

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
Список сокращений	7
Глава I. СИСТЕМНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ДЫХАНИИ И ЕГО РЕГУЛЯЦИИ	8
Глава II. ВЕНТИЛЯТОРНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ И ПРОИЗВОЛЬНО ПРОГРАММИРУЕМАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЫХАНИЯ	17
Глава III. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЫХАНИЯ У ЛИЦ РАЗЛИЧНОГО ВИДА ЛОКОМОТОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И УРОВНЯ ТРЕНИРОВАННОСТИ	24
Глава IV. ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОЛЬНО ГИПОВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВНЕШНЕЕ ЗВЕНО САМОРЕГУЛЯЦИИ ДЫХАНИЯ	44
Глава V. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ ПРОИЗВОЛЬНО ПРОГРАММИРУЕМЫХ ГИПОВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРЕНИРОВОК	55
Глава VI. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ НОВОГО СТЕРЕОТИПА ДЫХАНИЯ У ЛИЦ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ ТРЕНИРОВАННОСТИ	61
Глава VII. УСТОЙЧИВОСТЬ НОВОГО СТЕРЕОТИПА ДЫХАНИЯ В ИЗМЕНЕННОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ ПОСЛЕ ПРОИЗВОЛЬНО ГИПОВЕНТИЛЯЦИОННОЙ ТРЕНИРОВКИ	77
Глава VIII. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ГОРНОЙ И ДВИГАТЕЛЬНОЙ ГИПОКСИИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ГИПОВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРЕНИРОВОК	89

Глава IX.	СОЧЕТАННЫЕ ГИПОВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ТРЕНИРОВКИ И СПОРТИВНАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ	100
Глава X.	ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАННЫХ ГИПОВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРЕНИРОВОК НА МЫШЕЧНУЮ РАБОТУ ДО ОТКАЗА	111
Глава XI.	ДИНАМИКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ПРОИЗВОЛЬНО ГИПОВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВНЕШНЕЕ ЗВЕНО САМОРЕГУЛЯЦИИ ДЫХАНИЯ. .	124
	1. Сравнительная динамика продолжительности произвольно максимальной задержки дыхания и ЧСС в покое и при выполнении физических упражнений в наблюдаемых группах	126
	2. Динамика изменений показателя рН крови при произвольно максимальных задержках дыхания в покое и при выполнении физических упражнений в наблюдаемых группах	136
	3. Сравнительная динамика изменений показателя рСО ₂ и буферных оснований (ВЕ) под воздействием произвольно гиповентиляционных тренировок	145
	4. Сравнительная динамика изменений показателя рО ₂ крови под воздействием вентиляторной и двигательной гипоксии	158
	5. Сравнительная динамика изменений углеводного обмена (лактат, пируват, глюкоза) под воздействием произвольно гиповентиляционных тренировок	167
	6. Изменение содержания биологически активных веществ при различных режимах гиповентиляционных воздействий	184
Заключение	193
Основная использованная литература	201

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая вниманию читателей монография представляет собой системный анализ обобщенного материала собственных исследований различных режимов произвольной регуляции дыхания при занятиях спортом. Отечественная научная школа в области физиологии регуляции дыхания и особенно произвольной саморегуляции представлена небольшим числом научных работ. Вполне очевидно, что исследование механизмов произвольной регуляции дыхания требуют более широкого анализа и принципиально новых подходов в решении данной проблемы.

Представленный в монографии анализ экспериментального материала – это одна из первых попыток рассмотреть данную проблему с позиции теории функциональных систем П. К. Анохина.

Моделью такого подхода явилась предложенная автором системная перестройка газового гомеостаза в условиях произвольно программируемой дыхательной деятельности человека, которая повлекла за собой формирование нового стереотипа дыхания и газообмена.

