

ЗНАЧЕНИЕ ГАЗООБМЕННОЙ ФУНКЦИИ ЛЕГКИХ В МЕХАНИЗМЕ РАЗВИТИЯ МЕТАБОЛИЧЕСКОГО АЦИДОЗА И МЫШЕЧНОГО УТОМЛЕНИЯ

Н.П.Красников, А.П.Шишкалова

Мышечное утомление как временное снижение физической работоспособности человека и его функционального состояния изучается с давних пор [1,2]. Большое внимание при этом уделяется центрально корковому аппарату, определяющему функции двигательного анализатора [3]. Однако энергетика мышц может быть ограничена функциями внешнего дыхания [4], поскольку в состоянии утомления снижается диффузионная способность легких [5], газообмен [6], максимальное потребление кислорода [7], кроме того, мышечная деятельность сопровождается развитием глубокого метаболического ацидоза, что может служить препятствием на пути к высоким спортивным достижениям [8].

В отношении механизма развития метаболического ацидоза под влиянием мускульной работы имеются различные мнения. Впервые предположение о причине накопления молочной кислоты в сокращающихся мышцах высказал А.Хилл [9]. Он указал на возможность снижения притока кислорода в клетки функционирующих тканей в самом начале мышечной деятельности, поскольку дыхательная система не в состоянии сразу обеспечить повышенный кислородный запрос. С тех пор было опубликовано большое количество работ по этому поводу [10,11]. Однако никто не смог представить убедительных доказательств, раскрывающих возможность возникновения кислородного долга, провоцирующего развитие гипоксии в тканях. Напротив, появились работы, авторы которых показывают, что под влиянием спорта гипоксия не возникает [12], что концепция о кислородном долге не корректна [13], что такие понятия как алактатный и лактатный кислородный долг не имеют под собой научной основы [14], что скорость образования молочной кислоты не зависит от потребления кислорода [15].

Учитывая наличие различных суждений по данной проблеме, мы, проводя исследования, ставили задачу определить значение газообменной функции легких в механизме развития метаболического ацидоза. Каждый раз применялся метод тестирования с постепенным ступенчатым повышением нагрузки до полного утомления, исключающий возможность развития гипоксии, поскольку кислородный долг может возникать лишь при резком усилении мышечной активности. Непосредственно во время работы у спортсменов регистрировали потребление кислорода ($\dot{V}O_2$), выделение углекислого газа ($\dot{V}CO_2$), дыхательный коэффициент (ДК), уровень органических кислот (ВЕ). По данным кислотно-основного состояния крови (КОС) определяли порог анаэробного обмена и лактатную кривую, характеризующую зависимость накопления молочной кислоты от величины преодолеваемой нагрузки.

Как показали исследования, мышечная работа ступенчато-повышающейся мощности приводила к усилению дыхательной функции. Обмен легочной вентиляции прогрессирующе увеличивался и достигал на последней ступени тестирования $130,4 \pm 10,2$ л/мин, что способствовало в целом повышению газообмена. Потребление кислорода увеличивалось более чем в 15 раз по отношению к исходным данным. Дыхательный коэффициент составлял 0,986 относительных единиц, свидетельствуя о том, что интенсивная мышечная деятельность обеспечивается энергией от расщепления углеводов. В условиях предельно переиосимой физической нагрузки выделение метаболического CO_2 через легкие точно соответствуют уровню МПК. В таком состоянии вся энергия воспроизводилась благодаря поступлению кислорода в ткани и его использованию в реакциях обмена веществ. Кислородный долг не проявлялся, так как не было при этом увеличения дыхательного коэффициента свыше единицы.

