

УДК 616-092.12

ПАРАМЕТРЫ ЭРГОСПИРОМЕТРИИ ПРИ БРОНХОСПАЗМЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ, ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ С ФРАКЦИЕЙ NO В ВЫДЫХАЕМОМ ВОЗДУХЕ У ЛЫЖНИКОВ И БИАТЛОНИСТОВ

¹Никитина Л.Ю., ¹Петровский Ф.И., ²Соодаева С.К.

¹БУ ВО ХМАО-Югры «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия», Ханты-Мансийск, e-mail: hmgmi2006@mail.ru;

²ФГБУ «НИИ пульмонологии» ФМБА России, Москва, e-mail: pulmo_fmba@mail.ru

Изучены параметры эргоспирометрии у лыжников и биатлонистов с бронхоспазмом, вызванным физической нагрузкой, а также исследована взаимосвязь между данными показателями и интенсивностью респираторной продукции NO в данных видах спорта. Обследовано 52 лыжника и биатлониста в возрасте $18,8 \pm 0,6$ лет. Эргоспирометрическое исследование выполнялось на аппарате Oxycon Mobile (Jaeger, Германия) с использованием тредмил-теста. Для выявления БФН исходно и через 1, 5 и 10 минут после нагрузочного теста проводилась форсированная спирометрия. Определение фракции NO в выдыхаемом воздухе ($NO_{\text{выд}}$) также выполнялось до и после нагрузки. В группе спортсменов мужского пола выявлены достоверно большие эргоспирометрические показатели (VE, VO_2). Определена взаимосвязь некоторых показателей, характеризующих аэробную емкость, с $NO_{\text{выд}}$ у спортсменов (VO_2 , мл/мин/кг & $NO_{\text{выд}}$, $rs = 0,4$; $p < 0,05$; $VO_2/ЧСС$, абс & $\Delta NO_{\text{выд}}$, $rs = -0,5$; $p < 0,05$). Спортсмены с БФН продемонстрировали достоверно большие показатели VE на уровне анаэробного порога и $VO_2/ЧСС, \%$. Установлено пороговое значение VE (AP) = 110 л/мин, превышение которого может рассматриваться в качестве дополнительного параметра скрининга БФН при прогностической ценности отрицательного результата 71,4%. Заключение. Спортсмены с уровнем минутной вентиляции на уровне анаэробного порога 110 л/мин и более формируют группу риска по развитию БФН. Определена положительная взаимосвязь между параметрами аэробной производительности и фракцией NO в выдыхаемом воздухе.

Ключевые слова: спортсмены, бронхоспазм физической нагрузки, фракция NO в выдыхаемом воздухе, эргоспирометрия

CARDIOPULMONARY FUNCTIONAL PARAMETERS IN SKIERS AND BIATHLONISTS WITH EXERCISE-INDUCED BRONCHOCONSTRICTION, THE RELATIONSHIP OF THESE DATA WITH FRACTIONAL EXHALED NO IN WINTER SPORTS

¹Nikitina L.Y., ¹Petrovskiy F.I., ²Soodaeva S.K.

¹Khanty-Mansiysk state medical academy, Khanty-Mansiysk, e-mail: hmgmi2006@mail.ru;

²Scientific research institute of pulmonology, Moscow, e-mail: pulmo_fmba@mail.ru

The purpose of the study – to investigate cardiorespiratory parameters in skiers and biathlonists with exercise-induced bronchoconstriction (EIB), to search for the relationship between these indicators and the intensity of respiratory NO production in sports. Materials and methods. 52 skiers and biathlonists aged $18,8 \pm 0,6$ years were examined. Cardiopulmonary exercise testing (CPET) was performed using Oxycon Mobile (Jaeger, Germany) in treadmill-test with the assessment of oxygen uptake (VO_2), voluntary ventilation (VE), oxygen pulse (VO_2/HR), anaerobic threshold (AT) etc. EIB was screened by baseline and post-exercise forced spirometry at 1st, 5th and 10th minute after the test. Pre- and post-exercise fractional exhaled NO levels (FeNO) were studied. Results. In males athletes significantly greater CPET functional parameters were identified (VE, VO_2). The correlation between aerobic capacity parameters and FeNO was noticed (VO_2 , ml/min/kg & FeNO, $rs = 0,4$; $p < 0,05$; VO_2/HR , abs & $\Delta FeNO$, $rs = -0,5$; $p < 0,05$). EIB-positive athletes demonstrated significantly higher ventilation rate at the anaerobic threshold and oxygen pulse rate. The level of VE at the anaerobic threshold ≥ 110 l/min may be considered as an additional EIB screening tool with negative predictive value of 71,4%. **Conclusion.** The level of VE at the anaerobic threshold ≥ 110 l/min is the risk factor of EIB development. A positive correlation between CPET functional parameters and FeNO level was estimated.

