE  
CARDIORESPIRATORY SYSTEM**

*Minina E.N.*

*Tavrida National V.I. Vernadsky University, Simferopol, Russia  
E-mail: cere-el@yandex.ua*

A study of 40 healthy young men 19-20 years with different levels of functional reserves. To achieve the objectives of research carried out in the rest of the cardiorespiratory system, when the load on the 3-minute recovery period. Using simulated ergometer step-increasing workload. Was to reveal that the expansion of the functional reserves of the cardiorespiratory system in young men 19-20 years old accompanied by optimization of regulatory mechanisms and characterized by low values of stress index (SI) with increasing external load. A correlation between the indicators SI and pCO<sub>2</sub> in the exhaled air at the peak of the voltage regulator during the passage of the respiratory compensation point (RCP) and the anaerobic threshold (ANT) - (R = 0,61), which confirmed the importance of improving the functional relationships in lowering prices and increasing success adaptation. We trained young men, passing RCP fan and ANTs recorded on the load capacity of 200 watts. Passage of the RCP fan and ANTs have studied with lower reserves have been identified in the performance of the load capacity of 150 watts, and accompanied by increased tension of regulatory mechanisms under the group of athletes is almost two times (p < 0.01), does not reduce in subsequent loads and for recovery period.

**Keywords:** functional reserves, stress testing, external respiration, respiratory compensation point.

**References**

1. Aghajanian N.A., Baevskii R.M., Berseneva A.P. Problems of adaptation and learning about health. *Publishing House of the People's Friendship University*, 284 (2006).
2. American Thoracic Society. American College of Chest Physicians ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing. *Clinical Respiratory diseases and Critical Care Medicine*. **167**. 211-277, (2003).
3. Balady G.J., Arena R., Sietsema K. Clinicians Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults. A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*, **122**, 191-225. (2010).
4. Standards for the use of cardiopulmonary exercise testing for the functional evaluation of cardiac patients: a report from the Exercise Physiology Section of the European Association for Cardiovascular
5. Mezzania A., Agostonib P., Cohen-Solad A. [et al.] Prevention and Rehabilitation. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*., **16**, 249-267, (2009).
6. Žiliukas G., Brozhaytene Yu. *Fiziologiya human*, **4**, 24-28, (2006).
7. Balady, G.J., Arena R., Sietsema K. Clinicians Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults. A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*, **122**, 191-225, (2010).

*Поступила в редакцию 09.11.2014 г.*