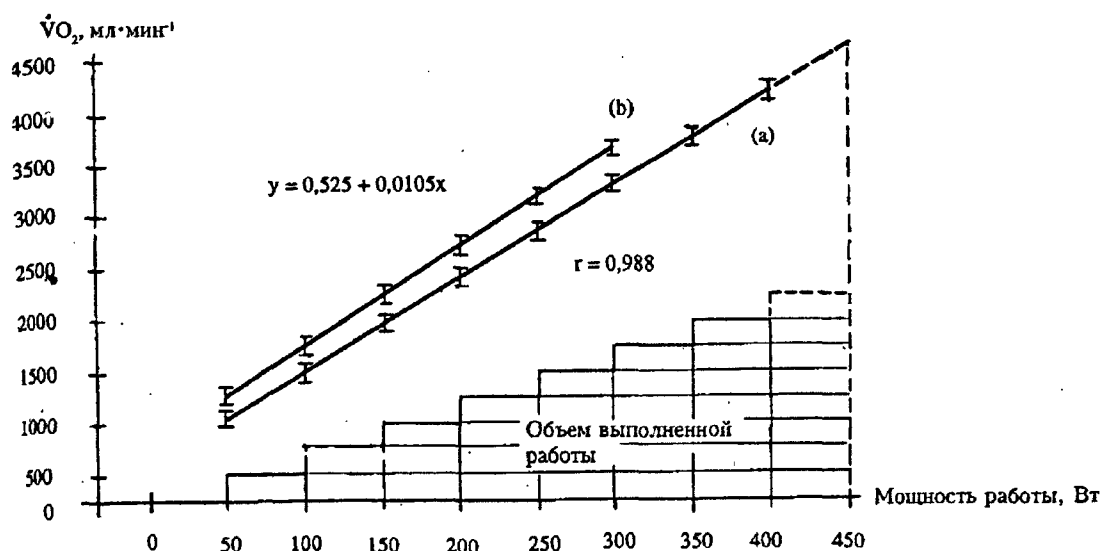


Рис. 1. Динамика потребления кислорода у спортсменов-стайеров высокой (а) и низкой квалификации под влиянием работы ступенчато-повышающейся мощности до полного утомления.

Зависимость утилизации кислорода от величины преодолеваемой нагрузки, представленная на рисунке 1, выражается уравнением линейной регрессии: $Y = A + B \cdot x$

Для практического использования этой формулы необходимо знать постоянные значения коэффициентов А и В, которые определяются путем решения системы уравнений с двумя неизвестными [16]. После соответствующих расчетов уравнение становится доступным для практического использования в спорте:

$Y = 0.525 + 0.0105 \cdot x$, где Y-искомая величина потребления кислорода при работе определенной мощности (л/мин); X-величина физической нагрузки (Вт); 0,0105-коэффициент линейной регрессии; 0,525-показатель, отражающий прирост потребления кислорода на каждой ступени. С помощью уравнения можно определять уровень потребления кислорода при любой нагрузке и прогнозировать МПК при мышечной работе, например, мощностью 450 Вт. Расчет максимального потребления кислорода производится следующим образом:

$$Y_{450} = 0.525 + 0.0105 \cdot 450 = 5.255 \text{ л/мин.}$$

Следовательно, при достижении МПК, равного 5,2 л/мин, появляется реальная возможность преодоления физической нагрузки, значением в 450 Вт.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что в условиях максимального потребления кислорода развитие гипоксии тканей представляется сомнительным явлением, поскольку на всех ступенях велоэргометрического тестирования была выявлена статически достоверная связь между показателями преодолеваемой нагрузки и данными $\dot{V}O_2$. Отмеченная взаимосвязь сохранялась также и при максимальном потреблении кислорода, что позволяет надежно диагностировать специальную подготовленность спортсмена по достигнутому $\dot{V}O_{2 \text{ max}}$. И, наоборот, о максимальном потреблении кислорода можно судить по величине преодолеваемой нагрузки.

Динамика газообмена, которая была выявлена при функциональном тестировании, и высокая корреляционная связь между показателями исследуемых функций свидетельствуют о том, что мышечная работа ступенчато-повышающейся мощности совершалась в аэробных

условиях: что биоэнергетические потребности организма полностью удовлетворялись газообменной функцией легких.