Общеизвестно, что единственная вегетативная функция, которой осознанно можно произвольно управлять, – это внешнее звено саморегуляции дыхания. Данная физиологическая функция в различных условиях жизнедеятельности человека несет в себе произвольный и непроизвольный механизмы регуляции дыхания. В одном случае можно дышать чаще и глубже, в другом поверхностно. При определенных обстоятельствах дыхание произвольно может урежаться вплоть до полной его остановки. Несомненно, что все эти процессы регулируются центральным дыхательным механизмом с участием произвольнокортикальных воздействий. В этой связи очень важно иметь наиболее полное представление о физиологических механизмах формирования нового стереотипа дыхания и при этом понять, каковы его пределы и физиологическая устойчивость. В монографии рассматривается вопрос, каким образом через произвольное влияние на внешнее звено саморегуляции дыхания, изменяющей содержание альвеоляр-

ного воздуха и артериальной крови, изменяется газовый гомеостазис и метаболические процессы в организме.

При этом проанализирован обширный фактический материал взаимозависимости произвольных движений и произвольной регуляции дыхания. Установлена взаимосвязь речевой деятельности и произвольной регуляции дыхания. Исследована произвольная гиповентиляция, а также произвольная задержка дыхания в покое и при выполнении физических упражнений.

Полученные данные позволили автору выявить ранее не известные физиологические закономерности формирования и устойчивости нового стереотипа дыхания у спортсменов различного вида локомоторной деятельности и уровня тренированности. При этом удалось подробно проанализировать углеводный обмен (лактат, пируват, глюкоза), кардиопоказатели, а также показатели pCO_2 , pO_2 и буферных оснований, что позволило автору сделать обоснованный вывод о физиологической последовательности при перестройке газового гомеостазиса и его устойчивости и эффективности в результате произвольно программируемой дыхательной деятельности человека.

Особый интерес представляют данные, полученные автором впервые, об изменении гормональных показателей при произвольно гиповентиляционных воздействиях на внешнее звено саморегуляции дыхания, при сочетанных воздействиях двигательной и вентиляторной гипоксии. Сравнительная динамика концентрации гормонов и некоторых олигопептидов в плазме крови в тридцатидневном эксперименте выявила, что сочетанные произвольно гиповентиляционные воздействия через регуляцию углеводного и белкового обмена непосредственно влияют на метаболические потребности организма и участвуют в формировании нового стереотипа дыхания.

Все эти факты свидетельствуют о взаимодействии различных функциональных систем организма, интегрированно влияющих на достижение полезного приспособительного результата, выразившегося в формировании нового стереотипа дыхания на фоне произвольной перестройки газового гомеостазиса и метаболических процессов.

При этом, анализируя материалы собственных экспериментальных исследований, автор обосновал физиологическую целесообразность и эффективность сочетанных с физическими

упражнениями гиповентиляционных тренировок, повышающих у спортсменов гипоксическую устойчивость и работоспособность. Это было показано при выполнении физической работы в условиях пониженного барометрического и парциального давления кислорода в условиях высотной гипоксии гор, а также при соревновательных нагрузках в легкоатлетическом беге на средние дистанции и при выполнении мышечной работы большого объема и интенсивности в работе до отказа. В рассматриваемых случаях автор высказывает мнение о том, что повышение гипоксической устойчивости и работоспособности напрямую связано с гиповентиляционными тренировками, которые, модифицируя функцию внешнего дыхания и газообмена, снижают чувствительность хеморецепторов дыхательного центра и рефлексогенных зон периферических сосудов к повышенному содержанию двуокси углерода.

Представленный в монографии фактический материал и его изложение с системных позиций свидетельствуют о том, что автору это в определенной мере удалось, однако изложенные достаточно обширные научные данные не исчерпывают многообразия физиологических путей оптимизации вентиляторно-газообменных функций при произвольно программируемых воздействиях на функциональную систему дыхания и, безусловно, требуют дальнейших специализированных экспериментальных исследований.

В монографии представлено большое количество графиков, таблиц и иллюстраций, дающих наиболее полное представление о проблеме.

Можно надеяться на то, что эта монография будет полезна физиологам и физиологам спорта, врачам, работающим в области восстановительной медицины и функциональной диагностики, а также спортивным врачам, работающим в области физической культуры и спорта высших достижений.

