**Биоэкономика внешнего дыхания человека**

Доцент А.Ф. Григорян, Доктор педагогических наук, профессор Н.С. Акопян, Кандидат биологических наук Н.Ю. Адамян, Р.С. Арутюнян, Гюмрийский государственный педагогический институт им. М. Налбандяна, Гюмри, Ереванский государственный университет, Ереван

Введение. Произвольное управление дыханием выражается в способности человека сознательно менять темп, ритм и амплитуду дыхательных движений. Вентиляция легких, как известно, с одной стороны, обеспечивается произвольной мускулатурой, а с другой - является автономной функцией, участвуя в поддержании гомеостаза. Поэтому произвольное управление дыхательными движениями может осуществляться в широких пределах, но вместе с тем оно жестко ограничено требованиями, обусловленными необходимостью сохранения некоторых жизненно важных констант внутренней среды. Существует полная зависимость систем, обеспечиваюших доставку кислорода, от изменения характера метаболизма, уровня активности дыхательных ферментов и другого, что в совокупности составляет уровень потребления кислорода [17].

Вместе с тем произвольное действие, отличающееся целенаправленностью, точностью и тонкостью выполнения в строгом смысле слова, свойственно только человеку и подчиняются требованиям сознательной среды. Способность человека произвольно управлять дыханием эволюционно связано с развитием речи [15, 16].

Для человека весьма характерно значительное участие в регуляции дыхания переднего мозга, особенно коры головного мозга. Кора мозга непосредственно управляет двигательной сферой, частью которой и служит дыхательная мускулатура [13].

Отсюда как бы перекидывается физиологический мостик между управляемыми разумом скелетными мышцами и неподвластными воле вегетативными процессами.

Способность произвольно управлять легочной вентиляцией позволяет человеку - как здоровому, так и больному - разумно дополнить "непроизвольные" рефлекторно -гуморальные механизмы, контролирующие функцию дыхания [3].

На основе регуляции дыхания широко применяется произвольное оптимальное уменьшение вентиляции легких для повышения физической, умственной работоспособности, а также в терапевтических целях при различных функциональных нарушениях дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Поскольку существует тесная взаимосвязь между дыхательной и сердечно-сосудистой функциональными системами, которая осуществляется на различных уровнях этих систем: от рецепторных полей до дыхательного и сердечно-сосудодвигательного центров продолговатого мозга, а также в верхних отделах головного мозга.

В исследованиях наряду с дыханием мы изучали влияние произвольного оптимального уменьшения минутного объема дыхания (ПОУМОД) на сердечную деятельность

Учитывая особенности целого комплекса естественно -географических условий Армении и второго в Республике по величине города Гюмри (где и были проведены наши исследования), находящегося на высоте 1700 м над уровнем моря, мы предположили, что при произвольном оптимальном уменьшении легочной вентиляции студентов, спортсменов, обладающих, как постоянно проживающих в этих условиях, относительно высоким фоном адаптационных возможностей, можно достичь более высоких результатов в повышении их работоспособности. Этот вопрос вызывает большой интерес врачей, физиологов, специалистов в области спортивной, горной и авиакосмической медицины.

Методика. Произвольное управление дыханием, как известно, выражается в способности человека сознательно менять вентиляцию легких. В условиях нашего эксперимента испытуемые вдыханием воздуха "тонкой струей" увеличивали продолжительность вдоха до 7-10 с. Эксперименты проводились на студентах факультета физической культуры педагогического института 18-23 лет. Вдох производился таким образом, чтобы в момент окончания сохранялась возможность его продолжения. Следующий за произвольным вдохом выдох оставался непроизвольным.

При произвольном увеличении времени вдоха испытуемый сосредотачивал внимание на уменьшении его секундных дыхательных объемов без увеличения дыхательных движений грудой клетки. Вдох и выдох совершались через нос бесшумно.

Совершенствование ПОУМОД в покое осуществлялось при систематической ежедневной тренировке, способствующей развитию умения достичь значительного произвольного уменьшения минитного объема дыхания (МОД) до 2-3 л в мин без нарушения метаболических потребностей организма.

В процессе ПОУМОД регистрировали ЭКГ во 2-м стандартном отведении, определяли уровень насыщения артериальной крови кислородом с помощью оксигемометра, производили запись ЭЭГ.