Keywords: athletes, exercise-induced bronchoconstriction, fractional exhaled nitric oxide (FeNO), cardiopulmonary exercise testing

Проблема бронхоспазма, вызванного физической нагрузкой, (БФН) является наиболее актуальной у лиц, занимающихся спортом [1]. Распространенность астмы и БФН среди спортсменов значительно выше, чем в популяции в целом (3–5%) и составляет порядка 25% [2]. Объективным критерием БФН служит снижение

объема форсированного выдоха за секунду ($ОФВ_1$) на 10% и более во время или после нагрузки [1–3].

Согласно полученным ранее результатам исследования метаболизма NO у лыжников и биатлонистов, установлено достоверное повышение его продукции в респираторном тракте спортсменов

в сравнении с индивидами, не занимающимися профессиональным спортом [1]. Вероятной причиной данных изменений служит активизация адаптивных NO-зависимых механизмов защиты от внешних воздействий. Так, NO-опосредованная бронходилатация, активация мукоциллиарного клиренса, бронхопротективные свойства соединения в отношении БГР [4, 5] приобретают решающее значение в условиях повторяющейся гипервентиляции с иссушением и охлаждением поверхности респираторного тракта спортсменов, в особенности представителей аэробных зимних видов спорта. Спортсмены с диагностированным БФН характеризовались достоверно меньшими исходными значениями фракции NO в выдыхаемом воздухе ($NO_{\text{выд}}$), что, вероятно, является одной из причин развития БФН, вследствие недостаточной реализации вышеописанной NO-зависимой бронхопротекции.

С практической точки зрения важное значение для оптимизации тренировочного процесса в аэробных циклических видах спорта имеет мониторинг кардиореспираторной выносливости с определением ключевых параметров аэробной мощности и емкости. В этой связи интерес представляет исследование особенностей параметров эргоспирометрии у представителей данных видов спорта с бронхоспазмом, вызванным физической нагрузкой, а также поиск взаимосвязи между данными показателями и интенсивностью респираторной продукции NO.

Материалы и методы исследования

Обследование лыжников и биатлонистов, воспитанников детско-юношеских спортивных школ олимпийского резерва со стажем занятий спортом ≥ 3 лет, проводилось в условиях лабораторной при комнатной температуре ($n = 52$). Средний возраст обследованных спортсменов составил $18,8 \pm 0,6$ лет, количество юношей и девушек, включенных в исследование, было сопоставимо.

Все спортсмены проходили эргоспирометрическое исследование («Oxcon Mobile», Jaeger, Германия) с оценкой следующих показателей: максимальная минутная вентиляция (VE_{max}), максимальное потребление кислорода (VO_2_{max}), в том числе на уровне анаэробного порога (VO_2 (AT)), максимальный кислородный пульс (VO_2/HR_{max}). Определение анаэробного порога (AT) выполняли методом V-slope [6]. Тестирование проводили в соответствии с рекомендациями Американского торакального общества с использованием тредмила [1]. Продолжительность стандартного теста составляла 8 мин, на протяжении 2 минут спортсмен достигал субмаксимальной частоты сердечных сокращений (ЧСС), рассчитанной по формуле: $220 - \text{возраст (лет)}$. Далее в течение 6 мин нагрузку поддерживали на уровне, необходимом для сохранения достигнутого уровня ЧСС [1, 3].

