

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УСТРАНЕНИЯ ЭПИЗОДОВ ОБСТРУКТИВНОГО АПНОЭ СНА

Буковский М.П. Email: Bukovskiy1136@scientifictext.ru

Буковский Максим Павлович – аспирант,
Научно-исследовательский институт медицинской техники
Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Аннотация: в настоящей статье описаны конструкция и принцип функционирования электронной биотехнической медицинской системы, предназначенной для устранения эпизодов остановок дыхания во сне. Система призвана в автоматическом режиме выявлять прекращение дыхания с помощью специальных датчиков, установленных на шею пациента, а также производить электрическое воздействие на мышцы верхних дыхательных путей, приводя их в тонус, и способствуя тем самым возобновлению дыхания. Система портативна, проста в эксплуатации и не требует специальных навыков для её применения, благодаря чему может ежедневно использоваться пациентом на дому.

Ключевые слова: синдром обструктивного апноэ, СОАС, сон, храп, остановка дыхания, миостимуляция.

A BIOTECHNICAL SYSTEM FOR ELIMINATION OF OBSTRUCTIVE SLEEP APNEA EPISODES

Bukovskiy M.P.

Bukovskiy Maxim Pavlovich – Graduate Student,
MEDICAL ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE
NOVOSIBIRSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY, NOVOSIBIRSK

Abstract: the article describes the construction and principles of operation of the electronic biotechnical medical system which is designed to eliminate obstructive sleep apnea syndrome episodes. The system is designed to detect breath terminations in automatic mode using special sensors installed on patient's neck and also to affect on upper airway muscles toning them and promoting respiration. The system is portable and easy to use. It doesn't require special skills thereby it can be used every night by patient at home.

Keywords: obstructive sleep apnea syndrome, OSAS, sleep, snore, breath termination, neuromuscular stimulation.

УДК 616-76

Введение

Синдром обструктивного апноэ сна (СОАС) – это заболевание которое характеризуется повторяющимися эпизодами остановок дыхания во сне длительностью 10 секунд и более, возникающими вследствие уменьшения просвета верхних дыхательных путей вплоть до их полного спадания, падением уровня насыщения крови кислородом, частыми пробуждениями, сопровождающимися резкими громкими всхрапываниями и чрезмерной дневной сонливостью.

Из определения видно, что в основе болезни лежит периодическое, регулярно повторяющееся прекращение лёгочной вентиляции. Это происходит из-за спадания стенок верхних дыхательных путей (ВДП) на уровне глотки. При этом при полном их смыкании дыхание полностью прекращается – развивается эпизод апноэ. При тяжёлых формах СОАС количество его эпизодов за ночь может достигать нескольких сотен. При каждой остановке дыхания длительностью около минуты суммарное время отсутствия дыхания может достигать 3-4 часов [1]! Это приводит к существенному падению уровня кислорода в крови, что в свою очередь ведёт к развитию таких тяжёлых для сердечно-сосудистой и дыхательной системы человека последствий, как артериальная гипертония, нарушения сердечного ритма, инфаркт миокарда и инсульт. Эти последствия могут быть настолько серьёзны, что могут привести к внезапной смерти человека во сне [1]. Как уже отмечалось выше, каждый эпизод апноэ (остановка дыхания) сопровождается нарушением целостности сна: человек может проснуться с неприятными ощущениями удушья, учащённого сердцебиения и тяжести в груди [1]. Однако чаще происходит лишь смещение стадии сна из глубокой в более поверхностную, что также негативно сказывается на качестве сна. Наутро человеку крайне тяжело перейти ото сна к состоянию активного бодрствования, беспокоит головная боль, чувство сонливости может преследовать на протяжении всего дня. Снижаются физические и умственные способности, обычная работа кажется более тяжёлой, теряется концентрация внимание, сосредоточиться на чем-нибудь часто кажется невозможным. Частые пробуждения негативным образом сказываются на нервной и эндокринной системе организма человека [1]. Потеря концентрации особенно опасна автомобилистов, поскольку приступы дневной сонливости часто становятся причиной дорожно-транспортных происшествий [2].

