

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ СИСТЕМЫ ДЫХАНИЯ К ИНТЕНСИВНОЙ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



Лойко Т.В.

канд. пед. наук, доцент,
Белорусский
государственный
университет
физической культуры

В работе представлены основные факторы, обуславливающие увеличение легочной вентиляции во время мышечной деятельности. Рассмотрены нервные и гуморальные механизмы активизации дыхания в процессе двигательной деятельности, их вклад в увеличение легочной вентиляции при выполнении нагрузок разной тяжести, а также в период вработывания и в устойчивом состоянии. В ходе экспериментального исследования показано влияние высоких и низких концентраций углекислого газа в крови на активность дыхательного центра. Изменение концентрации данного дыхательного газа в крови исследуемых достигалось путем проведения кратковременной гипервентиляции легких (5 активных вдохов-выдохов на протяжении 15–20 с) и физической нагрузки в виде 20 приседаний за 30 с. Обсуждена возможность проведения гипервентиляции легких биатлонистами на огневых рубежах с целью повышения эффективности стрельбы.

Ключевые слова: система дыхания; легочная вентиляция; механизмы активизации дыхания; кислородный запрос; кислородное потребление; двигательная (мышечная) деятельность.

THE RESPIRATORY SYSTEM ADAPTATION TO INTENSIVE MUSCLE ACTIVITY

The work presents the main factors that cause an increase in pulmonary ventilation during muscle activity. The nervous and humoral mechanisms of activation of breathing during motor activity, their contribution to the increase in pulmonary ventilation during the performance of loads of varying severity, as well as during the period of development and in a stable state are considered. The experimental study showed the effect of high and low concentrations of carbon dioxide in the blood on the activity of the respiratory center. Changes in the concentration of this respiratory gas in the blood of the study participants have been achieved by conducting short-term hyperventilation of the lungs (5 active inhalations–exhalations in 15–20 c) and physical activity in the form of 20 squats for 30 c. The possibility of hyperventilation performance by biathletes on the firing lines in order to increase the shooting efficiency is discussed.

Keywords: respiratory system; pulmonary ventilation; breathing activation mechanisms; oxygen demand; oxygen consumption; motor (muscle) activity.

■ **Введение.** Нормальная жизнедеятельность организма человека невозможна без достаточного поступления в него такого природного элемента, как кислород. Его основная функция – участие в окислительно-восстановительных реакциях, обеспечивающих живые клетки биологической энергией.

Потребность организма в кислороде определяется интенсивностью обменных процессов, зависящей от таких факторов, как пол и возраст человека, масса и поверхность его тела, особенности питания, состояние здоровья и др. Весомым фактором, влияющим на кислородный запрос организма, является физическая нагрузка.

Любой вид двигательной деятельности увеличивает потребности мышц в кислороде. Чем больше

мощность выполняемой работы, тем выше скорость его утилизации сокращающимися мышцами. В анаэробных условиях они способны работать всего несколько десятков секунд. Полнота удовлетворения возросшего во время работы кислородного запроса сокращающейся мускулатуры напрямую определяет результативность мышечной деятельности [1–4].

Увеличенное поступление кислорода к работающим мышцам в первую очередь достигается посредством активизации системы дыхания.

Увеличение легочной вентиляции во время мышечной деятельности обусловлено тремя основными факторами [5]:

1. Развитием тканевой гипоксии, сопровождающейся усилением процессов анаэробного ресинтеза АТФ.

2. Развитием ацидоза, связанного с образованием молочной кислоты в процессе гликолиза.

3. Развитием гиперкапнии, связанной с усилением продукции углекислого газа в процессе метаболизма и утилизации бикарбонатной буферной системы образующейся молочной кислоты.

Уровень рабочей легочной вентиляции опосредуется величиной энерготрат, сопровождающих двигательную деятельность. При этом в начале работы он практически не зависит от мощности нагрузки. В устойчивом состоянии при выполнении циклической работы уровень легочной вентиляции обычно соответствует интенсивности продукции углекислого газа (CO_2).

В увеличении легочной вентиляции во время работы большую роль играют как нервный, так и гуморальный механизмы стимуляции дыхания.

Нейрогенные стимулы легочной вентиляции представляют собой влияния на дыхательный центр со стороны вышележащих структур центральной нервной системы, например, коры больших полушарий, а также со стороны рецепторов опорно-двигательного аппарата и сердечно-сосудистой системы. *Гуморальные стимулы легочной вентиляции* представляют собой влияния на дыхательный центр со стороны центральных хемочувствительных структур и артериальных хеморецепторов [5].

В процессе работы умеренной мощности в ходе быстрой фазы периода вработывания увеличение легочной вентиляции обусловлено почти исключительно влиянием нейрогенных стимулов. Подключение гуморальных стимулов активизации дыхания происходит в медленной фазе вработывания. В устойчивом состоянии сохраняется их взаимодействие.

