



**Калакутский Л.И., Манелис Э.С.**

**Контроль нейромышечной функции во время наркоза**

**Электростимулятор “Нейромиотест-ответ - 01”**

Самара

УДК 615.47

*Калакутский Л.И., Манелис Э.С.*

**Контроль нейромышечной функции во время наркоза. Электростимулятор “Нейромиотест-ответ - 01”.  
Самара, 2001, 15с.**

Изложены основы инструментального контроля выраженности нейромышечной блокады во время наркоза с использованием специализированных электростимуляторов. Дано описание и методика применения электростимулятора “Нейромиотест-ответ - 01”.

© ЗАО Инженерно-медицинский центр "Новые Приборы", 2001 г.

Адрес: 443001, Самара, а/я 11137

Телефон / факс : (846-2)-335-64-26, 267-44-74

E-mail : [biotech@ssau.ru](mailto:biotech@ssau.ru)

WWW : <http://eliman.ru>

## Содержание

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>ПРИНЦИПЫ КОНТРОЛЯ НЕЙРОМЫШЕЧНОЙ ФУНКЦИИ ВО ВРЕМЯ НАРКОЗА .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ВЫРАЖЕННОСТИ НЕЙРОМЫШЕЧНОЙ БЛОКАДЫ С ПОМОЩЬЮ<br/>ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯТОРОВ .....</b> | <b>5</b>  |
| <b>ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯТОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ НЕЙРОМЫШЕЧНОЙ ФУНКЦИИ “НЕЙРОМИОТЕСТ-<br/>ОТВЕТ-01” .....</b>                      | <b>8</b>  |
| <b>МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯТОРА “ НЕЙРОМИОТЕСТ-ОТВЕТ - 01”.....</b>                                       | <b>9</b>  |
| <b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>   | <b>12</b> |

## Введение

Важным компонентом общей анестезии является управление двигательной активностью скелетных мышц, осуществляемое с помощью введения мышечных релаксантов. Под действием этих препаратов происходит стойкое нарушение передачи возбуждения от двигательного нерва к мышце, в результате чего образуется т.н. нейромышечная блокада (НМБ) проводимости. НМБ является обязательным условием расслабления мышц (миорелаксации), которое необходимо при проведении хирургического вмешательства.

Определение уровня ИМБ по клиническим признакам (мышечный тонус, увеличение легочного сопротивления, объема дыхания и др.) является неточным, что может привести, с одной стороны, к запоздалому введению миорелаксантов, что мешает работе хирурга, с другой, к передозировке препаратов, что требует продленной ИВЛ после окончания операции. На отдельных этапах операции уровень НМБ может быть снижен, а выход из наркоза должен происходить с минимальным остаточным уровнем послеоперационной НМБ для адекватного перехода к спонтанному дыханию.

Эффективное использование мышечных релаксантов не возможно без постоянного контроля уровня достигаемой НМБ, что особенно важно при использовании современных недеполяризующих препаратов, обладающих короткой длительностью действия.

Инструментальный мониторинг уровня НМБ основан на электростимуляции двигательных нервов и оценке величины вызванной мышечной реакции. Для этой цели разработаны мониторы (Accelegraph, Biometer; TOF-Guard, Organon Teknika), содержащие электростимуляторы и устройства регистрации и измерения силы мышечного ответа.

В широкой клинической практике можно оценивать нейромышечную функцию с помощью специальных электростимуляторов (MiniStim, Prof. Instr.; Innervator NS 252, Fisher & Paukel; **Нейромиотест-ответ - 01, Новые приборы**), которые недороги и просты в обращении. В этом случае оценка мышечной реакции производится визуально-тактильным способом, например, по сокращению большого пальца руки в ответ на электростимуляцию локтевого нерва. Опыт использования такой методики в сравнении с записью вызванных электромиограмм (А.У.Лекманов, 1996) показал достаточную надежность оценки нейромышечной функции как в ходе операции, так и по ее окончании в режиме восстановления проводимости.

## Принципы контроля нейромышечной функции во время наркоза

Инструментальная оценка уровня НМБ основана на получении информации о состоянии нейромышечной передачи путем использования методов и средств диагностической электростимуляции (ЭНС) периферических двигательных нервов и оценки величины вызванных мышечных ответов.