Как видно, СОАС является серьёзным заболеванием, не только несущим риски для сердечнососудистой, дыхательной, эндокринной и нервной системы организма человека, а также его жизни и здоровью в целом, но и доставляющим очевидные социально-бытовые, а также существенные экономические проблемы.

Обзор существующих и перспективных способов борьбы с СОАС

В части лечения СОАС и устранения его негативных последствий на сегодняшний день получившим наиболее широкое распространение в клинической практике является метод создания постоянного положительного давления в верхних дыхательных путях (СРАР-терапия), впервые предложенный Sullivan СЕ. и соавторами в 1981 году [3]. Суть такой терапии заключается в нагнетании в верхние дыхательные пути посредством ротоносовой маски воздуха под

давлением, создаваемым компрессором. Постоянное (или переменное в случае применения более совершенного аппарата BiPAP) давление в области верхних дыхательных путей препятствует их спаданию, что предотвращает эпизоды апноэ. Однако несмотря на своё распространение CPAP-терапия не всегда оказывается приемлемой в долгосрочной перспективе из-за своих недостатков: необходимости проведения постоянного лечения, недостаточной эффективности у отдельных категорий больных, побочных эффектов, социально-бытовых проблем и дороговизны аппаратов CPAP [1]. Это обуславливает непрекращающиеся попытки научных групп создать устройство, которое не имело бы присущие CPAP-терапии недостатки, но позволяющее не менее эффективно устранять СОАС. Следует отметить приборы, устраняющие СОАС благодаря электрической стимуляции мышц верхних дыхательных путей. Впервые этот метод борьбы с апноэ был предложен в 1989 году Miki H. и соавторами. Воздействуя через кожу импульсами токов частотой 50 Гц и длительностью 0,5 мс, учёным удалось добиться снижения индекса апноэ/гипноэ – основного интегрального показателя степени тяжести СОАС – у 6 пациентов. Однако полностью устранить эпизоды апноэ тогда так и не удалось. Позже в 1992 году Edmonds L.C. и соавторы сделали попытку продолжить исследования в данном направлении [4]. В своей работе они также исследовали чрезкожную электрическую стимуляцию язычно-подбородочных мышц. Используя сигналы с теми же частотными характеристиками, но увеличив величину тока, она обнаружили, что такой вид стимуляции оказывается неэффективным, поскольку приводит к пробуждению пациента во время проводимой стимуляции. Учёные пришли к выводу, что для эффективного устранения СОАС может потребоваться не чрезкожная, а прямая стимуляция указанных мышечных структур [4]. Так, в 1996 году Schwartz A.R. и соавторы применили в своих исследованиях метод стимуляции мускулатуры языка путём прямого внутриродового наложения электродов [5]. Однако, несмотря на то, что учёным удалось таким способом увеличивать проходимость верхних дыхательных путей для воздушного потока без пробуждения пациента, такой метод не получил распространения из-за очевидных неудобств, создаваемых для пациента. В 1997 году Eisele D.W. и соавторы пошли дальше в исследовании прямой стимуляции подъязычного нерва при СОАС [6]. Ими была проведена непосредственная стимуляция нервов, иннервирующих мышцы верхних дыхательных путей и языка. В результате было установлено, что такое воздействие также приводит к увеличению проходимости дыхательных путей для воздушного потока, без пробуждения человека. Воздействие проводилось в ручном режиме. То есть электроды были подсоединены к обычному миостимулятору и врач сам определял момент воздействия. С появлением вычислительных технологий появились системы миостимуляции, позволяющие воздействовать на мышцы верхних дыхательных путей в автоматическом режиме. Так, в 2011 группа исследователей из Австралии во главе с Eastwood P.R. разработала имплантируемую автоматическую систему миостимуляции [7]. Стимулятор, датчики, а также электроды имплантировались хирургическим путём под кожу пациентов. Исследование доказало работоспособность такой системы. Очевидным недостатком такой системы, а также любой другой, где электроды имплантируются под кожу, является инвазивность. Таким образом, разработка неинвазивного метода, позволяющего эффективно устранять эпизоды апноэ и не проводящего к пробуждению пациента, имеет как научную, так и практическую значимость.

