

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГУЛЯЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ПАЦИЕНТА

Современной медицине зачастую приходится иметь дело с состояниями, вызванными нарушениями в системе регуляции дыхания. Их причины и возможные нейрофизиологические обоснования различны: они могут возникать на фоне бронхиальной астмы, ишемической болезни сердца, неврозов, гипертонической болезни и ряда других заболеваний. Такие состояния объединены общим термином “гипервентиляционный синдром” (ГВС). Лечение ГВС – задача сложная. По мнению большинства исследователей, наиболее эффективно – воздействие на организм по методу биологической обратной связи (БОС). Устройство для регуляции дыхания пациента на основе этого метода и предлагается вниманию читателя.

С физиологической точки зрения гипервентиляция (ГВ) – это неадекватное по отношению к уровню газообмена в организме увеличение легочной, а точнее, альвеолярной вентиляции [1]. ГВ приводит к избыточному выделению CO_2 из организма, развитию гипокапнии, сопровождаемой снижением парциального давления (концентрации) углекислого газа в альвеолярном воздухе (PACO_2) и кислорода в артериальной крови (PAO_2), и как следствие – к развитию респираторного алкалоза. Наиболее эффективный метод лечения ГВС – БОС. Он заключается в тренировке, позволяющей пациенту сознательно управлять вегетативными функциями организма. Основная цель метода – обучение правильному дыханию, коррекция временной структуры дыхательного цикла, ликвидация ГВ-сдвигов. Эффективный показатель, по которому контролируется эффективность тренировки, – уровень PACO_2 в выдыхаемом воздухе. Именно поэтому при разработке устройства регуляции параметров внешнего дыхания пациента (УРПВД) была поставлена задача организовать БОС за счет мониторинга концентрации CO_2 в выдыхаемом воздухе [2]. С этой целью в цепь обратной связи УРПВД был встроены анализатор углекислого газа, позволяющий измерять коэффициент U_3 -поглощения компонентами газовой среды [3].

УРПВД состоит из электронного блока, дыхательной камеры, блока питания, маски или загубника. В дыхательную камеру входят встроенные калибраторы (для формирования ламинарного потока в измерительном объеме), пьезопреобразователь и отражатель (для U_3 -локации вдыхаемого и выдыхаемого воздуха), управляемый



Н.Корнев, В.Курышев, Д.Ракита, В.Соломаха

клапан (для испираторного закрытия дыхательного канала). Камера механически крепится к маске или загубнику и подключается к электронному блоку с трактом возбуждения и регистрации данных анализатора CO_2 , микроконтроллером для управления режимами работы и обработки информации, и индикаторным устройством.

Режим работы УРПВД задается элементами управления на его внешней панели (“<”, “>”). При включении индикатор РЕЖИМ отображает “режим 0”, и устройство контролирует PACO_2 при произвольном дыхании пациента. Индикатор CO_2 отображает текущие значения концентрации углекислого газа в выдыхаемом воздухе и ее максимальное значение во время вдоха.

В течение первых 16 циклов дыхания (подготовительный этап) формируются и запоминаются среднее значение концентрации углекислого газа в выдыхаемом воздухе пациента (CO_2)_{ср} и длительность среднего цикла дыхания ($T_{ц}$)_{ср}. Переход от подготовительного этапа к этапу управления временными параметрами дыхания происходит автоматически за счет регулирования продолжительности вдоха. Индикатор при этом воспроизводит символ “Тренировка” и подсказку “Начало фазы вдоха”. При переводе устройства в режим управления временными параметрами дыхания задается повышение уровня концентрации CO_2 в выдыхаемом воздухе (ΔCO_2) на 0,1% (режим 1), 0,2% (режим 2) и так далее до 0,9% (режим 9).

Концентрация CO_2 в альвеолярном воздухе в первом приближении обратно пропорциональна степени вентиляции легких, которая, в свою очередь, в первом приближении прямо пропорциональна отношению длительности вдоха к длительности цикла дыхания. Поэтому процесс тренировки предусматривает автоматическое регулирование длительности вдоха пациента по отношению к длительности его цикла дыхания в зависимости от величины и знака разности между текущим (CO_2) и заданным [$(\text{CO}_2)_{ср} + \Delta\text{CO}_2$] значениями концентрации углекислого газа в альвеолярном воздухе. Устройство совместно с пациентом можно рассматривать как систему автоматического регулирования, в которой реализован интегральный закон регулирования, так как в процесс формирования управляющего воздействия введен интегрирующий элемент (“реверсивный счетчик”).