Показатели функции внешнего дыхания (ФВД, MasterScreen Pneumo, Jaeger) оценивались исходно, на 1, 5-й, 10-й минуте после физической нагрузки.

БФН регистрировался при снижении показателя ОФВ1 после нагрузки на 10% и более [1, 2].

Исходно и после теста с нагрузкой определялась фракция оксида азота в выдыхаемом воздухе ($NO_{\text{выд}}$), ppb (анализатор CLD 88, Eco Medics совместно с устройством, освобождающим вдыхаемый воздух от оксида азота Denox 88). Процедура проводилась согласно рекомендациям ATS/ERS, 2005 [7].

Статистическую обработку результатов проводили при помощи пакета программ «Statistica for Windows 10,0». Данные представлены в виде средних арифметических значений со стандартной ошибкой среднего и 95% доверительными интервалами. Для оценки различия средних в попарно несвязанных выборках применяли U-критерий Манна – Уитни, в связанных выборках – критерий Вилкоксона. Степень взаимосвязи между признаками оценивали, вычисляя коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Разницу значений считали значимой при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Эффективная организация тренировочного процесса в профессиональном спорте невозможна без использования объективных методик тестирования, в частности эргоспирометрии. В настоящем исследовании кардиореспираторное тестирование было применено с целью изучения показателей аэробной емкости, а также поиска взаимосвязей между данными показателями и продукцией $NO_{\text{выд}}$ в дыхательных путях лыжников и биатлонистов.

В группе спортсменов мужского пола выявлены достоверно большие эргоспирометрические показатели тренированности (табл. 1). Более высокие показатели у мужчин были, безусловно, ожидаемы вследствие половых различий по антропометрическим параметрам.

Определена взаимосвязь некоторых показателей, характеризующих аэробную емкость, с $NO_{\text{выд}}$ у спортсменов (табл. 2).

Также имели место положительные корреляции вышеуказанных эргоспирометрических маркеров аэробной емкости с основными параметрами функции внешнего дыхания (ФЖЕЛ, ОФВ₁, ПСВ; $rs = 0,6$ $p < 0,01$).

При сравнении эргоспирометрических показателей спортсменов с наличием и отсутствием БФН выявлены значимые отличия по параметрам максимальной вентиляции и кислородного пульса (табл. 3).

Наряду с вышеуказанными различиями важным результатом анализа параметров эргоспирометрии у лыжников и биатлонистов в зависимости от наличия/отсутствия синдрома БФН служит установленное пороговое значение VE (АП) = 110 л/мин, превышение которого может рассматриваться в качестве дополнительного параметра скрининга БФН при прогностической ценности отрицательного результата 71,4%.

Таблица 1

Сравнительная характеристика эргоспирометрических параметров спортсменов и спортсменок по результатам лабораторного тредмил-тестирования

Показатель	Общее значение	Спортсмены $m \pm S_e$	Спортсменки $m \pm S_e$	p
VE, л	115,4 ± 4,0	134 ± 4,2	94,0 ± 2,8	p < 0,001
VE (АП), л	103,5 ± 5,1	120,1 ± 4,2	82,7 ± 6,0	p < 0,001
ЧД, в мин	45,7 ± 0,8	46,8 ± 1,3	44,5 ± 0,9	p = 0,064
ЧД, %	110,5 ± 2,0	112,6 ± 3,1	108,0 ± 2,4	p = 0,142
РД, абс	26,6 ± 2,0	24,2 ± 2,4	29,3 ± 3,1	p = 0,151
РД, %	84,9 ± 8,2	76,3 ± 10,4	94,8 ± 12,9	p = 0,142
VO _{2max} , мл/мин	3189,4 ± 112,4	3702,0 ± 131,6	2603,7 ± 67,8	p < 0,001
VO ₂ (АП), мл/мин	3018,9 ± 157,9	3470,4 ± 192,3	2454,4 ± 146,8	p < 0,001
VO ₂ , мл/мин/кг	49,8 ± 1,4	54,7 ± 1,7	44,2 ± 1,7	p < 0,001
VO ₂ /ЧСС (АП)	25,8 ± 5,9	24,4 ± 3,2	27,9 ± 4,4	p = 0,011
VO ₂ /ЧСС, абс.	20,4 ± 1,3	24,0 ± 1,9	15,7 ± 1,0	p < 0,001
VO ₂ /ЧСС, %	154,6 ± 7,5	155,2 ± 10,5	153,8 ± 10,7	p = 0,988
VCO _{2max} , мл/мин	3141,1 ± 104,3	3660,2 ± 97,8	2547,8 ± 75,7	p = 0,011
VCO ₂ (АП), мл/мин	2937,3 ± 138,3	3489,8 ± 127,8	2345,3 ± 120,1	p = 0,011