Академик РАН
А. И. Григорьев

Список сокращений

- АВЛ – альвеолярная вентиляция легких
АД – артериальное давление
АП – аэробный порог
БД – барометрическое давление
ВГ – высокогорная гипоксия
ВГА – высокогорная адаптация
ВЕ – буферные основания (в норме от -3 до $+3$), расчетная величина
ВМР – время мышечной работоспособности
ГВТ – гиповентиляционные тренировки
ГУ – гипоксическая устойчивость
ДО – дыхательный объем
ЖЕЛ – жизненная емкость легких
ЖЕЛ% – процент по отношению к должным величинам
КИО₂ – коэффициент использования кислорода
КИО₂% – процент по отношению к должным величинам
МВЛ – максимальная вентиляция легких
МЗД – максимальная задержка дыхания
МОД – минутный объем дыхания
МОД% – процент по отношению к должным величинам
МОК – минутный объем кровотока
НКО₂% – процент насыщения артериальной крови кислородом
ООЛ – остаточный объем легких
ОПСС – общее периферическое сопротивление сосудов
ПГ – пневмограмма
ПО₂ – поглощение кислорода
ПО₂% – процент по отношению к должным величинам
РД – резерв дыхания
рН – уровень концентрации водородных ионов (абсолютная величина в норме 7,384)
рО₂ – парциальное давление О₂ в альвеолярном воздухе
рСО₂ – парциальное давление СО₂ в альвеолярном воздухе
СС – субъективное самочувствие
ССС – сердечно-сосудистая система
ТФС – теория функциональных систем
УОК – ударный объем кровотока
ФРД – функциональный резерв дыхания
ФС – функциональная система
ФСД – функциональная система дыхания
ФЦ% – процент физиологической цены выполняемой работы
ЧД – частота дыхания (цикл/мин)
ЧСС – частота сердечных сокращений (цикл/мин)
ЭКГ – электрокардиограмма
ЭМГ – электромиограмма

ГЛАВА I

Системные представления о дыхании и его регуляции

Общеизвестно, что адекватное снабжение тканей кислородом и выведение из организма углекислого газа обеспечивается вентиляцией легких. При этом уровень метаболизма определяет и уровень вентиляции легких, обеспечение которой осуществляется хеморецепторными и механорецепторными контурами обратной афферентации (Бреслав И. С., 1970; Глебовский В. Д., 1981).

Важнейшим из стимулов, под воздействиями которого меняется регуляция дыхания, а значит и вентиляция легких, является изменение газового состава крови, а значит и газового гомеостаза (Холден Дж.С., Пристли, 1937; Schaefer, 1958; Kellogg, 1964; Pfluger, 1968).

Взаимозависимость вентиляторного ацидоза и алкалоза как результат дыхательной гиперкапнии или гипокапнии, тормозящих или усиливающих легочную вентиляцию, свидетельствуют о наличии в организме разветвленного аппарата саморегуляции дыхательных показателей – функциональной системы дыхания (Анохин П. К., 1962; Голубева Е. Л., 1968; Юматов Е. А., 1972; Судаков К. В., 1984).

Данная функциональная система, призванная поддерживать необходимый газовый гомеостазис, представляет собой сложную иерархическую систему, постоянно меняющуюся, но всегда ориентированную на полезный приспособительный результат и обеспечение метаболических потребностей организма. В своих исследованиях Е. А. Юматов (1971, 1972, 1983) показал, что функциональная система, обеспечивающая оптимальный для метаболизма уровень дыхательных показателей организма, относится к сложным функциональным системам. Она обеспечивает на основе иерархического соподчинения две подсистемы. Одна из них – функциональная система внешнего дыхания, которая в каждом дыхательном цикле обеспечивает необходимый объем легочной

вентиляции. Эта система входит в более общую функциональную систему, поддерживающую оптимальный для метаболизма уровень дыхательных показателей в организме (рис. 1).