В произвольном уменьшении вентиляции легких испытуемые тренировались самостоятельно (3 раза в день). Из-за отсутствия спирографа в домашних условиях тренировка проводилась по оптимальному уменьшению частоты дыхания в 1 мин. Усвоение этого навыка не требовало много времени: тренировка продолжалась 10 мин.

Испытуемый при тренировке усилием воли концентрировал все свое внимание на работающих дыхательных мышцах.

Исследования были проведены до и после двухмесячной тренировки, при обычном дыхании в покое и во время выполнения легкой физической нагрузки, а именно физических упражнений на месте продолжительностью 5-7 мин, прыжков с 30-сантиметровой тумбы вверх-вниз - 5-7 мин, поднятия 10-килограммовой гантели двумя руками - 5-7 мин. Регистрировали частоту дыхания, сердечную деятельность, HbO2 и ЭЭГ в спокойном состоянии, а также при произвольном уменьшении МОД (4 в 1 мин).

Результаты и обсуждение. ПОУМОД слагается главным образом из удлиненной фазы вдоха, что и является результатом волевых усилий, направленных на изменение естественного ритма и переход на заранее намеченный определенный ритм дыхания, а именно 4 дыхательных движения в 1 мин вместо 14-16 при нормальном ритме.

В обычных условиях пребывания частота дыхания испытуемых в среднем составляла 15 в 1 мин, МОД - 9300 мл. Если считать, что обьем мертвого пространства здорового человека составляет примерно 150 мл, то в 1 мин будет 2250 мл, т.е. за это время только 7050 мл (75,8%) будет непосредственно принимать участие в газообмене.

То же наблюдалось при произвольном уменьшении легочной вентиляции (4 в 1 мин) с той лишь разницей, что при этом объем мертвого пространства был намного меньше - 600 мл (4 х 15). В результате заметно увеличивается количество воздуха, принимающего участие в газообмене, - 92,8%. Эти данные послужили контрольными для полученных при выполнении небольшой физической работы (см. раздел "Методика"), при этом частота дыхания составляла 26 в 1 мин, МОД -17 400 мл, а при произвольном уменьшении дыхания 4 в 1 мин. МОД составлял 16 600 мл.

Указанные выше данные, полученные у испытуемых как в спокойном состоянии, так и при физической нагрузке, в свою очередь, послужили контрольными для последующих опытов, проведенных после двухмесячной тренировки тех же лиц.

При тренировке ПОУМОД происходит адаптация, которая начинается с ломки старой структуры гомеостатического регулирования, что создает предпосылку построения новой структуры более адекватной данной среде.

После тренировки наблюдались некоторые сдвиги в показателях внешнего дыхания. Так, при спокойном дыхании частота урежалась до 12, МОД уменьшался до 8600 мл, а при произвольном уменьшении дыхания до 4 в 1 мин МОД составил 7900 мл. При физической нагрузке той же интенсивности после тренировки испытуемых частота дыхания составляла 22 в 1 мин, а МОД - 13 900 мл. У этих же лиц при произвольном уменьшении частоты дыхания до 4 в 1 мин МОД составлял 13 100 мл.

Ввиду того что произвольное уменьшение легочной вентиляции и экономизация внешнего дыхания, существенно изменяющие центральные механизмы регуляции дыхания, затрагивают также деятельность сердечно-сосудистой системы, параллельно с дыханием регистрировалось ЭКГ. При обычном дыхании с частотой 15 в 1 мин частота сердечного ритма составляла 75; при ПОУМОД 4 в 1 мин - 77,8 (в среднем). Как видим, при произвольном уменьшении дыхания в 3-4 раза сердечный ритм не претерпевает особых изменений. Следует, однако, указать, что сердечный ритм в период одного дыхательного цикла при произвольном уменьшении до 4 в 1 мин испытывает фазовые изменения.

Так, при 15-секундной продолжительности дыхательного цикла (4 в 1 мин) в первые 5 с вдоха наблюдается хорошо выраженное учащение сердечного ритма, т.е. 124,8% от средней частоты в период всей 15-секундной продолжительности дыхательного цикла. В последующие 10 с, наоборот, начинается урежение сердечного ритма до 92,8%.

Учащение сердечного ритма в начале ПОУМОД можно объяснить изменением тонуса вегетативной нервной системы [6, 12], а развитие брадикардии во второй фазе произвольного уменьшения МОД объясняют, с одной стороны, повышением внутригрудного давления, с другой - гуморальным воздействием [18, 19] и рефлекторными влияниями с механо- и хеморецепторов сосудистых рефлексогенных зон, легочных сосудов и паренхимы легких [7, 8].