Вклад обоих механизмов стимуляции дыхания в увеличение легочной вентиляции при выполнении нагрузок разной тяжести неодинаков. В процессе выполнения легкой нагрузки ведущая роль отводится нейрогенным стимулам, тяжелой – гуморальным [5].

■ **Основная часть.** С целью наглядной демонстрации влияния повышенной и пониженной концентрации CO_2 в крови на активность дыхательного центра в рамках лабораторного занятия на тему «Легочная вентиляция», проводимого по учебной дисциплине «Физиология спорта», были обследованы 70 студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет физической культуры» (38 юношей и 32 девушки) в возрасте 18–20 лет.

Для достижения поставленной цели использовались проба Штанге (задержка дыхания на вдохе) и нагрузочная проба Мартине – Кушелевского (20 приседаний за 30 с) [6], проводилась гипервентиляция легких (5 активных вдохов-выдохов на протяжении 15–20 с).

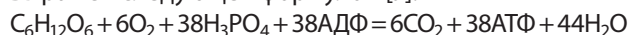
Время задержки дыхания у всех участников исследования определялось 3 раза. Первый раз – в состоянии покоя (исходная концентрация CO_2 в крови). Второй раз – после гипервентиляции легких (снижен-

ная концентрация CO_2 в крови). Третий раз – после выполнения физической нагрузки в виде 20 приседаний за 30 с (повышенная концентрация CO_2 в крови).

Уровень материально-технического обеспечения образовательного процесса, реализуемого кафедрой физиологии и биохимии, не позволил определить у студентов точные концентрации CO_2 в крови на всех этапах описываемого исследования. Тем не менее, тщательный анализ различных источников литературы позволяет с полной уверенностью констатировать следующее:

1. *Гипервентиляция легких* (интенсивное дыхание, превышающее текущие потребности организма в кислороде) в состоянии покоя не столько увеличивает переход кислорода из альвеол легких в кровь малого круга кровообращения сколько приводит к значительному выведению из артериальной крови CO_2 [7–9]. Из этого следует, что концентрация данного дыхательного газа в крови исследуемых после 20-секундной гипервентиляции легких была, безусловно, снижена по сравнению с исходным уровнем.

2. *Физическая нагрузка* влечет за собой увеличение концентрации CO_2 в крови человека. Тот факт, что частота сердечных сокращений после 20 приседаний за 30 с, как у юношей, так и у девушек, была ниже уровня порога анаэробного обмена (в среднем $121,37 \pm 2,44$ и $127,69 \pm 2,63$ уд/мин соответственно), позволяет утверждать, что энергообеспечение мышечной деятельности осуществлялось преимущественно за счет окисления углеводов. Оно представляет собой сложный процесс, происходящий в несколько этапов, суммарный результат которого может быть выражен следующей формулой [9]:



Таким образом, концентрация CO_2 в крови исследуемых после выполнения пробы Мартине – Кушелевского определенно возросла по сравнению с исходным уровнем, характерным для состояния покоя.

Анализ результатов, полученных в ходе экспериментального исследования, показал, что время задержки дыхания на вдохе после гипервентиляции легких у всех исследуемых увеличилось по сравнению с исходными данными, зарегистрированными в состоянии покоя. После выполнения физической нагрузки оно сократилось. В обоих случаях различия статистически значимы как у юношей, так и у девушек (таблица).

Представленные результаты исследования наглядно демонстрируют высокую чувствительность дыхательного центра к изменению концентрации CO_2 в крови. Снижение концентрации обсуждаемого газа в крови подавляет активность дыхательного центра. Повышение – активизирует его работу. Последнее приводит не только к более раннему срыву задержки дыхания, но и к росту легочной вентиляции в процессе выполнения физической нагрузки, обеспечивая тем самым увеличенное поступление кислорода в организм спортсмена. Только в аэроб-

Таблица – Время задержки дыхания на вдохе при различных концентрациях углекислого газа в крови (с)

Исследуемые	Концентрация CO ₂ в крови			Значимость различий (P)	
	исходная (в покое)	сниженная (после гипервентиляции)	повышенная (после нагрузки)	нормальная сниженная концентрация	нормальная повышенная концентрация
Юноши (n=38)	87,00±3,97	110,29±5,39	35,89±1,81	<0,05	<0,05
Девушки (n=32)	65,72±4,34	84,31±5,20	28,84±2,94	<0,05	<0,05

ных условиях работы мышцы могут получать достаточное количество энергии, необходимой для продолжительного и эффективного сокращения [3; 4; 10].