В этой обобщенной функциональной системе изменение внешнего звена саморегуляции дыхания способствует поддержанию оптимального уровня тканевого дыхания.

Само по себе поступление кислорода в организм и удаление из него углекислоты еще не может обеспечить поддержания оптимального для метаболизма кислородно-углекислотного режима. Постоянно меняющиеся режимы деятельности организма, связанные с изменениями потребления кислорода и выделением углекислоты, например, при изменении среды обитания, мышечной деятельности, эмоциональных реакциях и др., могут повлиять на дыхательный гомеостазис организма.

Физиологические механизмы регуляции дыхания при изменении газового состава альвеолярного воздуха и артериальной

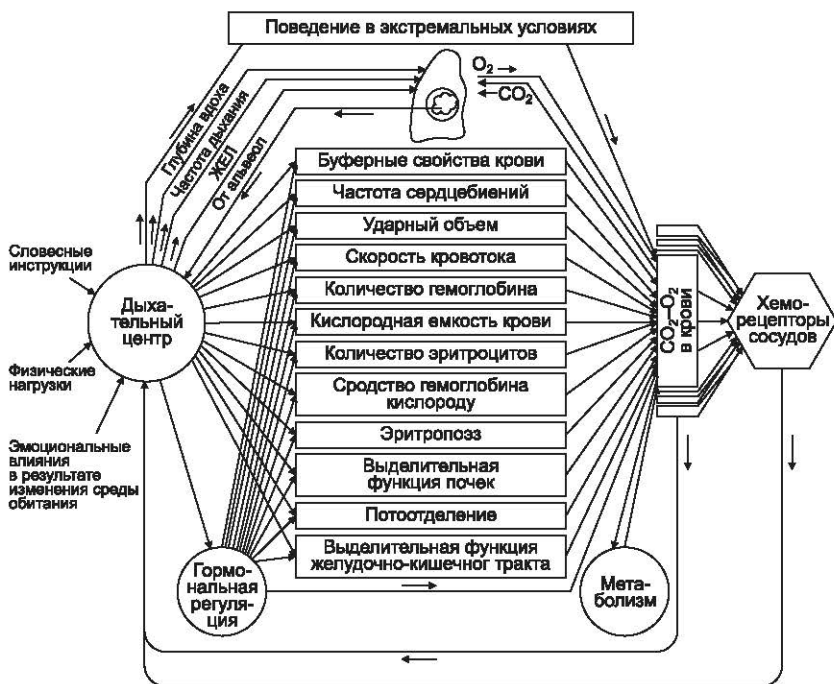


Рис. 1. Схема функциональной системы, поддерживающей газовый гомеостазис организма (Судаков К. В., Юматов Е. А., 1983)

крови обоснованы представлениями о том, что управление дыханием осуществляется по принципу обратной афферентации. Отклонение регулируемых параметров рН, рСО₂ и рО₂ через возбуждение периферических и центральных хеморецепторов рефлекторно воздействует на дыхательный центр так, что происходящие изменения в вентиляции легких приводят к нормализации или к уменьшению возникающих отклонений (Анохин П. К., 1965). В последующем к аналогичным выводам пришли многие другие исследователи, показавшие, что нарушение газового состава артериальной крови рефлекторно через хеморецепторы каротидной и аортальной зон вызывает изменение дыхания, направленное на восстановление газового гомеостаза.

Фактором, активно стимулирующим увеличение легочной вентиляции, является физическая работа, независимо от того, сопровождается ли она изменением напряжения газов в альвеолярном воздухе и артериальной крови (Маршак М. Е., 1961; Михайлов В. В., 1983 Dejours P., 1964, 1977). При этом уровень легочной вентиляции, точно следуя за увеличением энергозатрат организма, начинает меняться с первого дыхательного цикла после начала мышечной деятельности (Кичайкина Н. Б., 1969; Кучкин С. Н., 1986; Bainton C. R., Kirkwood P., 1966; Mognoni P., Mastardi R., 1972).

