

УДК 615.835.3

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ТЕРАПИИ

О.Б. ЗЕЛЬМАНСКИЙ, Е.И. ДАВИДОВСКАЯ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Белорусская медицинская академия последипломного образования
П. Бровки, 3, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 22 ноября 2016

Предложено устройство для автоматической доставки кислорода пациенту. Скорость подачи кислорода, его концентрация, а также длительность терапии определяются устройством исходя из результатов мониторинга с помощью входящего в его состав датчика измерения содержания кислорода в кровотоке и пульса пациента.

Ключевые слова: кислородная терапия, концентратор кислорода, пульсоксиметрия.

Введение

В связи с ростом распространенности лечение хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) представляется приоритетной задачей. Принимая во внимание позднюю диагностику и неадекватность лечения, стоит отметить преобладание тяжелых степеней ХОБЛ и, как следствие, потерю трудоспособности и раннюю инвалидность. Согласно исследованию [1], ведущей причиной смертности пациентов с ХОБЛ являются дыхательная недостаточность (38 %), легочное сердце (13 %), легочные инфекции (11 %) и др. Таким образом, основной причиной смерти больных с заболеваниями легких является дыхательная недостаточность, представляющая собой патологический синдром, при котором возможности легких обеспечить нормальный газовый состав артериальной крови ограничены, а именно парциальное напряжение кислорода артериальной крови (PaO_2) менее 60 мм.рт.ст., а парциальное напряжение углекислоты ($PaCO_2$) более 45 мм.рт.ст. Лечение дыхательной недостаточности до настоящего времени остается одной из самых трудных задач терапевтов, пульмонологов, реаниматологов и врачей других специальностей. Коррекция гипоксемии с помощью кислорода является наиболее обоснованным методом терапии дыхательной недостаточности [2], целью которой является достижение значений PaO_2 более 60 мм.рт.ст., насыщения кислородом артериального гемоглобина SaO_2 более 90 % [3]. В отличие от некоторых неотложных состояний (пневмония, отек легких, травма), использование кислорода у больных с хронической гипоксемией должно быть постоянным, длительным и, как правило, проводиться в домашних условиях, поэтому такая форма терапии называется длительной кислородной терапией. Длительная кислородная терапия на сегодняшний день является единственным методом лечения хронической дыхательной недостаточности, улучшающим выживаемость больных ХОБЛ [4]. У больных ХОБЛ с гипоксемией длительная кислородная терапия способна продлить жизнь на 6–7 лет.

Теоретический анализ

В большинстве случаев больным дыхательной недостаточностью достаточно потока O_2 1–2 л/мин, в то время как у наиболее тяжелых больных поток может быть увеличен и до 4–5 л/мин. Длительность кислородной терапии должна составлять не менее 15 часов в

сутки. Максимальные перерывы между сеансами не должны превышать 2-х часов. В противном случае возможно значительное повышение легочной гипертензии [2]. В ночное время, при физической нагрузке и при воздушных перелетах пациенты должны увеличивать поток кислорода в среднем на 1 л/мин по сравнению с оптимальным дневным потоком.

Использование требующих регулярной перезарядки кислородных баллонов и кислородных подушек представляется неудобными и небезопасными, что ограничивает возможности длительной кислородной терапии. Таким образом, на сегодняшний день оптимальным является применение концентраторов кислорода, обеспечивающих получение кислородсодержащей смеси с концентрацией кислорода до 95 % из окружающего воздуха [5].