Разработанная система борьбы с СОАС

Основной задачей при разработке описываемой в данной статье биотехнической системы является устранение существенных недостатков существующих и перспективных технических решений, предназначенных для устранения СОАС. При разработке системы, к ней предъявлялись следующие медико-технические требования:

- неинвазивность – установка прибора и его функционирование должны быть связаны с нарушением кожного покрова пациента;
- портативность – возможность использовать систему независимо от внешних источников питания;
- компактность – возможность размещения прибора на теле пациента;
- простота использования – возможность для пациента самостоятельно разместить прибор на теле и привести его в действие;
- удобство использования – прибор не должен стеснять движения пациента и мешать сну, даже при еженощном использовании;
- дешевизна – прибор должен быть доступен для домашнего применения всеми группами населения;
- автономность – прибор должен функционировать в полностью автоматическом режиме, выявляя остановки дыхания и устраняя их без участия человека.

Исходя из этих требований, была выбрана концепция биотехнической медицинской системы. Система представляет собой электронный прибор, состоящий из нескольких блоков. Структурная схема системы изображена ниже на рисунке 1.

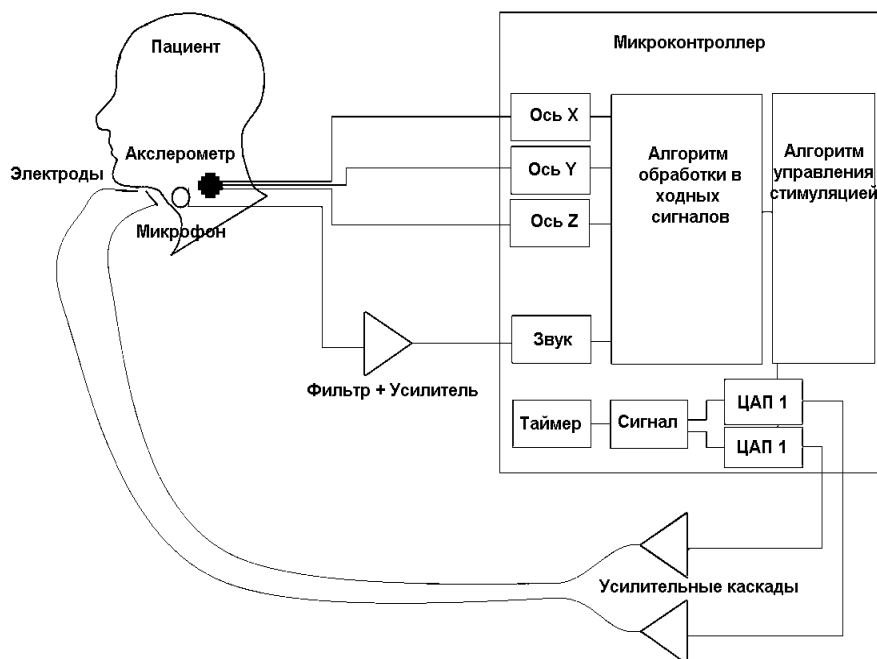


Рис. 1. Структурная схема биотехнической системы выявления и устранения эпизодов обструктивного апноэ

Система имеет автономное аккумуляторное питание. Для выявления остановок дыхания используются высокочувствительные датчики, микрофон и акселерометр, установленные на гибкой печатной плате на шее пациента.