Следует отметить, что при этом имели место индивидуальные различия в направленности и интенсивности изменений параметров ЭКГ.

После двухмесячной тренировки в произвольном оптимальном уменьшении дыхания установлено, что оно оказывает влияние почти на все параметры внешнего дыхания как при обычном состоянии, так и при физической нагрузке испытуемых.

Так, если частота дыхания в результате тренировки в покое урежалась незначительно (12 против 15 в 1 мин), то при физической нагрузке оно уменьшалось с 26 до 22 в 1 мин. В результате тренировки как при обычном дыхании в покое и при физической нагрузке, так и при произвольном урежении дыхания (4 в 1 мин) МОД уменьшается на 9-10%.

При тренировке испытуемые добиваются повышения надбульбарной стимуляции дыхательного центра, понижения его чувствительности к изменению газового состава крови, главным образом к накоплению CO2 .

Результаты проведенных исследований показывают, что меньший прирост МОД в состоянии покоя и при физической нагрузке повышает физическую работоспособность за счет уменьшения ее энергетической стоимости.

По мере привыкания к произвольному уменьшению МОД формируются временные связи, которые обуславливают оптимизацию ответов дыхательного аппарата и упреждают снижение легочной вентиляции [2].

После двухмесячной тренировки по ПОУМОД были отмечены также некоторые сдвиги в частоте и в амплитудно-временных параметрах ЭКГ. Так, в целом сердечный ритм урежается, кроме того начальное 5-секундное учащение в фазе вдоха значительно сглаживается.

Имеет место также некоторое увеличение зубца R, удлинение интервалов отдельных волн ЭКГ.

Как видим, возникновение и прогрессивное повышение резерва экономичности внешнего дыхания способствовало положительным качественным изменениям экономичности сердечной деятельности.

Поскольку произвольное изменение дыхания зависит от степени коркового влияния на дыхательные мышцы, в целях исследования психофизиологического состояния испытуемых регистрировали ЭЭГ. При этом уменьшение частоты дыхания до 4 в 1 мин в период удлиненной фазы вдоха и в фазе выдоха вызывало фазовую динамику изменений ЭЭГ.

При сопоставлении данных по МОД в обычных условиях и при произвольном уменьшении легочной вентиляции (4 в 1 мин) видно, что объем воздуха в первом случае составил 620 мл, в то время как при произвольном уменьшении вентиляции легких - 2075 мл, что приводит к большему раскрытию альвеол и улучшению газообмена между альвеолярным воздухом и кровью. При этом почти в 4 раза сокращается энергия, затрачиваемая на работу дыхательных мышц (4 дыхания против 15 в 1 мин).

Известно, что перемещение воздушного потока в процессе дыхания сопряжено с немалой затратой энергии дыхательной мускулатурой. На вдохе приходится преодолевать эластическое сопротивление легких и тканей грудной клетки, эластическое сопротивление перемещающихся при дыхании органов грудной и брюшной полости, а также сопротивление трахеобронхиального дерева [3].

Как было указано выше, при произвольном уменьшении частоты дыхания уменьшается также минутный объем мертвого пространства и соответственно увеличивается объем альвеолярного воздуха. Если учесть и изменения метаболизма, происходящие на тканевом и молекулярном уровне, то можно сказать, что при произвольной регуляции дыхания эффективность экономизации внешнего дыхания организма значительно возрастает. Во второй серии экспериментов то же самое было проделанно при легкой физической нагрузке испытуемых. Этому мы придавали важное значение, поскольку мышечная деятельность является наиболее сильным естественным стимулом дыхания. Как только включается мышечная нагрузка, учащается и углубляется дыхание. Импульсы, поступающие из сенсомоторной коры к работающим мышцам, одновременно оказывают прямое влияние на дыхательный центр через кортико-бульбарные пути [1].

Кроме того, дыхание стимулируется афферентной импульсацией, поступающей из проприорецепторов работающих мышц [5, 8].

При выполнении легкой физической работы в условиях непроизвольного дыхания и его произвольного оптимального уменьшения (4 в 1 мин), что разница в увеличении вентиляции легких небольшая. Это говорит о том, что организм в состоянии полностью покрыть количество кислорода, расходуемое на выполнение данной физической нагрузки при произвольном уменьшении частоты дыхания, более чем в 5 раз. Этого можно достичь только благодаря тесной взаимосвязи экономизаций функций других систем организма, поскольку она происходит не только на системном, органном, но и на клеточном, субклеточном, молекулярном уровнях [4].