В основе работы адсорбционных концентраторов кислорода лежит короткоцикловая безнагревная адсорбция – КБА (PSA – «Pressure Swing Adsorption»), характеризующаяся тем, что цикл состоит не менее чем из двух стадий, протекает при температуре окружающей среды и длится 0,1–5 мин. На первой стадии при давлении выше атмосферного (4–6 атм.) происходит поглощение адсорбентом преимущественно молекул азота с получением первого продукционного потока кислорода. На второй стадии поглощенные молекулы азота выделяются из адсорбента и отводятся в качестве второго продукционного потока при атмосферном давлении. Адсорбент представляет собой высокопористые твердые гранулы 0,5–5 мм с большой удельной поверхностью пор, помещенные в цилиндрические емкости (адсорберы). В качестве адсорбента применяются синтетические цеолиты, способные поглощать молекулы азота и пропускать молекулы кислорода. Это обусловлено тем, что диаметр молекулы азота немного превосходит диаметр молекулы кислорода. Таким образом, воздух под давлением 4–6 атмосфер проходит через один из периодически переключающихся электромагнитных клапанов в первый адсорбер. Находящийся в нем цеолит поглощает преимущественно азот, а кислород проходит через слой адсорбента и через обратный клапан поступает к пациенту. В это же время во втором адсорбере происходит понижение давления и выброс накопленного азота. Кроме того, часть кислорода из первого адсорбера поступает через дроссельное устройство во второй и дополнительно вытесняет из него накопленный азот. Через время полцикла адсорберы обмениваются своими функциями. Концентратор полностью автоматизирован и работает без непосредственного участия человека [5]. Таким образом, концентратор кислорода представляет собой устройство очистки воздуха от азота циклического типа с автоматической регенерацией адсорбента в каждом цикле работы.

Согласно результатам исследования [6] при длительности одного курса $7,4 \pm 2,3$ месяца и средней продолжительности $15,1 \pm 2,7$ ч в сутки для 45 пациентов, имевших показания для проведения длительной кислородной терапии на дому, шестилетняя выживаемость составила 60,9 %. Частота госпитализаций уменьшилась с 2,5 до 0,4 в год. Через 36–42 месяца после прекращения длительной кислородной терапии уровень SaO_2 93–95 % остается стабильным. Таким образом, длительная кислородная терапия на дому является эффективным стационарозамещающим методом лечения.

В ходе проведения длительной кислородной терапии необходим постоянный контроль таких параметров как SaO_2 и частота сердечных сокращений с помощью портативного пульсоксиметра. Пульсоксиметр состоит из датчика, микропроцессора, дисплея, показывающего кривую пульса, значение сатурации и частоты пульса. Датчик представляет собой комбинацию двух светодиодов, один из которых излучает видимый свет красного спектра (660 нм), а второй дает невидимое глазу инфракрасное излучение (940 нм). На противоположной части датчика находится фотодетектор, определяющий интенсивность падающего на него светового потока. Когда между светодиодами и фотодетектором находится палец или мочка уха пациента, часть излучаемого света поглощается кровью и мягкими тканями в зависимости от концентрации в них гемоглобина. Количество поглощенного света каждой из длин волн зависит от степени оксигенации гемоглобина в тканях [7]. Насыщение артериальной крови кислородом, измеренное методом пульсоксиметрии, обозначается SpO_2 .

Кислород транспортируется кровотоком главным образом в связанном с гемоглобином виде. Одна молекула гемоглобина может перенести до четырех молекул кислорода и в этом случае она будет насыщена на 100 %. Оксигемоглобин (HbO_2) – полностью оксигенированный

гемоглобин, каждая молекула которого содержит четыре молекулы кислорода. Средний процент насыщения популяции молекул гемоглобина в определенном объеме крови и является кислородной сатурацией крови. Сатурация вычисляется в среднем за 5–20 с. Частота пульса рассчитывается по числу циклов светодиодов и уверенным пульсирующим сигналам за определенный промежуток времени [7].

Экспериментальная часть

Для обеспечения пациента требуемым количеством кислорода с заданным значением концентрации в автоматическом режиме исходя из результатов проведения мониторинга содержания кислорода в крови и пульса, было разработано устройство для проведения длительной кислородной терапии [8]. Устройство включает в себя следующие элементы:

1. Кислородный концентратор «Оксимед» F7-5, обеспечивающий поток кислородсодержащей смеси до 5 л/мин с объемной долей кислорода не менее 87 %.

2. Датчик измерения содержания кислорода в кровотоке и пульса пациента «Оксимед» JPD-500, характеризующийся следующими значениями основных параметров:

– измерение SpO₂ в диапазоне 70–100 % с погрешностью в пределах ± 2 % в диапазоне 80–99 % и ± 3 % в диапазоне 70–79 %;

– измерение пульса в диапазоне 30–235 ударов в мин с погрешностью в пределах ± 2 удара в мин в диапазоне 30–99 ударов в мин и ± 3 % в диапазоне 100–235 ударов в мин.

3. Подсистему пневматики (рис. 1), которая обеспечивает смешивание кислорода, поступающего от концентратора кислорода, и воздуха с образованием газообразной смеси, имеющей требуемую концентрацию кислорода, и ее доставку пациенту.