После завершения мышечной деятельности происходит резкое снижение легочной вентиляции, что обусловлено значительным уменьшением нейрогенной стимуляции центра дыхания. Однако метаболические сдвиги (в том числе и повышение концентрации CO₂ в крови), произошедшие в организме спортсмена во время выполнения физической нагрузки, достаточно долго поддерживают его активность на повышенном уровне [5]. Это позволяет в период восстановления сохранять увеличенное по сравнению с состоянием покоя потребление кислорода. Оно необходимо для осуществления следующих процессов [11]:

1. Нормализации парциального давления кислорода в венозной крови.

2. Насыщения кислородом миоглобина мышц.

3. Восполнения израсходованных в ходе мышечной деятельности энергетических ресурсов.

4. Устранения из работавших мышц и организма в целом накопившихся за время работы продуктов метаболизма.

По мере восстановления гомеостаза крови активность центра дыхания снижается до уровня, характерного для состояния покоя.

Заключение. Высокую чувствительность центра дыхания к изменению концентрации CO₂ в крови необходимо учитывать и умело использовать в тренировочном процессе представителей различных видов спорта, особенно спортсменов, специализирующихся в биатлоне (так называемых «стреляющих лыжников»).

Соревновательные упражнения данного вида спорта по своей кинематической характеристике относятся к интервально-повторным упражнениям [11]. Они характеризуются сочетанием фаз интенсивной мышечной деятельности циклического характера (бег по дистанции) с периодами частичного отдыха (стрельба на огневом рубеже).

Эффективность мышечной деятельности биатлониста во время передвижения по лыжной трассе во многом зависит от величины рабочей легочной вентиляции. Выход на ее предельные или околопредельные значения невозможен без существенного повышения активности центра дыхания. Свою лепту в процесс его активизации вносит такой гуморальный стимул, как высокая концентрация CO₂ в крови.

Как только биатлонист выходит на огневой рубеж, количество которых в рамках одной гонки может колебаться от 2 до 4, повышенная активность центра дыхания, обуславливающая высокую подвижность грудной клетки, становится фактором, затрудняющим прицеливание и снижающим точность стрельбы.

По этой причине спортсмену, находящемуся на огневом рубеже, при подготовке к стрельбе может быть рекомендовано проведение кратковременной гипервентиляции легких (примерно 5 активных дыхательных циклов) с целью быстрого снижения концентрации CO₂ в крови. Это позволит на некоторое время снизить активность центра дыхания и уменьшить тем самым подвижность грудной клетки (за счет снижения частоты дыхания). Более спокойное дыхание биатлониста на огневом рубеже позитивно отразится на точности и скорости прицеливания, а значит и эффективности стрельбы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новикова, Е. И. Роль дыхательной и сердечно-сосудистой систем в аэробном обеспечении организма подростков при физических нагрузках различной интенсивности / Е. И. Новикова // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. – 2004. – Вып. 4. – С. 60–63.
2. Верхованский, Ю. В. Вегетативные системы обеспечения мышечной деятельности тяжелоатлета : лекция / Ю. В. Верхованский, А. С. Медведев. – М. : ГЦОЛИФК, 1989. – 23 с.
3. Энергетическое и вегетативное обеспечение мышечной деятельности [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <https://studopedia.org/4-47924.html>. – Дата доступа: 02.12.2019.
4. Лойко, Т. В. Взаимодействие моторной и вегетативных функций организма в процессе мышечной деятельности (литературный обзор) / Т. В. Лойко // Мир спорта. – 2020. – № 1. – С. 84–87.
5. Бреслав, И. С. Дыхание и мышечная активность человека в спорте : Руководство для изучающих физиологию человека / И. С. Бреслав, Н. И. Волков, Р. В. Тамбовцева. – М. : Советский спорт, 2013. – 336 с.
6. Гамза, Н. А. Функциональные пробы в спортивной медицине : пособие / Н. А. Гамза, Г. Р. Гринь, Т. В. Жукова. – 10-е изд., доп. – Минск : БГУФК, 2018. – 57 с.
7. Зацюрский, В. М. Физические качества спортсмена : основы теории и методики воспитания / В. М. Зацюрский. – 4-е изд. – М. : Спорт, 2019. – 200 с.
8. Фудин, Н. А. Медико-биологические технологии в физической культуре и спорте : монография / Н. А. Фудин, А. А. Хадарцев, В. А. Орлов ; под ред. А. И. Григорьева. – М. : Спорт, Человек, 2018. – 320 с.
9. Чинкин, А. С. Физиология спорта : учеб. пособие / А. С. Чинкин, А. С. Назаренко. – М. : Спорт, 2016. – 120 с.
10. Кулиненков, О. С. Биохимия в практике спорта / О. С. Кулиненков, И. А. Лапшин. – 2-е изд., стер. – М. : Спорт, 2019. – 184 с.
11. Лойко, Т. В. Физиология спорта в схемах и таблицах : пособие / Т. В. Лойко. – Минск : БГУФК, 2015. – 108 с.

22.02.2021