Стимулирующее воздействие в виде импульсного тест-стимула, подаваемого с выхода электростимулятора, через накожные электроды прикладывается в проекции локтевого нерва в области дистальной части предплечья. Контроль мышечного сокращения (ответа) осуществляется путем регистрации движения первого пальца кисти руки. Амплитуда вызванного ЭНС мышечного ответа отражает индивидуальную реакцию организма на действие миорелаксантов.

В мониторах НМБ контроль нейромышечной функции включает измерение величины ответа мышцы на тест-стимул диагностической ЭНС. Регистрация вызванной мышечной реакции осуществляется путем измерения силы сокращения мышцы с помощью механических датчиков перемещения или ускорения, а также путем измерения электромиографического ответа мышцы.

Оценка уровня НМБ определяется методикой мониторинга и может, например, производиться по вычисляемому в мониторе отношению текущего значения величины мышечного ответа к контрольному значению, полученному до назначения миорелаксантов или по отношению амплитуд реакций на первый и последний импульс тест-стимула. Величина отношения, показывающая уровень НМБ, выражается в процентах и индицируется на дисплее монитора. Тест-стимул подается на электроды с определенной периодичностью, например, через каждые 10 с, что обеспечивает непрерывность контроля уровня НМБ.

В случае использования для контроля нейромышечной функции только электростимуляторов, без дорогостоящей измерительной аппаратуры, определение выраженности мышечных ответов производится вручную путем тактильной оценки мышечных сокращений в ответ на раздражающие импульсы тест-

стимула. Для этой цели используются специальные режимы ЭНС, позволяющие проводить сравнительную оценку мышечных сокращений на следующие друг за другом импульсы в тест-стимуле.

Наблюдение и измерение мышечного ответа на фоне введения миорелаксантов позволяет получить важную информацию, необходимую для определения оптимального момента для интубации трахеи, точной дозировки препаратов для обеспечения НМБ, момента прекращения НМБ. В послеоперационном периоде по полученным данным объективно определяется момент перевода пациента на спонтанное дыхание, что способствует снижению послеоперационных осложнений.

Использование электронейростимуляции позволяет практически исключить просмотр недостаточного восстановления НМБ, что позволяет анестезиологу точно определить восстановилась ли нейромышечная проводимость полностью или сохраняется полный или частичный нейромышечный блок.

Если имеется частичный блок, возможно определение типа и степени блока, что чрезвычайно важно для выбора метода лечения.

### Методика контроля выраженности нейромышечной блокады с помощью диагностических электростимуляторов

Методика контроля уровня НМБ включает воздействие импульсами электрического тока на двигательные нервные проводники с целью их возбуждения, а также оценку вызванных мышечных ответов. Для определения уровня НМБ стимулы прикладываются в проекции локтевого или срединного нерва. Ответ на ЭНС оценивается по амплитуде реакции соответствующих мышц кисти руки. Величина амплитуды реакции определяется числом активируемых мышечных волокон, которое зависит от амплитуды стимулирующего тока. С увеличением тока величина сокращения мышцы растет до некоторой максимальной величины, после чего дальнейшее увеличение тока не влияет на амплитуду сокращения. Для контроля НМБ амплитуда стимулирующих импульсов на выходе электростимулятора устанавливается сверхмаксимальной, т.е. на 20...25% выше значения, соответствующего максимальному ответу, что необходимо для гарантированного возбуждения всех мышечных волокон.

После введения миорелаксантов ответ мышцы на ЭНС уменьшается пропорционально числу заблокированных мышечных волокон. Определяя величину ответа мышцы на фоне действия миорелаксантов можно зарегистрировать уменьшение или увеличение амплитуды ответа и соответственно оценить степень НМБ.

Как известно, возбудимость нерва определяется не только амплитудой стимулирующего импульса, но и его длительностью и формой. Поэтому данные параметры стимулов при нейромышечном мониторинге должны оставаться постоянными. Для контроля НМБ принято использовать стандартные стимулирующие импульсы: униполярные прямоугольные импульсы тока фиксированной длительности.

Для контроля НМБ с помощью электростимуляторов используются два стандартных режима стимуляции: режим **TOF** и **DBS** (рис.1). **TOF** /Train - of - Four/ - стимуляция пачкой из четырех импульсов; **DBS** /Double - Burst Stimulation/ - стимуляция двойными пачками.