В ходе формирования управляющего воздействия сначала определяется длительность вдоха ($T_{вд}$)_{*i*} на каждом *i*-м шаге регулирования:

$$(T_{вд})_i = 0,4 (T_{ц})_{i-1} \cdot V^{-r}, \quad (1)$$

где ($T_{ц}$)_{*i-1*} – длительность предыдущего цикла дыхания; *V* – основное показателем функции, определяющее относительное изменение отношения длительности вдоха к длительности цикла дыхания; *r* – величина, задаваемая “реверсивным счетчиком”. Для обеспечения плавного изменения соотношения длительности вдоха к длительности цикла дыхания величина *V* выбрана равной 1,05. В момент начала регулирования (*r*=0) отношение длительности вдоха к длительности

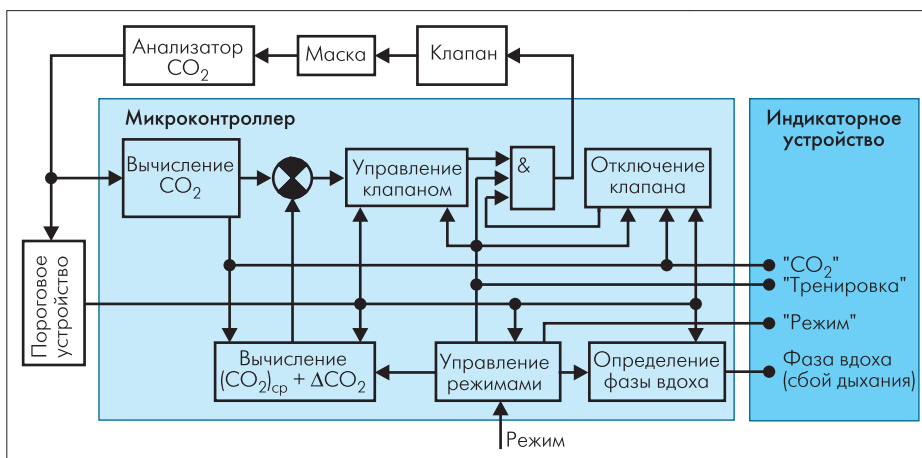


Рис. 1. Блок-схема УРПВД

цикла дыхания равно 0,4 (среднее для человека в покое), что и обеспечивает плавность перехода от режима подготовки к режиму регулирования. В дальнейшем процессе, если заданная величина концентрации CO_2 превышает значение его концентрации в альвеолярном воздухе, отношение длительностей вдоха и цикла дыхания уменьшается (уменьшается величина r), в противном случае – увеличивается. За один цикл дыхания это соотношение изменяется в V раз (r изменяется на единицу).

В ходе процесса управления клапаном в соответствии с выражением (1) микроконтроллер устройства (рис.1) выполняет операции функционального преобразования и формирования регулируемой задержки. Результат функционального преобразования – код $(T_{вд})_i$ в момент начала вдоха t_i – заносится в “счетчик” и начинает списываться с частотой 10 Гц. Таким образом, обнуление “счетчика” осуществляется с задержкой относительно начала вдоха t_i на вычисленную в соответствии с выражением (1) длительность очередного вдоха $(T_{вд})_i$. При этом формируется импульс, который через логический элемент “И” закрывает клапан, что ограничивает вентиляцию легких пациента и приводит к повышению уровня концентрации CO_2 в его организме. При очередном выдохе струя воздуха открывает клапан, и начинается работа по формированию очередного $(i+1)$ -го вдоха. Как показал опыт, в процессе регулирования отношение длительностей вдоха и цикла дыхания не бывает ниже 1:10, т.е. значение r не превышает 40, поэтому для хранения данных, получаемых при функциональном преобразовании, можно использовать ПЗУ. Система автоматического регулирования – астатическая (установившаяся ошибка системы равна нулю), поскольку содержит интегрирующий элемент, и погрешность поддержания заданной концентрации углекислого газа в альвеолярном воздухе зависит только от точности анализатора CO_2 .

Принудительное ограничение длительности вдоха у некоторых пациентов, плохо контролирующих свое дыхание в процессе сеанса работы с устройством, может вызвать нежелательное учащение ритма дыхания и переход на неглубокое поверхностное дыхание. Для предотвращения этого в УРПВД предусмотрено отключение клапана до момента восстановления пациентом нормального ритма дыхания. При поверхностном дыхании точка перегиба зависимости концентрации углекислого газа в выдыхаемом пациентом воздухе от времени – капнограммы (рис.2а) – смещается к моменту окончания выдоха, и интервал между началом выдоха и точкой перегиба τ_1 начинает превышать интервал между точкой перегиба и окончанием выдоха τ_2 (рис.2б). Поэтому-то процедура формирования сигнала отключения клапана основана на измерении и сравнении этих интервалов времени. Причем время, соответствующее точке перегиба на капнограм-

ме, определяется как момент равенства нулю второй производной этой зависимости по времени (рис. 2в).

Для поддержания рекомендуемого режима дыхания, следование которому предотвращает переход пациента на поверхностное дыхание и в результате повышает эффективность и точность регулирования, введена процедура определения фазы вдоха. При этом длительность выдоха в процессе регулирования постепенно изменяется от 0,6 до $-1,2(T_{ц})_{ср}$, где $(T_{ц})_{ср}$ – средняя длительность цикла дыхания, определенная и записанная в память в процессе подготовительного режима.

На каждом i -м шаге регулирования длительность выдоха определяется как

$$(T_{вд})_i = 0,6 (T_{ц})_{ср} \cdot V^m, \quad (2)$$

где $V=1,05$, а m – величина, задаваемая “счетчиком-делителем”.