Полученные с датчиков данные несут информацию о дыхании человека в реальном времени. В микроконтроллере полученные данные обрабатываются и определяются моменты остановок дыхания. В момент развития эпизода апноэ микроконтроллер активирует блок нейромышечной электростимуляции, стимулирующий мышцы верхних дыхательных путей через 4 установленных на шее пациента электрода. Отличие от существующих систем стимуляции мышц при СОАС заключается в том, что для стимуляции выбран метод интерференцтерапии. Интерференцтерапия — метод лечебного использования интерференционных токов.

Физическую основу метода составляет сложение двух электромагнитных колебаний одинаковой амплитуды и близкой частоты, в результате которого происходит их интерференция. Результатом этих колебаний будет возникновение биений (модулированных по амплитуде токов с частотой равной разности частот двух исходных сигналов и глубиной модуляции 100%). Из-за особенностей образования интерференционные токи имеют удвоенную амплитуду исходных токов в месте их образования и оказывают наиболее выраженное воздействие на глубокорасположенные ткани. Необходимо также учитывать, что возбуждающим действием обладает преимущественно низкочастотная составляющая интерференционных токов, а не его несущая частота. Поэтому образующие биения токи не вызывают раздражения афферентов соматосенсорной системы. Напротив, благодаря соответствию периода биений инерционности потенциалзависимых ионных каналов нейромеммы и сарколеммы, интерференционные токи оказывают выраженное воздействие на возбудимые ткани внутренних органов. Они вызывают деполяризацию сарколеммы гладких мышц и изменение функциональных свойств висцеральных афферентов, модулируют эффекторную нейротрофическую регуляцию внутренних органов. Из-за большой продолжительности каждого биения, интерференционные токи способны вызвать возбуждение биологических тканей с низкой лабильностью [8].

Предложенный метод нейромышечной стимуляции позволит устранять эпизоды обструктивного апноэ и при этом удовлетворяет всем предъявленным к нему в начале пункта требованиям.

Заключение

В настоящее время разработанная система собрана в качестве нескольких опытных образцов. Блоки системы проходят технические доклинические испытания для подтверждения характеристик, заложенных в систему на этапе проектирования. Поданы 3 заявки на патенты. Проект нашёл государственную поддержку от Фонда содействия малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе УМНИК-2015. В ходе дальнейших планируется проведение клинических испытаний каждого блока в отдельности всей системы в целом.

Список литературы / References

1. Бузунов Р.В., Легейда И.В. Храп и синдром обструктивного апноэ сна. Учебное пособие для врачей. М.: Управление делами Президента Российской Федерации ФГУ Клинический санаторий «Барвиха», 2011. 77 с.
2. George C.F., Smiley A. Sleep apnea & automobile crashes // Sleep, 1999. Vol. 22. P. 790-795.
3. Sullivan C.E., Issa F.G., Bertho-Jones M., Eves L. Reversal of obstructive sleep apnoea by continuous positive airways pressure applied through the nares // Lancet, 1981. Vol. 1. P. 862-865.

4. *Edmonds L.C., Daniels B.K., Stanson A.W., Sheedy P.F. III, Shepard J.W. Jr.* The effects of transcutaneous electrical stimulation during wakefulness and sleep in patients with obstructive sleep apnea. *Am Rev Respir Dis.*, 1992. 1464:1030-1036.
5. *Schwartz A.R., Eisele D.W., Hari A., Testerman R., Erickson D., Smith P.L.* Electrical stimulation of the lingual musculature in obstructive sleep apnea. *J Appl Physiol.*, 1996. 81: 643–652.
6. *Eisele D.W., Smith P.L., Alam D.S., Schwartz A.R.* Direct hypoglossal nerve stimulation in obstructive sleep apnea. *Arch Otolaryngol. Head Neck Surg.*, 1997. 123 (1): 57–61.
7. *Eastwood P.R., Barnes M., Walsh J.H.* Treating obstructive sleep apnea with hypoglossal nerve stimulation. *SLEEP*. Vol. 34. № 11, 2011. P. 1479–1486.
8. *Улащик В.С., Лукомский И.В.* Общая физиотерапия: Учебник. 3-е изд., стереотип. Книжный Дом, 2008. 512 с.