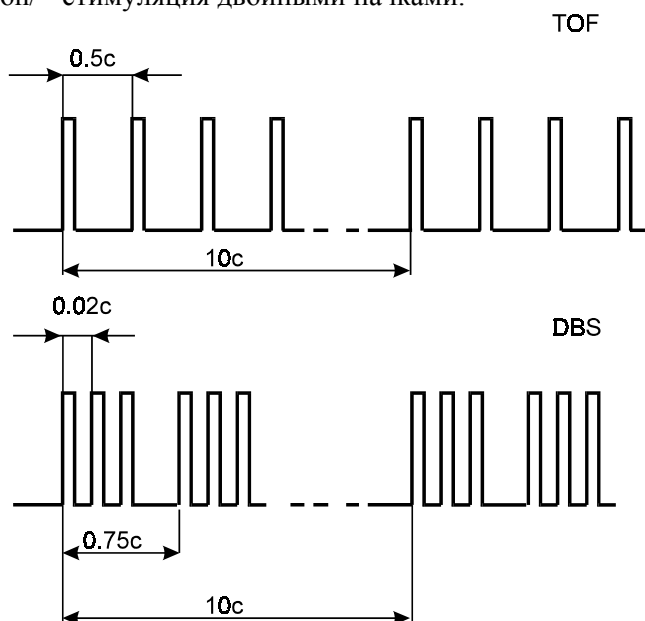


Рисунок 1 - Режимы электростимуляции для контроля НМБ

При **ТОФ- стимуляции** используются тест-стимулы в виде пачек, состоящих из четырех стандартных импульсов сверхмаксимальной амплитуды тока длительностью 0,22мс., частота следования импульсов в пачке - 2 Гц. Частота следования пачек при непрерывном контроле нейромышечной функции выбирается равной 0,1 Гц или запуск тест-стимула производится вручную. Каждый импульс в пачке вызывает мышечное сокращение, после чего, до прихода следующего импульса наступает расслабление. Таким образом, в нормальных условиях в ответ на **ТОФ-** стимул регистрируются четыре мышечных ответа (по одному на каждый импульс пачки).

Оценка уровня НМБ производится по определению количества зарегистрированных ответов, а также **ТОФ-отношению**, равному относительному снижению амплитуды четвертого ответа по сравнению с амплитудой первого (рис.2). В контрольном ответе (до введения миорелаксантов) все четыре амплитуды реакции равны и **ТОФ-отношение** равно 1 .

