

### ВОЗМОЖНОСТИ СПИРОВЕЛОЭРГОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОБЫ В ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У ФИЗИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЛИЦ

Захаревич А. А.<sup>1</sup>, Кузикевич А. С.<sup>2</sup>, Доценко Э. А.<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр спорта», г. Минск, Республика Беларусь;

<sup>3</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет», г. Минск, Республика Беларусь

**Реферат.** Велоэргометрическая проба с измерением показателей газообмена диагностическое исследование, предоставляющее дополнительную информацию о функциональном состоянии сердечно-сосудистой и дыхательной систем, а также уровне физической работоспособности. Данный метод является надежным диагностическим инструментом для выявления ограничения работоспособности (нарушения толерантности к физической нагрузке) при отсутствии клинических проявлений, а также уточнения причин функциональных нарушений.

**Цель работы** — оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы и уровня работоспособности у физически активных лиц. Приведены данные тестирования 37 представителей различных видов спорта. Результаты исследования демонстрируют гендерные различия показателей эргоспирометрии, в т. ч. пикового потребления кислорода, кислородного пульса, потребления кислорода и выделения углекислого газа на уровне порога анаэробного обмена.

**Ключевые слова:** спировелоэргометрия, функциональное состояние, сердечно-сосудистая система, физическая работоспособность, пиковое потребление кислорода.

**Введение.** Одним из методов оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы является спировелоэргометрия (далее — спироВЭП). СпироВЭП — современная высокотехнологичная диагностическая методика, также предоставляющая информацию о функциональном состоянии дыхательной системы и об уровне физической работоспособности (ФР) (с определением порога анаэробного обмена, максимального потребления кислорода) [1–3]. При спироВЭП измеряются следующие основные показатели в течение каждого дыхательного цикла: потребление кислорода ( $VO_2$ ), выдыхаемый углекислый газ ( $VCO_2$ ) и вентиляционные параметры. Объединение этих данных с электрокардиографическими параметрами, частотой сердечных сокращений (ЧСС), результатами эхокардиографии и уровнем артериального давления (АД) дает много ценной диагностической информации, интерпретация которой помогает в лечении сложных сердечно-сосудистых и легочных заболеваний [4].

По мнению ВОЗ, максимальное потребление кислорода (далее — МПК) является одним из наиболее информативных показателей функционального состояния кардиореспираторной системы, ее резервов, аэробного потенциала организма и уровня здоровья. МПК характеризует высшую границу доступного организму уровня окислительных процессов, предельно усиленных мышечной работой [5].

Показатели максимального/пикового потребления кислорода позволяют не только точно определить выносливость среди спортсменов, занимающихся различными видами спорта, но и судить об аэробной тренированности, функциональном состоянии и состоянии здоровья в каждом конкретном случае. Показатели порога анаэробного обмена (ПАНО) хорошо предсказывают физическую подготовленность в однородной группе спортсменов и могут быть использованы тренерами как инструмент для оценки и контроля уровня выносливости и степени тренированности [6].

На сегодняшний день спироВЭП недостаточно широко применяется в практике спортивной медицины. До настоящего времени не разработаны протоколы проведения таких тестов и критерии оценки полученных данных.

**Материалы и методы.** Исследования проводились на базе РНПЦ спорта Республики Беларусь в лаборатории медико-биологических исследований. В тестировании принимали участие спортсмены, занимающиеся различными видами спорта ( $n = 37$ ), из них 25 (67,6 %) юношей и 12 (32,4 %) девушек. Возраст испытуемых составил от 16 до 21 года. Период подготовки — подготовительный.

СпироВЭП проведена по протоколу со ступенчатовозрастающей нагрузкой. Мощность первой ступени составила 100–125 Вт, длительность каждой ступени — 2 мин. Во время теста осуществлялось мониторирование ЭКГ, ЧСС, АД на каждой ступени, показателей газоанализа. Критерий остановки пробы: отказ спортсмена от дальнейшего выполнения физической нагрузки в связи максимальным утомлением либо до появления общепринятых критериев прекращения нагрузочных исследований [7]. Проба с физической нагрузкой осуществлялась на системе эргоспирометрии Schiller. Заболеваний сердечно-сосудистой,

дыхательной и других систем, которые могли бы повлиять на результаты спироВЭП, данная группа испытуемых не имела. Статистическая обработка данных выполнялась с помощью пакета программ «Statistica 5.0» и MS Excel. Для сравнения показателей использовался непараметрический критерий Манна–Уитни. Результаты считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** При проведении спироВЭП случаев остановки пробы по медицинским показаниям не отмечено. Нарушения ритма или проводимости, а также диагностически значимая девиация сегмента ST во время пробы не зарегистрированы.