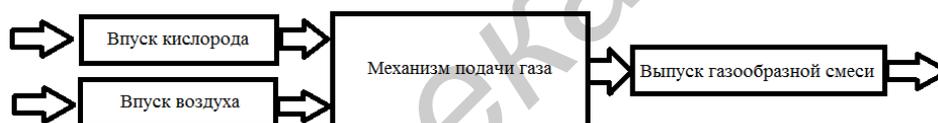


Рис. 1. Структурная схема подсистемы пневматики

4. Управляющую подсистему, соединенную с датчиком и подсистемой пневматики, и в свою очередь включающую:

– устройство ввода, предназначенное для задания желательной концентрации кислорода в кровотоке пациента;

– сенсорный интерфейс для получения данных измерений датчика;

– интерфейс подсистемы пневматики для отсылки команд и получения данных от подсистемы пневматики;

– интерфейс концентратора кислорода;

– процессор, осуществляющий управление концентрацией и количеством подаваемого кислорода исходя из данных измерений датчика и заданной желательной концентрации кислорода в кровотоке пациента.

Структурная схема устройства для проведения длительной кислородной терапии представлена на рис. 2.

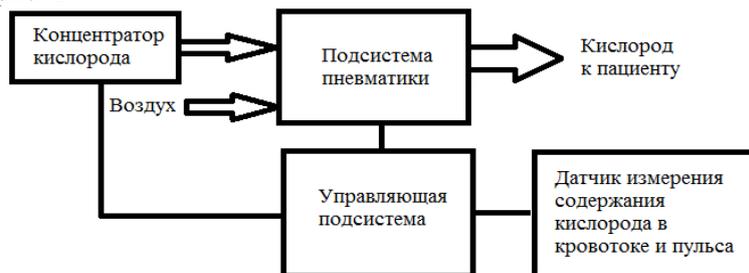


Рис. 2. Структурная схема устройства для проведения длительной кислородной терапии

Устройство работает следующим образом. Датчик измерения содержания кислорода в кровотоке и пульса пациента определяет значения концентрации кислорода в кровотоке пациента и его пульса и передает эти значения управляющей подсистеме посредством сенсорного интерфейса. Управляющая подсистема на основании заданного с помощью устройства ввода желательного значения концентрации кислорода в кровотоке и полученных от датчика фактических значений отсылает команды и получает данные от концентратора кислорода посредством интерфейса концентратора кислорода и подсистемы пневматики с помощью интерфейса подсистемы пневматики. Концентратор кислорода обеспечивает выработку из атмосферного воздуха кислородсодержащей смеси заданного процессором объема, которая через выход кислорода поступает на выпуск кислорода подсистемы пневматики. Механизм подачи газа смешивает получаемый от впуска кислорода кислород и получаемый от впуска воздуха воздух с образованием газообразной смеси, заданной процессором концентрации, и доставляет ее пациенту путем выпуска газообразной смеси [5].

Непосредственная доставка кислородсодержащей смеси пациенту осуществляется посредством гарнитуры. Следует обратить особое внимание на применяемые при кислородной терапии гарнитуры. Тип гарнитуры влияет на долю кислорода во вдыхаемом воздухе (FiO_2). Зависимость FiO_2 от типа гарнитуры и скорости потока кислорода приведена в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость FiO_2 от типа гарнитуры и скорости потока кислорода

| Тип гарнитуры | Скорость потока кислорода, л/мин | Доля кислорода во вдыхаемом воздухе (FiO_2), % |
|--|----------------------------------|--|
| Низкопоточная назальная канюля | 5 | 40 |
| Простая лицевая маска | 6 | 50 |
| Высокопоточная лицевая маска с увлажнением | 8 | 80 |
| Маска Вентури | 8 | 80 |
| Маска с резервуаром | 10 | 99 |

Сегодня наиболее распространены назальные канюли. Они удобны в эксплуатации и доступны по цене. Рекомендуемые режимы длительной кислородной терапии с помощью назальных канюль у больных дыхательной недостаточностью приведены в табл. 2.