Все это свидетельствует о том, что в регуляции ФСД участвует не только афферентация из дыхательных мышц и легочных рецепторов, но и с проприорецепторов локомоторного аппарата, служащего дополнительным и очень важным стимулом в механизме саморегуляции дыхания у человека. Эти рефлекторные влияния суммируются на одних и тех же мотонейронах дыхательных мышц. Таким образом, центральные и сегментарные дыхательные рефлексы являются лишь отдельными звеньями общей функциональной системы саморегуляции дыхания.

Отсутствие параллелизма в регуляторных изменениях дыхания и отклонениях в газовом составе артериальной крови при изменениях уровня метаболизма в организме в начале мышечной деятельности свидетельствует о том, что информация возникает в рецепторах локомоторного и дыхательного аппарата и что она опережающе передается в дыхательный центр нервным, а не гуморальным путем. Рефлекторная импульсация при этом в корне отличается от той, которая возникает при отклонении в газовом

составе артериальной крови (Сафонов В. А., Ефимов В. Н., Чумаченко А. А., 1980; Пятин В. Ф., 1988 и др.). В данном случае возникшее в организме возмущение, связанное с ожидаемым увеличением потребления кислорода. Интенсивное образование углекислого газа создает предпосылку для выраженных отклонений в артериальной крови, но этого не происходит, т.к. работа дыхательных мышц усиливается под влиянием возмущающих сигналов еще до того, когда могли бы появиться отклонения в газовом составе артериальной крови. По мнению Л. Л. Шика (1958), это типичное регулирование дыхания по возмущению.

Согласно теории функциональных систем, помимо регулирования дыхания по возмущению, существует регулирование дыхания по отклонению, которое строится на принципе обратной афферентации, сигнализирующей о возникающих отклонениях в регулируемых параметрах (pH , pCO_2 , pO_2), в результате чего происходят изменения уровня объема вентиляции, приводящие к нормализации возникающего отклонения (Анохин П. К., 1973; Судаков К. В., 1982; Юматов Е. А., 1983).

Регулирование дыхания по прогнозированию, имея условно-рефлекторную природу, повсеместно встречается в спортивной практике, а также при определенных видах профессиональной деятельности, когда ожидание старта или начала производственного процесса вызывают изменения уровня вентиляции (Летунов С. П., 1962; Лауэр Н. В., Колчинская А. З., 1965).

Из сказанного можно сделать вывод о том, что функциональная система дыхания меняет свою деятельность не только в результате коррекции наступающих отклонений, но и в порядке предвидения и предупреждения человеком ожидаемых отклонений в газовом составе крови. С общебиологических позиций аналогичную мысль в своих работах высказывает К. В. Судаков (1982, 1990, 1999, 2001, 2004).

Многочисленные экспериментальные исследования и наблюдения показывают, что дыхание может меняться под влиянием самых разнообразных раздражений, действующих на экстеро- и интерорецепторы. Наряду с врожденными дыхательными рефлексам, дыхание подвержено изменениям под влиянием приобретенных дыхательных рефлексов. Изменение дыхательной периодики и дыхательных объемов наступает под влиянием индифферентных раздражителей, если такие раздражители перед

тем подкреплялись мышечной работой (Ольянская Р. П., 1950). В свое время Г. П. Конради и З. Б. Бебешина (1936) показали, что после многократных повышений $p\text{CO}_2$ во вдыхаемом воздухе возникает условно-рефлекторное увеличение вентиляции в ответ на обстановку или на специально выработанный условный сигнал. Реакция увеличения вентиляции, возникающая до начала вдыхания газовой смеси с избыточным содержанием CO_2 и до начала мышечной деятельности, имеет условно-рефлекторное происхождение (Быков К. М., 1947).