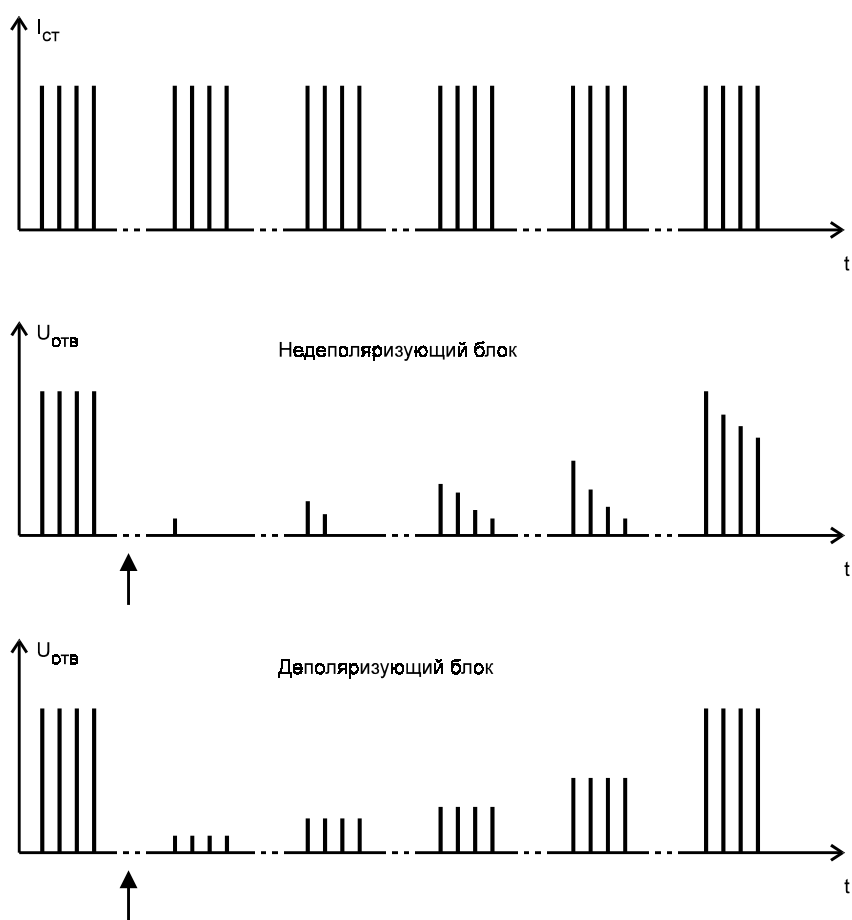


Рисунок 2 - Режим TOF - стимуляции  
 ↑ - момент введения мышечных релаксантов

**ТОФ** - отношение начинает снижаться, когда релаксантом занято 70-75% рецепторов концевых пластинок синапса. По мере углубления НМБ происходит снижение амплитуды всех четырех ответов и при достижении уровня 25% от исходного значения четвертый отклик пропадает, третий и второй ответы пропадают при значениях 20% и 10% соответственно.

Во время частичного недеполяризирующего блока отношение уменьшается (амплитуда реакции от первого импульса пачки к четвертому затухает), т.е. величина отношения оказывается обратно пропорциональна уровню НМБ.

При депполяризирующем блоке не происходит затухание реакции внутри пачки и **ТОФ-отношение** примерно равно 1.

Важной особенностью **ТОФ-стимуляции** является возможность оценки динамики изменения нервно-мышечной передачи во время влияния короткодействующих недеполяризирующих миорелаксантов, т.е. определяется изменение реакции происходящее за время действия пачки, т.е. за 1,5 сек.

**DBS - стимуляция** используется для определения уровня остаточной НМБ при пробуждении пациента. Эта методика предусматривает определение малых величин остаточной НМБ в клинических условиях без регистрирующей аппаратуры .

В режиме **DBS**- стимуляции на выходе электростимулятора формируется тест-стимул, состоящий из двух коротких пачек тетанической стимуляции. Тетаническая стимуляция представляет собой тетаническое воздействие стандартными импульсами, следующими с высокой частотой (50Гц). В нормальных условиях в ответ на Т-стимуляцию поддерживается сильное мышечное сокращение. Во время недеполяризующего блока в амплитуде ответа наблюдается затухание, которое определяется уровнем НМБ и может быть использовано для ее оценки.

**DBS**-стимул содержит две пачки импульсов с частотой следования импульсов в пачке 50 Гц, сдвинутых на 750 мс друг относительно друга. В каждой пачке содержатся по три стандартных импульса (**DBS 3,3**).

В нормальных условиях реакция на **DBS**-стимуляцию проявляется в двух одинаковых по силе мышечных сокращениях.

При частичной НМБ второй ответ оказывается слабее первого (Рис.3). Отсутствие различия в силе сокращения в ответе на **DBS**-стимуляцию означает полное окончание НМБ и исключает осложнения, связанные с остаточной курарезацией. Оценка НМБ с помощью **TOF**-стимуляции и **DBS**-стимуляции при пробуждении пациента и после операции совпадают.