Таблица 2. Режимы длительной кислородной терапии с помощью назальных канюль

| PaO ₂ , мм.рт.ст. при FiO ₂ = 21 % | Режим кислородной терапии | |
|---|----------------------------------|--|
| | Скорость потока кислорода, л/мин | Доля кислорода во вдыхаемом воздухе (FiO_2), % |
| 55–60 | 1 | 24 |
| 50–54 | 2 | 28 |
| 45–49 | 3 | 32 |
| 40–44 | 4 | 36 |

Результаты и их обсуждение

На рис. 3 приведен график зависимости содержания кислорода в кровотоке и пульса пациента от времени в вечерние и ночные часы, измеренные посредством портативного пульсоксиметра.

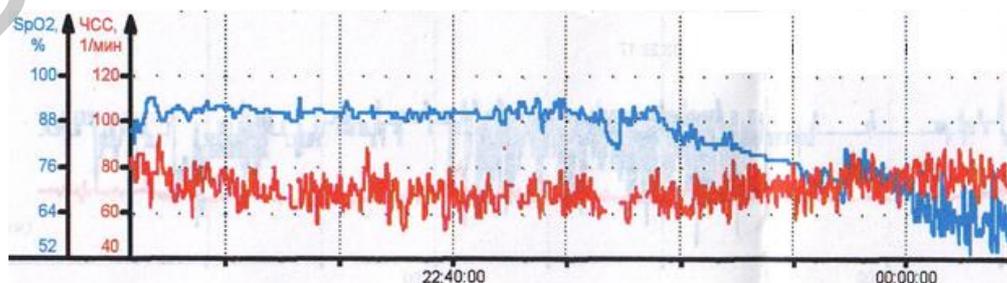


Рис. 3. График зависимости содержания кислорода в кровотоке и пульса пациента от времени

Как видно из рис. 3, после 23:20 наблюдается значительное снижение SpO₂ и, как следствие, повышение пульса. Применение предлагаемого устройства в данном случае позволило бы зафиксировать момент выхода значений контролируемых параметров пульса и содержания кислорода в кровотоке за установленные граничные значения и начать подачу кислорода необходимой концентрации и в необходимом пациенту объеме. Концентрация и количество подаваемого кислорода рассчитываются исходя из значений содержания кислорода в кровотоке и пульса пациента, с учетом диагноза и статистики наблюдения.

Заключение

Разработано устройство для проведения длительной кислородной терапии, которое позволяет обеспечить автоматическую доставку кислорода, вырабатываемого из атмосферного воздуха, требуемой концентрации и в требуемом объеме пациенту в соответствии с концентрацией кислорода в его кровотоке с целью кислородной терапии при различных заболеваниях, сопровождающихся хронической дыхательной недостаточностью.

APPARATUS FOR THE LONG-TERM OXYGEN THERAPY

O.V. ZELMANSKI, E.I. DAVIDOVSKAYA

Abstract

An apparatus for the automatic delivery of oxygen to the patient is proposed. Oxygen flow rate, its concentration and duration of treatment are determined by the device on the basis of monitoring of the oxygen concentration in the blood and the patient's pulse by the sensor that is the part of the proposed apparatus.

Keywords: oxygen therapy, oxygen concentrator, pulse oximetry.

Список литературы

1. Zielinski J.L. // Monaldi Arch Chest Dis. 1997. № 1 (52). С. 43–50.
2. Авдеев С.Н. Дыхательная кислородная терапия при хронической недостаточности М., 2011.
3. Инструкция по применению ксдоротерапии при хронических обструктивных болезнях легких. Минск, 2005.
4. Титова О.Н. Клинические и фармако-экономические подходы к эффективной медицинской реабилитации больных инвалидов по хронической обструктивной болезни легких: автореф. дис. ... докт. мед. наук. Санкт-Петербург, 2008.
5. Зельманский О.Б., Давидовская Е.И. // Матер. Республ. научн.-практ. конф. «Актуальные проблемы медицины». Гомель, 5–6 ноября 2015 г. С. 361–363.
6. Баскакова А.Е. Длительная кислородотерапия на дому при тяжелой дыхательной недостаточности : дисс. ... докт. мед. наук. Москва, 2006.
7. Хилл Е., Стоунхэм М.Д. // Update in anaesthesia. 2001. № 6. С. 21–27.
8. Зельманский О.Б., Зельманский Б.В. Автоматизированная система доставки кислорода пациенту / Патент РБ № 10536.