Значения медиан (Me) с интерквартильным размахом (далее — ИКР) показателей ЧСС и АД, а также показателей физической работоспособности по результатам спироВЭП представлены в таблице 1.

Таблица 1. — Показатели физической работоспособности при спироВЭП

Показатели	Юноши (n = 25)		Девушки (n = 12)	
	Me	ИКР	Me	ИКР
ЧСС исходно сидя, уд/мин	85	80; 92	85	79; 98
АДс исходно сидя, мм рт. ст.	125*	120; 130	115	110; 120
АДд исходно сидя, мм рт. ст.	80*	80; 80	70	70; 80
ЧСС мах, уд/мин	180*	170; 186	168,5	161,5; 178,5
АДс мах, мм рт. ст.	200*	190; 220	177,5	170; 180
АДд мах, мм рт. ст.	70	50; 80	60	60; 65
Время работы, мин	16*	14; 16	10	9; 11
Объем выполненной работы, кгм	20400*	16800; 20400	9000	7800; 10350
Максимально достигнутая мощность нагрузки, Вт	300м	275; 300	200	187,5; 212,5
Максимально достигнутая мощность нагрузки на кг, Вт/кг	3,19*	3,03; 3,45	2,84	2,696; 3,18
% от максимальной возрастной ЧСС	89	84; 92	88	82,5; 90,5
* — $p < 0,05$ .				

Исходная ЧСС в положении сидя на велоэргометре у юношей и девушек составила 85 уд/мин. Показатели исходного систолического АД (АДс) и диастолического АД (АДд) у юношей — 125 и 80 мм рт. ст., что достоверно ( $p < 0,05$ ) выше, чем у девушек (115 и 70 мм рт. ст.). На пике нагрузки у юношей значение ЧСС достигло 180 уд/мин, что достоверно ( $p < 0,05$ ) выше, чем у девушек — 168,5 уд/мин. Также достоверные ( $p < 0,05$ ) различия выявлены по показателям максимально достигнутого АДс — 200 и 177,5 мм рт. ст. у юношей и у девушек соответственно. Показатели АДд у юношей и девушек на пике нагрузки достоверных отличий не имели и составили соответственно 70 и 60 мм рт. ст.

Для оценки физической работоспособности анализировались следующие показатели: время работы, объем выполненной работы, максимально достигнутая мощность нагрузки, мощность нагрузки в пересчете на килограмм массы тела, % от максимальной возрастной ЧСС.

Практически все показатели общей работоспособности у юношей достоверно превышают показатели девушек этой же возрастной группы. По результатам спироВЭП уровень ФР у юношей оценен как «выше среднего» и «высокий», у девушек — «средний» и «выше среднего». Максимально достигнутая мощность в тесте составила 300 и 200 Вт соответственно. Значение максимально достигнутой мощности в тесте у юношей было выше на 33,3 %, чем у девушек ( $p < 0,05$ ). При этом по величине коэффициента работоспособности, рассчитанного для каждой из групп с учетом массы тела спортсменов, выявлены достоверные ( $p < 0,05$ ) различия. У юношей данный показатель был выше на 11 % и составил 3,19 Вт/кг, а у девушек — 2,84 Вт/кг. Такая же закономерность выявлена при анализе объема выполненной работы в тесте (в абсолютных значениях и с учетом массы тела спортсменов). Объем выполненной работы в тесте у юношей составил 20400 кгм, у девушек — 9000 кгм ( $p < 0,05$ ).

Показатели газоанализа, зарегистрированные у юношей и девушек при проведении спироВЭП, представлены в таблице 2.

Таблица 2. — Специфические показатели газоанализа

Показатели	Юноши		Девушки	
	Ме	ИКР	Ме	ИКР
Время ПАНО, мин	11,1*	9,2; 13,2	7,65	6,5; 9,1
ЧСС при RER = 1, уд./мин	167	154; 178	160,5	156; 164
VO <sub>2</sub> ПАНО, мл/мин	3048*	2772; 3704	2167	1664; 2588
VCO <sub>2</sub> ПАНО, мл/мин	3124*	2830; 3732	2183	1666; 2604
RER peak	1,09	1,03; 1,15	1,09	1,01; 1,18
VO <sub>2</sub> на пике нагрузки, мл/мин	3620*	3164; 3848	2598	2135; 2795
VCO <sub>2</sub> на пике нагрузки, мл/мин	3920*	3586; 4106	2591	2282; 2791
КП на пике нагрузки, мл/уд./мин	20,2*	18; 22,2	15,5	12,75; 16,85
VO <sub>2</sub> peak, мл/мин/кг	39,5*	38,34; 42,93	35,841	33,09; 37,31
* — p<0,05.				