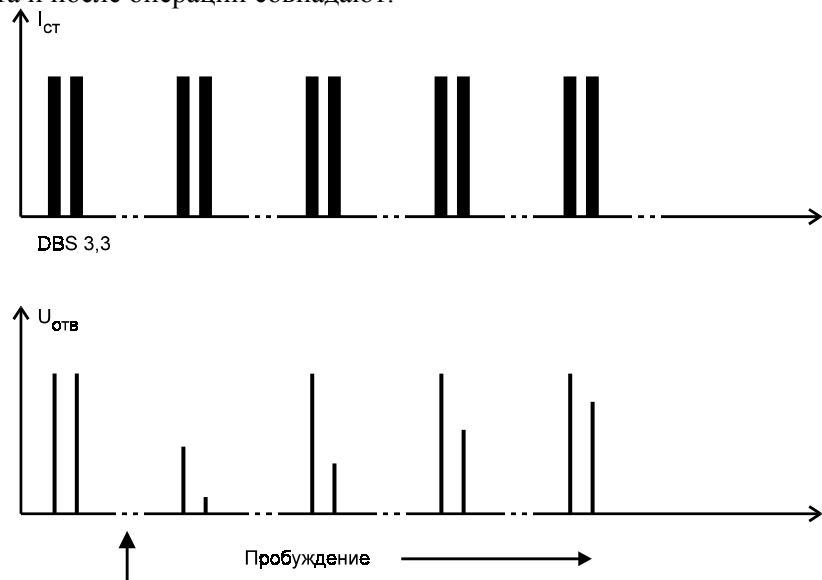


Рисунок 3 - Режим DBS - стимуляции

↑ - момент введения мышечных релаксантов

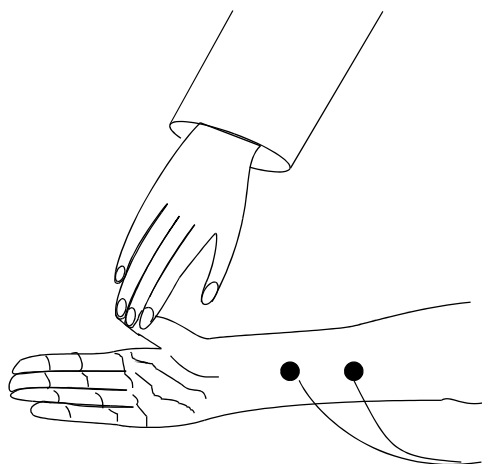


Рисунок 4 - Тактильный контроль мышечного ответа

Контроль выраженности нейромышечной блокады при использовании режимов **TOF**- и **DBS**-стимуляции может осуществляться визуально или вручную (тактильно). В последнем случае анестезиолог придерживает большой палец руки пациента (Рис.4). Данная методика позволяет при **TOF**-стимуляции надежно зафиксировать число ответов на импульсы тест-стимула и в определенных пределах оценить **TOF**-отношение. При использовании **DBS**-стимуляции удастся дифференцировать амплитуды ответов на первую и вторую пачку тест-стимула и тем самым оценить уровень остаточной НМБ.

#### **Электростимулятор для контроля нейромышечной функции “Нейромиотест-ответ-01”.**

Электростимуляторы, используемые для контроля уровня НМБ формируют тест - стимулы в режимах **TOF** и **DBS**, имеющие стандартные временные параметры (Рис.1). Единственным регулируемым параметром электростимулятора является амплитуда стимулирующего тока. Для достижения сверхмаксимальной амплитуды тока стимуляции выходной ток должен регулироваться в пределах 0...60 мА при длительности стимулирующего импульса 0,2 мс.

Особенностью характеристик электростимулятора является стабилизация стимулирующего тока при изменении сопротивления тканей в цепи электродов, включающих, кожу, подкожные ткани, возбудимые нервные структуры. Это вызвано тем, что во время анестезии электрокожное сопротивление может увеличиваться до 5 кОм, что может стать причиной ограничения тока стимула, снижения возбуждения нерва и, следовательно, появления ошибок в оценке ответа мышцы и уровня НМБ. Требование стабилизации тока может быть выполнено путем использования выходных каскадов электростимулятора в режиме генератора тока с высоким выходным сопротивлением.

Электроды для электростимуляции должны обеспечить хороший контакт с кожей на протяжении всей анестезии. Обычно, используются специальные поверхностные электроды из проводящей резины диаметром около 10 мм, однако возможно применение одноразовых электрокардиографических электродов. Применение проводящего геля между электродом и кожей способствует обеспечению стабильного контакта и снижает переходное электрическое сопротивление. В случае, когда поверхностные электроды не могут обеспечить максимальный ответ мышцы при максимальном токе электростимулятора, используют подкожные игольчатые электроды, в качестве которых могут служить стальные инъекционные иглы.