Интересные факты в этом плане были получены и обобщены М. Е. Маршаком (1961). Оказалось, что когда испытуемый выполняет стандартную много раз повторяемую работу, наблюдается относительное постоянство газового состава крови, но при выполнении этими же испытуемыми непрерывной работы большого объема интенсивности или при работе в новых условиях в регуляции дыхания отмечались неадекватные отклонения и она становилась несовершенной. К аналогичным выводам пришли в последующих своих работах Dejours (1962), Юматов Е. А. (1972), Kao F. F. et al. (1964, 1972), Asmussen E. (1973, 1977) и др. Таким образом, на основании вышеизложенного можно заключить, что функциональная система дыхания обладает способностью к самообучению, а система управления дыханием при этом совершенствуется (Маршак М. Е., 1961; Колчинская А. З., 1971; Шик Л. Л., 1973; Агаджанян Н. А., Гневушцев В. В., Катков А. Ю., 1987).

Авторы отмечают, что физиологический механизм самообучения формирует такое соотношение внешнего и внутреннего звена саморегуляции при выполнении физической работы, которое обеспечивает наименьшие затраты O_2 на работу собственных дыхательных мышц. Однако перечисление механизмов регуляции и самообучения функциональной системы дыхания в покое и при мышечной работе не исчерпывают данную проблему. Рядом исследований была показана активная роль нейромедиаторов, которые могут выступать в роли ингибиторов стимуляции дыхания (Сергеева М. В. и соавт., 1975; Базаревич Г. Я. и соавт., 1979). Нарушение синтеза химических посредников катехоламинов, ацетилхолина и серотонина сопровождается вентиляторным ацидозом (Волков Н. И. и соавт., 1970). В условиях интенсивной мышечной работы нейромедиаторы играют

значительную роль в изменении деятельности функциональной системы дыхания (Виру А. А., 1973; Габдрахманов Д. Ш., 1975; Кассиль Г. Н., 1976; Низовцев В. П., Скулкова Н. П., 1997 и др.). По мнению авторов, в указанной ситуации ведущая роль в передаче афферентных сигналов на дыхательный центр принадлежит адренореактивным системам.

Учитывая, что деятельность функциональной системы дыхания обеспечивается скелетными мышцами, произвольное сокращение которых принципиально не отличается от произвольного управления другими видами локомоторных действий, можно считать, что физиологическая функция дыхания столь же произвольная, сколь и произвольная.

Теоретической базой произвольных влияний на внешнее звено саморегуляции дыхания является изучение центральных механизмов управления произвольными движениями.

В истории отечественной науки на заре развития проблемы о механизмах корковой организации произвольных движений стоят имена И. П. Павлова, его ученика и последователя П. К. Анохина, а также ряда других ученых. Обобщая экспериментальные исследования своих учеников, И. П. Павлов (1949) заложил теоретическую основу проблемы физиологических механизмов так называемых произвольных движений. Он выдвинул положение о том, что произвольные движения – это движения, исходящие из коры полушарий. Кора больших полушарий очень сложное образование, где наряду с двигательными имеются чувствительные кинестетические клетки. Раздражению кинестетических клеток в коре отвечает определенное движение; вместе с тем пассивное воспроизведение движения посылает импульсы в те кинестетические клетки, раздражение которых активно производит это движение. Таким образом, еще И. П. Павлов выдвинул идею о тесном взаимодействии разных уровней нервной системы и тем самым предварил идею о кольцевом принципе, который лежит в основе организации движений и который несколько позднее разработал один из его талантливых учеников – академик П. К. Анохин, создавший теорию функциональной системы. В настоящее время учение И. П. Павлова о произвольных движениях и теория П. К. Анохина о функциональной системе являются методологией для дальнейшего изучения физиологических механизмов произвольных влияний на внешнее звено саморегуляции

дыхания, сопровождающееся формированием нового стереотипа дыхания и газового гомеостаза.

Несмотря на особый интерес, связанный с возможностью произвольного управления человеком своими вегетативными функциями, приходится отметить парадоксальный изъян в наших знаниях о произвольном управлении дыханием, т.к. с помощью произвольного влияния на внешнее звено саморегуляции появляется реальная возможность влиять на газовый гомеостазис, а значит, и на физиологические процессы, относящиеся к висцеральным функциям.