Примечания: m – среднее значение; S_e – стандартная ошибка среднего; VE – максимальная минутная вентиляция легких; АП – анаэробный порог; ЧД – частота дыхания; РД – резерв дыхания; VO_{2max} – максимальное потребление кислорода; VO₂/ЧСС – кислородный пульс; VCO_{2max} – максимальное содержание CO₂ в выдыхаемом воздухе.

Таблица 2

Взаимосвязь показателей эргоспирометрии и фракции NO_{выд} у спортсменов

Показатели	Коэффициент ранговой корреляции Спирмена (Rs)	p
VO _{2max} , мл/мин & NO _{выд} ²	0,4	< 0,05
VO ₂ , мл/мин/кг & NO _{выд} ¹	0,3	< 0,05
VO ₂ , мл/мин/кг & NO _{выд} ²	0,4	< 0,05
VO ₂ /ЧСС, абс & NO _{выд} ¹	0,4	< 0,05
VO ₂ /ЧСС, абс & Δ NO _{выд}	-0,5	< 0,05
VO ₂ /ЧСС, % & Δ NO _{выд}	-0,5	< 0,01

Примечания: Rs – коэффициент корреляции Спирмена; 1 – до нагрузки; 2 – после нагрузки.

Эргоспирометрия, или кардиореспираторное нагрузочное тестирование, позволяет одновременно оценивать основную функцию сердечно-сосудистой и дыхательной систем, заключающуюся в газообмене между клетками и окружающей средой (или аэробную работоспособность) [6, 8]. Исследование газообмена – определяющий подход для понимания механизмов, лимитирующих работоспособность, поскольку нагрузка требует совместной реакции сердечной и лёгочной систем для поддержания

мышечного дыхания, необходимого для ее выполнения.

Основной функцией сердечно-сосудистой и дыхательной систем является поддержание клеточного дыхания. Слаженность взаимодействия функционирования этих систем отражена в потреблении кислорода (O₂) и выделении углекислоты (CO₂) в ответ на определенный уровень работы и их отношение к частоте сердечных сокращений, вентиляции и друг к другу (рис. 1).

Таблица 3

Сравнительная характеристика эргоспирометрических параметров спортсменов в зависимости от наличия БФН по результатам лабораторного тредмил-тестирования

Показатель	БФН (+) $m \pm S_e$	БФН (-) $m \pm S_e$	p
VE, л	124,4 ± 8,2	113,1 ± 4,5	p = 0,18
VE (АП), л	104,9 ± 5,8	98,4 ± 5,5	p < 0,05
ЧД _{max} , в мин	44,4 ± 1,5	46,1 ± 1,0	p = 0,46
ЧД _{max} , %	109,1 ± 4,3	110,8 ± 2,3	p = 0,75
РД, абс.	33,2 ± 4,9	24,8 ± 2,0	p = 0,09
РД, %	118,4 ± 17,3	76,6 ± 8,9	p = 0,05
VO _{2max} , мл/мин	3493,7 ± 231,3	3113,4 ± 126,3	p = 0,22
VO ₂ (АП), мл/мин	3421,4 ± 289,2	2878,0 ± 181,0	p = 0,16
VO ₂ /ЧСС, %	129,4 ± 4,2	160,5 ± 8,8	p < 0,05
VO ₂ /ЧСС мл/мин/кг (АП)	22,4 ± 4,0	27,1 ± 8,1	p = 0,57

Примечания: m – среднее значение; S_e – стандартная ошибка среднего; VE – максимальная минутная вентиляция легких; АП – анаэробный порог; ЧД – частота дыхания; РД – резерв дыхания; VO_{2max} – максимальное потребление кислорода; VO₂/ЧСС – кислородный пульс; VCO_{2max} – максимальное содержание CO₂ в выдыхаемом воздухе.