Кроме того, в наших исследованиях изучалось влияние максимальной величины потребления кислорода на уровень накопления органических кислот. Экспериментально были выявлены следующие особенности. С повышением физической подготовленности увеличивается показатель МПК и одновременно с ним нарастает избыток в тканях органических кислот. В этом случае максимальное потребление кислорода не снижает уровень накопления продуктов неполного распада энергетических веществ. Однако МПК очень четко влияет на порог анаэробного обмена и положение лактатной кривой, смещая их проявление в режим наибольшей мощности, расширяя тем самым диапазон аэробной работы, что представляет практический интерес в спорте, так как рекордные достижения возможны при высоком значении $\dot{V} O_2 \max$ [4,6,7].

Вместе с тем было выявлено, что МПК и максимальная величина преодолеваемой нагрузки не коррелирует с нарастающим уровнем органических кислот. Это значит, что молочная кислота, продуцируемая в скелетных мышцах, не лимитирует физическую работоспособность и не оказывает влияние на максимальное потребление кислорода. Возможно, наоборот, высокая концентрация лактата в крови вызывает потребность увеличения притока кислорода и активизации вентилярной функции легких. В таком случае аккумуляция молочной кислоты в состоянии утомления будет способствовать в первую очередь повышению объема легочной вентиляции и усилению газообмена.

Таким образом, опираясь на результаты собственных исследований и данные литературы, мы приходим к выводу о том, что при мышечной работе ступенчато-повышающейся мощности кислородный долг не возникает, гипоксия в тканях не проявляется. Следовательно, накопление молочной кислоты в сокращающихся мышцах не связано с дефицитом кислорода, а является результатом нарушения баланса двух противоположных процессов - образования лактата и его утилизации, что подтверждается целым рядом исследований [15,17].

Л и т е р а т у р а

1. Маршак М.Е. "Русский физиологический журнал", 1932, т.14, N 2-3 с.204-222
2. Лейник М.В. К учению о физиологических основах рационального труда и отдыха. Киев, Госмедиздат УССР, 1951, 130 с.
3. Розенблат В.В. Утомление. Руководство по физиологии труда. М., Медицина, 1983, с.227-250.
4. Михайлов В.В. Дыхание спортсмена. М., ФиС, 1983, 103 с.
5. Коц Я.М. Физиология мышечной деятельности. М., ФиС, 1982, с.34-35
6. Волков В.М. Восстановительные процессы в спорте. М., ФиС, 1977, 142 с.
7. Кучкин С.Н., Бакулин С.А. Аэробная производительность и методы ее повышения. Волгоград, 1985, 176 с.
8. Astrand I. "Acta Physiologica Scandinavica". 1963, V.58, N 4, p.359-367.
9. Hill A.V. Muscular activity. London, Tindall, 1926, 115 p.
10. Margaria R., Edwards H.T., Dill D.E. "Amer.J.Physiol"., 1933, V.106, N 5, p.687-715.
11. Cerretelli P. "Medicine Sport Sci", 1984 N 1, p.68-80
12. Михайлов В.В., Козлов А.Б. "Теория и практика физической культуры", 1977, N 3, с.57-60.
13. Brooks G.A., Gaesser G. "Appl. Physiol.", 1980, V.49, p.1057-1068
14. Segal S.S., Brooks G.A. "J. Appl. Physiol.:Respirat. Environ. Physiol.", 1979, V.47, p.514-521.
15. Connett R.J., Gayeski T.E.J., Honig C.R. "Amer. J. Physiol.", 1985, V. 248, N 6, pt 2, p.922-929.
16. Урбах В.Ю. Биометрические методы. М., Наука, 1964, 415 с.
17. Hollozy J. "Exerc. Sport. Sci. Reviews", 1973, V.1, N 1, p.45-71.