Таким образом, МОД является управляющим параметром экономичности внешнего дыхания не только в покое, но и при физической нагрузке. Меньший прирост МОД при физической работе повышает физическую работоспособность благодаря уменьшению ее энергетической стоимости. Снижение МОД в покое и при физической деятельности - взаимодействующее звено единого процесса повышения экономичности внешнего дыхания [11].

Регуляция внешнего дыхания настолько сложно интегрирована, что при его произвольном уменьшении помимо рефлекторной саморегуляции проприорецепторы дыхательных мышц оказывают рефлекторное влияние на всю локомоторную мускулатуру.

В свою очередь, локомоторная проприорецепция оказывает влияние на дыхательную мускулатуру. Так, доказано, что проприорецептивная импульсация с мышц задней конечности поступает в структуры дыхательного центра. Это значит, что все ядра и значительная часть нейронов дыхательного центра непосредстенно связаны с мышечной афферентацией [5, 14].

После двухмесячной тренировки испытуемых по произвольному уменьшению легочной вентиляции как по частоте (R-R), так и по электрической активности сердца наблюдалось улучшение сердечной деятельности соответственно экономизации внешнего дыхания. Например, установлена тесная положительная корреляция уровня МОД с частотой сердечных сокращений (ЧСС) и минутным объемом крови, т.е. с параметрами, характеризующими интенсивность физической работы. Это позволяет предположить, что при выполнении физической работы с одной и той же мощностью и длительностью, уменьшение МОД коррелирует с уменьшением ЧСС и повышает ее экономичность [11].

В условиях адаптации человека к экстремальным воздействиям при физических тренировках спортсменов и прочем также изменяются функции внешнего дыхания: уменьшается МОД и повышается коэффицент использования кислорода. Однако, как показывают экспериментальные данные, различные формы физической тренировки с непроизвольной регуляцией дыхания являются недостаточно эффективным способом его экономизации. Так, сохранение при непроизвольном дыхании меньшей, чем при его произвольной регуляции, степени уменьшения МОД, очевидно, свидетельствует о соблюдении дыхательным центром принципа постепенной реабилитации экономичности внешнего дыхания [10].

Поэтому с целью ускорения адаптационного процесса и тренированности спортсменов целесообразно проведение произвольной оптимизации и последующей автоматизации внешнего дыхания, направленной на строго дозированное уменьшение его интенсивности. Это объясняется тем, что дыхательная мускулатура функционально имеет много общего с локомоторным аппаратом, хотя вместе с тем обладает некоторыми физиологическими особенностями, в частности наряду с экстерорецептивными также и интерорецептивными механизмами регуляции.

Заключение. При ПОУМОД адаптационные изменения метаболизма, активности дыхательных ферментов, аэробного дыхания приводят к новому уровню кислородного обеспечения, следовательно к значительным изменениям кислородобеспечивающих органов и систем.

В этой связи мы ставили целью ускорить процесс адаптации путем произвольной оптимизации внешнего дыхания. Это дает возможность уменьшить МОД и повысить коэффициент использования кислорода организмом. При ПОУМОД продолжительность фаз дыхания увеличивается до 10-15 с, что при длительной тренировке автоматизируется и дыхательный центр приобретает новый ритм работы. В результате частота дыхания уменьшается до 4 в 1 мин против свободного непроизвольного 15 в 1 мин. При этом уменьшается МОД, соответственно и объем мертвого пространства, что и способствует заметному увеличению объема воздуха, участвующего в газообмене. После двухмесячной тренировки по ПОУМОД у испытуемых, занятых

физическим трудом, происходят физиологические и биохимические сдвиги во внешнем и тканевом дыхании, что способствует улучшению использования кислорода, входящего в МОД, а также уровня анаэробного дыхания.

После двухмесячной тренировки испытуемых по произвольному уменьшению легочной вентиляции как по частоте, так и по электрической активности сердца наблюдается улучшение сердечной деятельности соответственно экономизации внешнего дыхания. Так, удлинение сердечного цикла в основном за счет диастолы - показатель улучшения кровенаполнения сердца и увеличения ударного объема. Увеличение амплитуды зубцов R и T, удлинение интервала Q - T свидетельствует об улучшении кислородного снабжения сердечной мышцы и повышении его сократительной способности.