Однако, прежде чем перейти к рассмотрению данных вопросов, есть необходимость остановиться более подробно на объемно-временных соотношениях частоты и глубины дыхания, а также вентиляторно-газообменных показателях у лиц различного уровня тренированности и вида локомоторной деятельности. При этом оптимальной моделью наблюдения и исследования являются спортсмены, занимающиеся различными видами спорта, формирующими различные вентиляторно-газообменные соотношения.

Многочисленными исследованиями показано, что ФС регулирования легочной вентиляции в покое осуществляется благодаря хеморецепторной сигнализации, увеличивающей или уменьшающей объем дыхания в соответствии с интенсивностью метаболизма. Механорецепторная афферентация дыхательной системы, регулирующая необходимое соотношение объемно-временных показателей дыхательного цикла, играет выборочно-вспомогательную роль. Таким образом, функциональная система дыхания функционирует, опираясь на два основных контура регулирования: хеморецепторный и механорецепторный (Исаев Г. Г., 1983; Waurick, 1970; Wasserman K., 1975, 1976, 1979; Ward, 1977, 1979; Whipp B. J., 1978, 1980). Однако такая схема не может объяснить регуляции дыхания при физических нагрузках, т.к. выявленные в условиях покоя закономерности при физической деятельности резко изменяются.

Как уже отмечалось ранее, на первом этапе физической нагрузки большого объема и интенсивности при полном отсутствии гуморальных сдвигов значительно нарастает легочная вентиляция. Данный феномен наводит на мысль о том, что в регуляции дыхания возникают нейрогенные компоненты вентиляторной реакции на возмущающие воздействия физической

нагрузки в ее начальной фазе. При этом в регуляции дыхания принимают участие рецепторы работающих мышц, связочного аппарата и суставов. На последующих этапах физической нагрузки активно включаются и хеморецепторные механизмы, т.е. гуморальные механизмы регуляции дыхания. Однако не совсем ясно, на каком этапе и через какие физиологические механизмы это участие осуществляется (Данько Ю. И., 1964, 1974; Шик Л. Л., 1970, 1973; Колчинский А. З., 1971, 1973; Исаев Г. Г., 1983; Rebuck A. S. et al., 1976; Kalia M., 1981; Fordyce et al., 1982 и др.).

Общеизвестно, что обеспечение содержания повышенного количества кислорода и удаление из организма избытка углекислого газа при выполнении мышечной работы сопряжено с увеличением легочной вентиляции, т.е. затраты энергии на производимую мышечную работу обеспечиваются увеличением газообмена. Даже самые незначительные напряжения малых групп мышц вызывают достоверное увеличение потребления кислорода. Спокойная ходьба увеличивает расход энергии в два раза, а спортивная нагрузка в 20–30 и более раз по сравнению с уровнем покоя (Гандельсман А. Б., Смирнов К. М., 1970; Campbell E. J.M., 1958; Agostoni E., 1976, 1978). При интенсивной мышечной работе вентиляция легких может возрасти многократно, достигая величины 120–150 л/мин вместо 6–8 л/мин в состоянии покоя. Объективно подтверждено, что любое увеличение вентиляции легких повышает ее кислородную стоимость. При вентиляции в 150 л/мин на работу мышц, участвующих в дыхании, необходимо до 1,5 л/мин кислорода (Hollmann W., 1972). При предельном увеличении вентиляции легких (180–200 л/мин) поглощение O_2 дыхательными мышцами достигает многократного увеличения по сравнению с состоянием покоя (Михайлов В. В., 1970, 1983). Вполне естественно, что при таком напряжении вентиляторного аппарата поступающий в организм дополнительно O_2 только частично используется для достижения полезного результата. Поэтому многие авторы считают, что максимально эффективная вентиляция легких при мышечной работе для высокотренированных лиц находится в пределах 130–170 л/мин (Летунов С. П., 1966; Фарфель В. С., 1975; Михайлов В. В., 1983 и др.).

Указанные данные и наши собственные исследования свидетельствуют о том, что компенсаторные возможности механизмов регуляции функциональной системы дыхания ни при каких