Рис. 1. Схема зубчатых колес: взаимосвязь клеточного и внешнего дыхания (К. Wasserman) [8]

Большинство показателей, определяемых методом эргоспирометрии, являются неинвазивными и могут быть проведены в современной функционально-диагностической лаборатории, какой и является лаборатория функциональной диагностики спортсмена. Аэробная работоспособность, определяемая при кардиореспираторном тестировании спортсменов, является не только базисом для демонстрации высоких спортивных достижений, но и средством наилучшего и быстрого восстановления спортсменов после физических нагрузок.

Аэробная работоспособность особенно важна в циклических видах спорта. Высокие аэробные способности спортсмена – ключевой фактор восстановления как после длительной работы небольшой интенсивности, так и после мощных кратко-

временных нагрузок. В процессе анаэробных (рывковых, силовых кратковременных) нагрузок накапливаются продукты распада, для восстановления которых, а также для процессов суперкомпенсации требуется поступление достаточного количества кислорода. Успешная ликвидация «кислородного долга» – залог процессов восстановления и тренированности спортсмена. Таким образом, дыхательные (аэробные) процессы являются фундаментом для развития анаэробных систем [8].

Основными показателями аэробной выносливости являются максимальное потребление кислорода (VO_{2max}) и анаэробный порог (АП). VO_{2max} представляет собой самое высокое потребление кислорода, которое может быть достигнуто в процессе динамической нагрузки при задействовании больших

групп мышц. Очевидно, что наивысший лимит утилизации O_2 является одним из показателей физической формы или тренированности [8]. Он определяется максимальным сердечным выбросом, PO_2 крови, фракцией распределения сердечного выброса в работающие мышцы и возможностью экстракции мышцами O_2 [8]. У тренированных спортсменов для обеспечения должным количеством кислорода требуется легочная вентиляция, достигающая на пике физической нагрузки до 200 мл/мин и выше. Но тем не менее, фактором, лимитирующим аэробную работоспособность, наиболее часто является сердечно-сосудистая система.

Анаэробный порог – наивысшая интенсивность нагрузки, ЧСС или потребления кислорода при работе большой группы мышц, в течение которой производство лактата равно его утилизации [6, 8]. Он представляет собой уровень потребления кислорода (VO_2) во время физической нагрузки, при которой аэробное производство энергии дополняется анаэробным энергопроизводством, что явля-

ется отражением повышения уровня лактата и соотношения лактат/пируват в мышце и артериальной крови [6, 8]. Для оценки производительности сердечной мышцы применяют такой показатель, как кислородный пульс нагрузки, представляющий собой потребление кислорода на одно сердечное сокращение ($VO_2/ЧСС$), тренд которого в значительной мере отражает ударный объем сердца [8].

В настоящем исследовании кардиореспираторное тестирование было проведено в условиях лаборатории с целью изучения показателей аэробной емкости, а также с целью поиска взаимосвязей между данными показателями и продукцией NO в дыхательных путях лыжников и биатлонистов. В группе спортсменов мужского пола выявлены большие эргоспирометрические показатели тренированности. Полученные достоверные различия связаны с разницей в антропометрических параметрах у спортсменов, представителей различного пола, имеющих определяющее значение для показателей газообмена на фоне нагрузки.



Рис. 2. Последовательность событий, приводящих к БФН, и механизмы развития БФН у атлетов (справа). (Anderson S.D., Kippelen P., 2005) [10]: ЖВДП – жидкость, выстилающая дыхательные пути; БГР – бронхиальная гиперреактивность; ПГ – простагландины; ЛТ – лейкотриены

При сопоставлении параметров, характеризующих аэробную работоспособность, с фракцией $\text{NO}_{\text{выд}}$ у спортсменов определены положительные корреляции $\text{VO}_{2\text{max}}$, мл/мин/кг с исходным и постангрузочным $\text{NO}_{\text{выд}}$. Следовательно, уровень фракции $\text{NO}_{\text{выд}}$ находится в прямой взаимосвязи с основным критерием аэробной работоспособности атлета. Эти результаты являются приоритетными и не представлены в ранее опубликованных работах. В данном контексте следует обратиться к исследованию Verges S. и соавт., свидетельствующему об участии NO в процессе газообмена [9]. Определена отрицательная взаимосвязь между показателем динамики $\Delta\text{NO}\%$ и значениями кислородного пульса спортсменов.