Поскольку имеется функционально много общего у локомоторных и интерорецептивных механизмов в регуляции дыхания, проявляется синхронная связь соматических и вегетативных функций. Отсюда практически любое изменение активности управляющих или гомеостатических систем, связанных с действием факторов внешней среды, физическими или психоэмоциональными нагрузками и т.д., находит отражение в уровне функционирования системы дыхания, а в связи с дыханием - и системы кровообращения.

**Список литературы**

1. Бреслав И.С., Жиронкин А.Г., Шмелева А.М. О соотношении кортикальных и хеморецептивных стимулов в регуляции дыхания человека. IX Всесоюз. конф. по пробл. кортико-висцеральной физиологии. 1972. Баку.

2. Бреслав И.С., Кариев Н.Н., Шмелева А.М. Произвольное управление дыханием и облигатный уровень легочной вентиляции //Физиол. журн. СССР, вып. 59, 1973, с. 34-36.

3. Бреслав И.С. Дыхание как произвольная функция /В кн. "Произвольное управление дыханием у человека". - М.: Наука, 1975. - 150 с.

4. Бреслав И.С., Исаев Г.Г. Физиология дыхания. - СПб.: Наука, 1994. - 680 с.

5. Габдрахманов Р.Ш. Роль медиальной зоны продолговатого мозга в ритмической деятельности нейронов дыхательного центра //Физиол. журн. СССР, вып. 58, с. 1514, 1972.

6. Кострубина Е.Н. Изменения сердечной деятельности при задержке дыхания у школьников: Матер. 4-й межвузовской научной конференции физиологов и морфологов пед. институтов. Ярославль: 1970, с. 184-186.

7. Лоога Р.Ю. О физиологических основах использования вариантов произвольной задержки дыхания в практической медицине. Произвольное управление дыханием человека. Тез. докл. Л., 1975, с. 26-27.

8. Малкин В.Б., Логинова Е.В. Потребление кислорода как показатель адаптации животных к высотной гипоксии //Косм. биол. и авиакосм. мед. 1984, № 5, с. 47-50.

9. Малкин В.Б., Гора Е.П. Гипервентиляция. - М.: Наука, 1990, с. 182.

10. Сороко С.И., Родкина Т.П. Изменение центральных и вегетативных механизмов регуляции при воздействии экспериментальной высокогорной гипоксии: Матер. симп. "Интеграция механизмов регуляции функций". Майкоп, 1996, с. 77-78.

11. Федоренко В.И. Влияние экономичности внешнего дыхания на физиологическое состояние студентов: Автореф. канд. дис. М., 1982.

12. Ченегин В.М., Погудин С.М., Бондарев Л.В. Динамика тонуса вегетативной нервной системы при задержке дыхания. Состояние и регуляция вегетативных функций в здоровом организме человека и животных. Владимир, вып. 4, № 2, 1975, с. 28-29.

13. Шпатенко Ю.А., Шеховцев И.К., Тимофеева Т.В. и др. Изменение электроэнцефалограммы при острой и хронической гипоксии. Hypoxia. Med.j., 2, 1996, p. 71-72.

14. Шик Л.Л. Основные черты управления дыханием. Успехи физиол. наук. Т.29 (2), 1998, с. 3-11.

15. Язловецкий В.С., Гримберг В.А., Мунтянов В.В. Изучение степени произвольного управления школьниками некоторыми параметрами дыхания //Возрастные особенности физиологических систем детей и подростков. М., 1977, т. 1, с. 200.

16. Язловецкий В.С., Левитский П.М., Бурдиян Л.И. и др. Произвольная регуляция дыхания в условиях мышечной деятельности. М., 1985, с. 404-405.

17. Fitsgerald R.S. Relationships between tidal volume and phrenic nerve activity during hypercapnia and hypoxia. Acta. Neurobiol Exp., 33, 1973, p. 419.

18. Lin C.J. Tissue oxygen and carbon dioxide partial pressure changes in normal subjects during hyperventilation. Chung Hua Nei Ko Tsa Chin. Vol. 22, 4, 1983, p. 201-203.

19. Magel J.R., McArdle W.D., Weiss N.L. et al. Heart rate response to apnea and faceimmersion. J. Sports Med. and Phys. Fitness. Vol. 22, 2, 1982, p. 135-146.

Для подготовки данной работы были использованы материалы с сайта <http://lib.sportedu.ru>