

ПРИБОР ДЛЯ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ НЕЙРОМЫШЕЧНОЙ БЛОКАДЫ В ПЕРИОД ДЕЙСТВИЯ МИОРЕЛАКСАНТОВ

Гойдь В. И.

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

Стасишина А. М. – к.т.н., доцент

В данной статье представлен прибор для мониторинга уровня нейромышечной блокады в период действия миорелаксантов. Отличительной особенностью данного прибора является совместное использование аккумуляторной батареи и сетевого питания. Разрабатываемый прибор позволяет осуществлять инструментальный мониторинг уровня нейромышечной блокады во время длительных операций.

Инструментальный мониторинг уровня нейромышечной блокады (НМБ), основанный на электронейростимуляции (ЭНС) двигательных нервов и оценке величины вызванной мышечной реакции, позволяет анестезиологу точно определить степень нейромышечной блокады. Данная информация необходима для точной дозировки мышечных релаксантов. Также по полученным данным можно объективно определить момент перевода пациента на спонтанное дыхание, что способствует снижению послеоперационных осложнений [1].

Для контроля уровня НМБ используют монополярные прямоугольные импульсы тока длительностью 300 мкс и амплитудой до 60 мА. Амплитуда выбирается на 20-25% выше значения, соответствующего максимальному мышечному ответу и определяются перед вводом пациенту мышечных релаксантов. Электроды размещаются на ладонной поверхности запястья: дистальный электрод (отрицательный) располагается на 10 мм проксимальнее точки пересечения кожной складки от сгибания запястья с лучевой стороной сухожилия локтевого сгибателя кисти; проксимальный электрод размещают так, чтобы расстояние между центрами электродов составляло 30-60 мм [2].

Существуют следующие режимы ЭНС:

- стимуляция одиночными импульсами (ST);
- стимуляция пачкой из четырех импульсов (TOF);
- посттетаническая стимуляция с подсчетом ответов (PTC);
- стимуляция двойными пачками (DBS).

Сущность ST-стимуляции заключается в стимуляции одиночными импульсами с частотой 1 Гц. Уровень НМБ оценивается по отношению текущего значения реакции к контрольному, определенному до введения мышечных релаксантов. Отношение, стремящееся к 1, соответствует блокированию менее 80% рецепторов. Отношение, стремящееся к 0, соответствует блокированию более 90% рецепторов. Данный режим используется для поиска амплитуды стимулирующего тока при настройке прибора, а также для быстрой оценки нейромышечной реакции при вводном наркозе.

Сущность TOF-стимуляции заключается в стимуляции четырьмя импульсами с частотой 2 Гц. При отсутствии НМБ регистрируется 4 ответа одинаковой амплитуды. По мере углубления НМБ уменьшается амплитуда 4 ответа и уровень блокады определяется как отношение первого ответа к четвертому. Если применяется деполяризующий мышечный релаксант – все четыре ответа будут иметь одну величину. В таком случае уровень НМБ оценивается по отношению текущего значения реакции к контрольному [3]. Когда уровень НМБ достигает 75% пропадает четвертый ответ, при 80% третий, при 90% второй. Отсутствие ответа свидетельствует о том, что уровень НМБ превышает 90%.

Сущность PTC-стимуляции заключается в стимуляции с частотой 50 Гц в течение пяти секунд. Затем, через три секунды, следует ST-стимуляция. Число ответов на ST-стимуляцию называется посттетаническим счетом. Данный режим используется для оценки ожидаемого времени появления первого ответа на TOF-стимуляцию и выполняется только в ручном режиме при отсутствии ответов на TOF-стимуляцию.

Сущность DBS-стимуляция заключается в стимуляции двумя пачками из трех импульсов с частотой 50 Гц. Перерыв между первой и второй пачками составляет 0,75 с. В случае частичной НМБ второй ответ ощущается слабее первого. Отсутствие различия в силе сокращения в ответе на DBS-стимуляцию означает полное снятие НМБ [1].

Существуют следующие методы регистрации мышечной реакции на ЭНС:

- электромиография (ЭМГ);
- механомиография (ММГ);
- акселеромиография.

Получение ЭМГ ответов очень чувствительно к электрическим помехам. Метод ММГ обладает недостаточной точностью, чувствителен к внешним воздействиям и требует громоздкого

оборудования. В связи с этими трудностями данные методы редко используются в клинической практике.

Метод акселеромиографии заключается в измерении ускорения большого пальца, которое вызвано мышечным сокращением в ответ на ЭНС. Согласно второму закону Ньютона, сила ускорения прямо пропорциональна силе мышечного сокращения. Единственное требование к закреплению датчика заключается в том, чтобы при движении, вызываемом ЭНС, палец имел возможность полного свободного движения [3].