Заключение

Таким образом, лучшие функциональные параметры сердечно-сосудистой системы, отражающие эффективность доставки кислорода в ткани, ассоциированы с более выраженным постангрузочным снижением фракции NO выдоха. Эти результаты настоящего исследования также получены впервые. При сравнении эргоспирометрических показателей спортсменов с наличием и отсутствием БФН выявлена достоверно большая минутная вентиляция легких VE на уровне анаэробного порога. Это важный и приоритетный результат работы, подтверждающий главенствующую роль механизма повышения осмолярности жидкости, выстилающей дыхательные пути в патогенезе БФН (рис. 2).

В свою очередь, повышение параметра VE определяет выраженность и скорость этих изменений. Выполненный анализ позволил сформулировать пороговое значение VE (АП) = 110 л/мин, превышение которого может рассматриваться в качестве дополнительного параметра скрининга БФН при прогностической ценности отрицательного результата 71,4%. Значимо меньший уровень кислородного пульса у спортсменов с БФН, вероятно, характеризует менее эф-

фективную доставку кислорода на периферию в условиях повышенной нагрузки на сердечно-сосудистую систему при бронхообструкции.

Список литературы/References

1. An Official American Thoracic Society clinical practice guideline: exercise-induced bronchoconstriction. *Am J Respir Crit Care Med* 2013; 187(9): 1016–1027.
2. Weiler J.M., Anderson S.D., Randolph C. Pathogenesis, prevalence, diagnosis, and management of exercise-induced bronchoconstriction: a practice parameter. Joint Task Force of the American Academy of Allergy, Asthma and Immunology; the American College of Allergy, Asthma and Immunology and the Joint Council of Allergy, Asthma and Immunology. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2010; 105(6): 1–47.
3. Anderson S.D., Kippelen P. Assessment and prevention of exercise-induced bronchoconstriction. *Br J Sports Med* 2012; 46(6): 391–396.
4. Riccardolo F.L.M., Sterk P.J., Gaston B., Folkerts G. Nitric Oxide in health and disease of the respiratory system. *Physiol Rev.* 2004; 84: 731–765.
5. Riccardolo F.L.M. Multiple roles of nitric oxide in the airways. *Thorax* 2003; 58: 175–182.
6. ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2003; 167: 211–277.
7. ATS/ERS Recommendations for Standardized Procedures for the Online and Offline Measurement of Exhaled Lower Respiratory Nitric Oxide and Nasal Nitric Oxide. 2005. *Am J Respir Crit Care Med* 2005; 171: 912–930.
8. Wasserman K., Hansen J., Sue D., Stringer W., Whipp B. Principles of exercise testing and interpretation including pathophysiology and clinical applications. 4th edn. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia. 2005; 585 p.
9. Verges S., Flore P., Favre-Juvin A., Lévy P., Wuyam B. Exhaled nitric oxide during normoxic and hypoxic exercise in endurance athletes. *Acta Physiol Scand* 2005; 185(2): 123–131.
10. Anderson S.D., Kippelen P. Exercise-induced bronchoconstriction: Pathogenesis. *Curr Allergy Asthma Rep* 2005; 5: 116–122.

Рецензенты:

Корчин В.И., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой нормальной и патологической физиологии БУ ВО ХМАО-Югры, ХМГМА, г. Ханты-Мансийск;

Коркин А.Л., д.м.н., доцент, заведующий кафедрой госпитальной терапии с курсом скорой и неотложной медицинской помощи БУ ВО ХМАО-Югры, ХМГМА, г. Ханты-Мансийск.

Работа поступила в редакцию 16.12.2014.