У юношей время ПАНО составило 11,1 мин; это значение достоверно ( $p>0,05$ ) выше, чем у девушек (7,65 мин). Также достоверные различия ( $p<0,05$ ) выявлены при анализе показателей потребления кислорода и выделения углекислого газа на уровне ПАНО (VO<sub>2</sub>ПАНО, VCO<sub>2</sub>ПАНО). У юношей эти значения соответственно составили 3048 и 3124 мл/мин, у девушек — 2167 и 2183 мл/мин.

Абсолютные значения VO<sub>2</sub> и VCO<sub>2</sub> на пике нагрузки у юношей достоверно ( $p<0,05$ ) выше, чем у девушек. Значение первого показателя у юношей — 3620 мл/мин, у девушек — 2598 мл/мин, второго — 3920 и 2591 мл/мин соответственно. Значения кислородного пульса (КП) на пике нагрузки у юношей составили 20,2 мл/уд/мин, что достоверно ( $p<0,05$ ) выше, чем у девушек — 15,5 мл/уд/мин.

МПК у юношей составило 39,5 мл/мин/кг, что достоверно ( $p<0,05$ ) выше, чем у девушек — 35,84 мл/мин/кг. По результатам спироВЭП уровень физического здоровья по соотношению фактической и должной величины МПК у юных спортсменов оценен как высокий. Уровень ФР по величине МПК у юношей оценен как «выше среднего», у девушек — «средний».

**Заключение.** Результаты проведенного исследования демонстрируют гендерные различия показателей пикового потребления кислорода, кислородного пульса, потребления кислорода и выделения углекислого газа на уровне порога анаэробного обмена у юных атлетов.

Показатели спироВЭП (максимальное потребление кислорода, порог анаэробного обмена и кислородный пульс) являются объективными и информативными для оценки общей физической работоспособности и функционального состояния сердечно-сосудистой системы спортсменов.

Для дальнейшей корректной оценки функционального состояния кардиореспираторной системы и физической работоспособности юных спортсменов необходимо проведение спироВЭП в динамике.

#### Литература

1. Биктимирова, А. А. Применение кардиореспираторного тестирования в спортивной медицине / А. А. Биктимирова, Н. В. Рылова, А. С. Самойлов // *Практ. медицина.* — № 3 (79). — 2014. — С. 50–53.
2. Возможности кардиопульмонального нагрузочного тестирования в оценке физической работоспособности и функционального состояния дыхательной системы у здоровых лиц / Л. Б. Постникова [и др.] // *Вестн. современ. клинич. медицины.* — 2015, № 1. — С. 35–42.
3. Clinical Recommendations for Cardiopulmonary Exercise Testing Data Assessment in Specific Patient Populations / M. Guazzi [et. al.] // *Circulation.* — 2016. — Vol. 133, № 24. — P. 694–711.
4. Кардиопульмональное нагрузочное тестирование в клинической практике / О. Б. Кербиков [и др.] // *Клин. практика.* — 2012. — № 2. — С. 58–70.
5. Мустафина, М. Х. Кардиореспираторный нагрузочный тест / М. Х. Мустафина, А. В. Черняк // *Атмосфера. Пульмонология и аллергология.* — 2013. — № 3. — С. 56–62.
6. Определение пикового потребления кислорода: физиологические основы и области применения / Н. Н. Колосова, К. В. Шаталов, Л. А. Бокерия // *Креативная кардиология.* — 2014, № 1. — С. 48–57.
7. Exercise Standards for Testing and Training A Scientific Statement From the American Heart Association / G. F. Fletcher [et. al.] // *Circulation.* — 2013. — Vol. 128, № 8. — P. 873–934.

## **A CAPABILITY OF SPIROVELOERGOMETRY IN THE ASSESSMENT OF FUNCTIONAL CONDITION OF CARDIOVASCULAR SYSTEM IN PHYSICALLY ACTIVE PERSON PERSONS**

*Zakharevich A. L.<sup>1</sup>, Kuzikevich A. S.<sup>2</sup>, Dotsenko E. A.<sup>3</sup>*

*<sup>1-3</sup>State Educational Institution “Republican scientific and practical center of sport”, Minsk, Republic of Belarus;*

*<sup>3</sup>Educational Establishment “The Belarusian State Medical University”, Minsk, Republic of Belarus*

The article examines of the use of spirometry in young athletes to assess physical health and functional condition of cardiovascular system. The study's result demonstrate gender differences in the indicators of peak oxygen consumption, oxygen pulse, oxygen consumption and carbon dioxide exhalation at the level of anaerobic metabolism threshold of young athletes. The authors demonstrated own results of spirometry in healthy persons.

**Keywords:** spirometry, functional condition, cardiovascular system, physical working capacity, maximal oxygen consumption.

Поступила 25.07.2018