Аналоги прибора (МНМБ-Диамант, *TOF-Watch*, *Stimpod NMS-450* и *TOFScan*) способны выполнять стимуляцию во всех четырех вышеперечисленных режимах и регистрировать мышечный ответ, однако все они имеют батарейное питание, что причиняет некоторое неудобство при длительных операциях. Для устранения данного недостатка в разрабатываемом приборе предложено совместное использование сетевого питания и аккумулятора, что гарантирует работу прибора при операциях любой длительности и отключении электроэнергии.

Структурная схема разрабатываемого прибора приведена на рисунке 1.

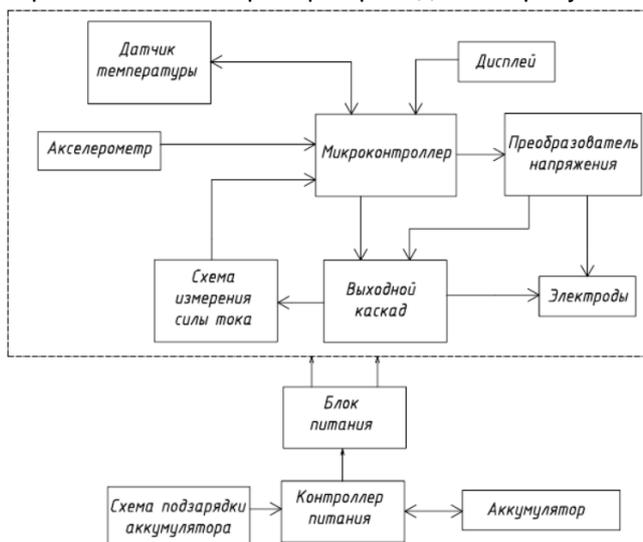


Рисунок 1 – Структурная схема разрабатываемого прибора для мониторинга уровня нейромышечной блокады в период действия миорелаксантов

Основным элементом разрабатываемого прибора является микроконтроллер *STM32*. Микроконтроллер генерирует меандр с частотой 50 Гц, который поступает на преобразователь напряжения. Основным элементом преобразователя напряжения является повышающий трансформатор, который обеспечивает получение напряжения 220 В и разрывает гальваническую связь между сетевым напряжением и стимулирующими электродами, что позволяет выполнить требования ГОСТ на электробезопасность. Также микроконтроллер, в соответствии с выбранным режимом ЭНС, посылает сигнал на выходной каскад, который состоит из транзисторного ключа и источника тока на биполярном транзисторе. Транзисторный ключ открывается и напряжение 220 В поступает на электроды и источник тока.

Схема измерения силы тока состоит из шунтирующего резистора, на котором образуется напряжение в соответствии с законом Ома, которое усиливается и поступает на пиковый детектор, регистрирующий максимальное значение напряжения. Накопительный конденсатор пикового детектора периодически разряжается с помощью реле. Напряжение на пиковом детекторе измеряется АЦП микроконтроллера, значение силы тока вычисляется и выводится на дисплей. В том случае, когда амплитуда импульсов будет иметь значение менее заданного, будет подан звуковой сигнал. Звуковой сигнал также будет подан, если уровень НМБ в режиме TOF-стимуляции будет 75% и менее, так как при таком уровне НМБ пациенты могут двигаться, что может быть нежелательно.

В разрабатываемом приборе акселерометр предназначен для регистрации ускорения стимулируемой мышцы. По значению ускорения вычисляется уровень НМБ, которое выводится на дисплей. Датчик температуры регистрирует температуру кожных покровов над сокращающейся мышцей, значение которой также выводится на дисплей.

Отличительной особенностью разрабатываемого прибора является обеспечение бесперебойного питания за счет совместного использования сетевого питания и аккумулятора. В момент, когда прибор питается от сетевого напряжения, аккумулятор подзарядается. Контроллер

питания контролирует заряд аккумулятора. Это позволяет использовать прибор во время длительных операций и гарантирует работу прибора при отключении электроэнергии.

Список использованных источников:

1. Калакутский, Л. И. Аппаратура и методы клинического мониторинга: Учебное пособие / Л.И Калакутский, Э.С. Манелис. – С.: Самарский государственный аэрокосмический университет, 1999. — 161 с.
2. Миллер, Р. Анестезия Рональда Миллера. В 4 т. / Р. Миллер – СПб.: Человек, 2009. — 3259 с.
3. Мониторинг нервно-мышечного блока в анестезиологии: Учебно-методическое пособие / С.С. Грачев [и др.]. – М.: Белорусский государственный медицинский университет, 2015. — 23 с.