$(T_{вд})_i$ вычисляется так же, как $(T_{вд})_i$. При этом величина m выбирается в пределах от 0 до 16. Следовательно, $T_{вд}$ может увеличиться в 2,18 раза по сравнению с $T_{вд} = 0,6 (T_{ц})_{ср}$, что пациент выдерживает достаточно легко. Кроме того, содержимое “счетчика-делителя” в моменты τ_i увеличивается на единицу только в тех случаях, когда концентрация CO_2 в альвеолярном воздухе ниже заданной.

Для установления эффективности применения УРПВД учеными кафедры функциональной диагностики Рязанского государственного медицинского университета на базе пульмонологического отделения Рязанской ОКБ было обследовано 94 больных бронхиальной астмой (31 мужчина и 63 женщины) различной степени тяжести заболевания в возрасте от 16 до 68 лет. Все они прошли комплексное клинико-диагностическое обследование (до начала лечения и перед выпиской из стационара). Капнографическое исследование показало, что у 87 пациентов наблюдались те или иные нарушения уровня $PACO_2$ в вы-

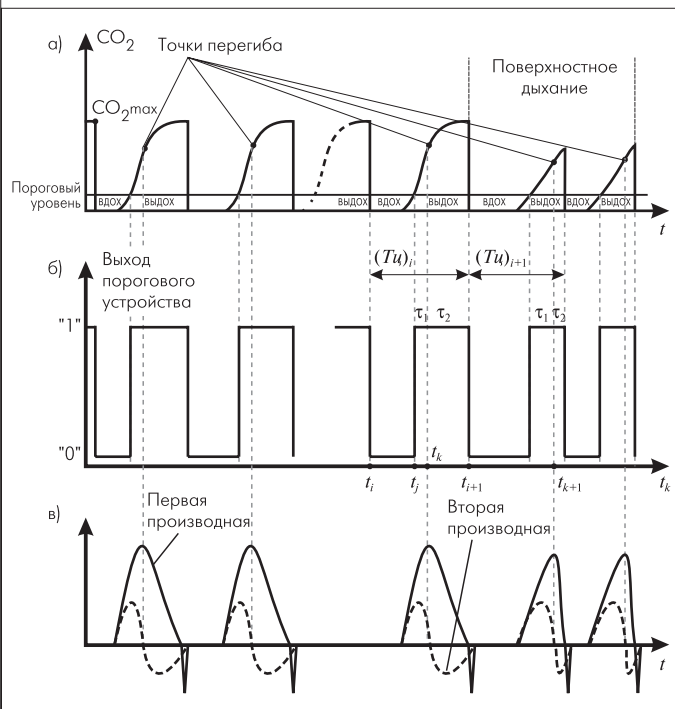


Рис.2. Временные диаграммы: а) режима дыхания; б) выходного сигнала порогового устройства и в) производные капнограммы

дыхаемом воздухе. По степени тяжести заболевания все пациенты были разделены на три группы: с легким персистирующим, со среднетяжелым и тяжелым течением болезни. В каждой из этих групп были выделены опытная и контрольная подгруппы. Пациенты опытных подгрупп наряду с традиционным лечением проходили тренировку с прибором. Курс занятий был рассчитан на 10-12 дней пребывания в стационаре. Ежедневно проводились три сеанса по 10-15 мин. Предельно простое в обращении УРПВД позволило практически всем пациентам очень быстро адаптироваться к работе с ним. В ходе занятий требовалось только задавать необходимый уровень концентрации CO_2 в выдыхаемом воздухе и по сигналу делать вдох.

После завершения работы с прибором 89,6% больных отметили улучшение самочувствия – облегчение дыхания, уменьшение или исчезновение ощущения преграды в грудной клетке, беспричинной

зевоты, кардиалгий, слабости и других симптомов, характерных для ГВС. Субъективное улучшение самочувствия отмечалось и у пациентов контрольных подгрупп, однако число гипокпических жалоб сократилось в меньшей степени, чем в опытных подгруппах. Достоверного улучшения уровня РАСО_2 у пациентов контрольных подгрупп зафиксировано не было. Таким образом, применение УРПВД при комплексном лечении больных бронхиальной астмой позволяет добиться значительного улучшения как со стороны субъективных ощущений нарушений вентиляции, так и со стороны объективных проявлений ГВС.

Клинические исследования УРПВД проводились также в клинике нервных болезней им. А.Я. Кожевникова Московской медицинской академии им. Сеченова, на базе Тульского государственного университета в отделении пульмонологии Тульской ОКБ и на кафедре внутренних болезней медико-биофизического факультета Российского государственного медицинского университета. Во всех этих учреждениях также были получены положительные отзывы о работе прибора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бронхиальная астма /Под ред. А.Г. Чугалина.– М.: Агар, 1997. Т.2, с.3-39.
2. Патент 216475 РФ . Устройство для регулирования дыхания пациента/Корнев Н.П., Лактюшкин В.Н., Соломаха В.Н., Шматов Ю.В.
3. Вихров С.П., Курышев В.В., Мижеев А.А. Ультразвуковой анализатор концентрации углекислого газа в выдыхаемом воздухе. - См. наст.вып., с. 46.