

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ВНЕШНЕЙ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНЦЕНТРАЦИЕЙ КИСЛОРОДА НАРКОЗНО-ДЫХАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Сатишур О. О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Стасишина А. М. – к.т.н., доцент

В данной статье описываются основные принципы разработанного автоматизированного блока управления наркозно-дыхательного аппарата по поддержанию параметров внешней вентиляции и концентрации кислорода на вдохе. Принцип работы основан на применении обратных связей между датчиками кислорода, давления, потока и микроконтроллером. Автоматическое поддержание параметров в определенных пределах позволит обеспечить большую безопасность пациента во время общей анестезии.

Современный наркозно-дыхательный аппарат представляет собой сложное пневматически-электронное устройство. Кроме непосредственного обеспечения ингаляционной анестезии аппарат должен выполнять функцию замещения внешнего дыхания, а также мониторинга ряда параметров [1]. В связи с трудностью исполнения этих задач в режиме реального времени, невозможно обойтись без обратной связи по параметрам, влияющих на жизнеобеспечение пациента во время хирургического вмешательства. В первую очередь это поддержание необходимой оксигенации пациента за счет управления концентрацией подаваемого кислорода в газовой смеси. Во-вторых, это параметры внешнего дыхания (дыхательный объем, частота, минутный объем), обеспечивающие полноценное удаление углекислого газа, вырабатываемого организмом во время метаболизма. Физиологически поддержание респираторной функции организма (внешнее дыхание и оксигенация) – это то, без чего невозможна жизнедеятельность человека, и особенно пациента, который не может самостоятельно дышать во время проведения операции [2].

Разрабатываемый блок управления наркозного аппарата состоит из следующих элементов (рисунок 1): система подачи смеси газов, датчик кислорода, датчик давления, датчик потока, микроконтроллер и драйвер шагового двигателя, который регулирует движение дыхательного меха при подаче заданного дыхательного объема.

Для поддержания анестезии и оксигенации пациента из наркозного аппарата подается газовая смесь, включающая в себя кислород и газовый либо летучий анестетик. При подаче данной газовой смеси очень важно поддерживать минимально достаточную концентрацию кислорода, ниже которой она не должна опускаться, чтобы не вызвать гипоксию. Для большинства пациентов такой минимальной концентрацией является 30% [2]. Сложность поддержания данной концентрации возникает в тех случаях, когда врач решает применять ингаляционную анестезию по, так называемому, полузакрытому контуру. В такой ситуации значительная часть выдыхаемого газа от пациента (обедненного кислородом) возвращается обратно в дыхательный контур на рециркуляцию, поэтому есть опасность снижения реальной концентрации кислорода при последующем вдохе [3]. Для мониторинга концентрации кислорода на вдохе имеется кислородный датчик [1].

В настоящей работе предлагается использовать кислородный датчик не только в качестве мониторинга реальной концентрации кислорода на вдохе, но и также с целью обеспечения обратной связи: микроконтроллер обеспечивает через клапаны системы подачи смеси газов автоматическое увеличение потока кислорода в том случае, если концентрация кислорода на вдохе снижается менее определенного уровня (например менее 30%), и наоборот, снижение потока подаваемого кислорода в случае его избыточной концентрации (например более 50%).

С другой стороны, с точки зрения безопасности и физиологичности управления дыхательным объемом в данной статье помимо использования кислородного датчика предлагается использовать датчик давления, расположенный на вдохе дыхательного контура, который позволяет не только обеспечивать мониторинг давления в дыхательных путях, но и по принципу обратной связи автоматически регулировать величину дыхательного объема. Речь идет о так называемой протективной (щадящей) вентиляции легких. Избыточный дыхательный объем опасен создаваемым при этом слишком высоким давлением в дыхательных путях, которое вызывает перерастяжение легочной ткани вплоть до ее разрыва, что чревато опасными осложнениями (баротравма легких) [3]. Отсюда становится ясным важность ограничения давления в дыхательных путях во время вдоха. Давление в дыхательных путях в значительной степени зависит от податливости (растяжимости) легких C (*compliance*), рассчитываемой по формуле:

$$C = \frac{V_t}{P_{aw}}$$

где V_t – дыхательный объем, мл;

P_{aw} – давление в дыхательных путях, мБар.

Если у пациента есть заболевание с низкой податливостью легких, то даже при подаче относительно небольшого дыхательного объема давление будет избыточным. Тогда, используя обратную связь от датчика давления, микроконтроллер через драйвер шагового двигателя останавливает движение дыхательного меха, тем самым ограничивая подаваемый дыхательный объем, если давление в дыхательном контуре достигает определенной величины, которой, как правило, является не более 30 мБар [3]. Для мониторинга дыхательного объема применяется потоковый датчик в дыхательном контуре. Расчет дыхательного объема производится по формуле:

$$V_t = V' * t$$

где V' – поток, л/с;

t – время прохождения потока через датчик, с.

Что касается физиологичности подаваемого дыхательного объема, то необходимо отметить, что в обычной жизни у человека при самостоятельном дыхании величина дыхательного объема отличается от одного дыхательного цикла к другому, при чем эта разбежка может достигать 10-15% [4]. Похожую физиологичность неравномерно дыхательного объема вполне можно перенести и на работу наркозного аппарата, когда он замещает функцию внешнего дыхания. В таком случае алгоритм подачи дыхательного объема может выглядеть следующим образом: часть вдохов с заданным врачом дыхательным объемом, далее идет чередование через определенные промежутки времени с большим или меньшим дыхательным объемом, отличающимся от заданного на определенную величину, например, на 5-10%.



Рисунок 1 – структурная схема разрабатываемого автоматизированного блока управления наркозно-дыхательного аппарата

Таким образом автоматическая регулировка по принципу обратной связи концентрации кислорода и ряда параметров внешней вентиляции может способствовать обеспечению более безопасных и физиологических условий проведения общей ингаляционной анестезии современными наркозно-дыхательными аппаратами.

Список использованных источников:

1. Бурлаков В.И. и др. Мониторинг в анестезиологии и реанимации. Москва, 2002. – 214 стр.
2. Морган Д.Э. Клиническая анестезиология. Пер. с англ. Том 1. Глава 4 – Наркозный аппарат. Москва, 2001. – 307 стр.
3. Миллер Р.Д. Анестезия. Пер. с англ. 2015. – 3328 стр.
4. D.W. Shimabukuro, M.A. Gropper Noisy Mechanical Ventilation: Listen to the Melody. Anesthesiology 2009; Vol. 110: 214-215.