## Технические данные электростимулятора “Нейромиотест-ответ - 01”.

|  |  |      |
|--|--|------|
| Форма тест-стимула                     | пачки прямоугольных униполярных импульсов тока |      |
| Режим работы                           | TOF  | DBS  |
| Количество пачек импульсов             | 1  | 2    |
| Число импульсов в пачке                | 4  | 3    |
| Частота следования импульсов пачке, Гц | 2  | 50   |
| Временной сдвиг пачек, с               | -  | 0,75 |
| Длительность импульса, мс              | 0,22   |      |
| Амплитуда тока стимула, мА             | 0 - 60   |      |
| Режим тестирования                     | однократный, периодический, 1 раз в 10 с       |      |
| Электроды                              | многоразовые, диам.10 мм                       |      |
| Питание                                | батарея, 9В                                    |      |
| Габариты, мм                           | 140x66x35                                      |      |
| Масса, кг                              | 0,15   |      |

## Методика применения электростимулятора “Нейромиотест-ответ - 01”

Включение прибора осуществляется путем вращения регулятора амплитуды по часовой стрелке. Режимы электростимуляции устанавливаются путем нажатия на соответствующую кнопку переключения режимов. Запуск тест-стимулов может быть установлен периодическим - один раз в 10 с (кнопка “Авто”) или однократным - с помощью кнопки ручного запуска (кнопка “Ручной”). Для контроля установки режимов работы и формирования тест-стимула используются светодиоды, расположенные у соответствующих кнопок управления.



Рисунок 5 - Внешний вид электростимулятора “Нейромиотест-ответ - 01”.

Практически на всех важных этапах анестезии для тестирования нейромышечной функции используется **ТОФ**-стимуляция. Пример записи **ТОФ**-ответов при недеполяризующей НМБ показан на рис.6. После введения миорелаксанта в дозе необходимой для проведения гладкой интубации трахеи, на записи вызванных ответов можно выделить три фазы НМБ: интенсивная блокада, умеренная или хирургическая блокада, фаза восстановления нервно-мышечной проводимости.

**Интенсивная блокада** возникает через 3...6 мин после введения “интубационной” дозы неполяризующих миорелаксантов. Этот период называют также периодом отсутствия ответа, т.к. ответ на **ТОФ** -стимуляцию отсутствует. Длительность интенсивной блокады зависит от дозы препарата и чувствительности к нему пациента.

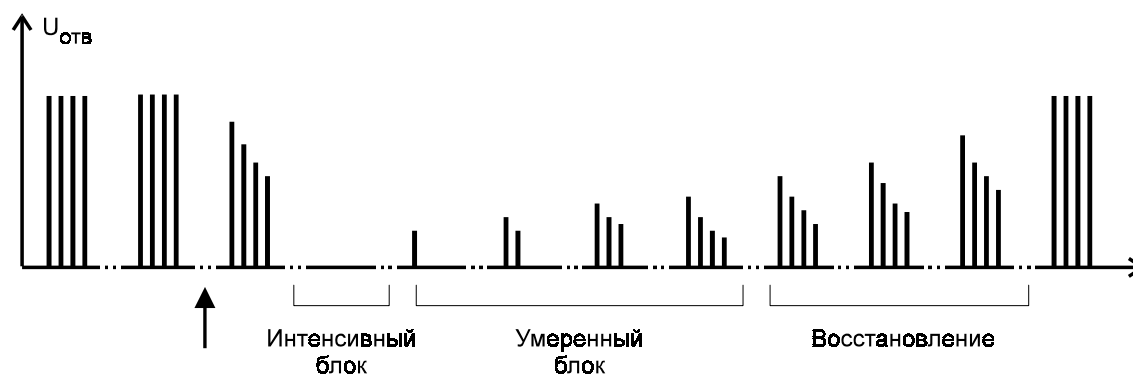


Рисунок 6 - Изменение ответа на **ТОФ** - стимуляцию во время недеполяризующей НМБ

↑ - момент введения мышечных релаксантов

Фаза **умеренной или хирургической** блокады начинается с появления первого ответа на **ТОФ**-стимуляцию. Данная фаза характеризуется постепенным появлением всех четырех ответов на **ТОФ**-стимуляцию. Число зарегистрированных ответов определяет уровень НМБ.

При регистрации только одного ответа из четырех возможных, уровень НМБ оценивается величиной 90...95%. С появлением всех четырех ответов уровень оценивается в 60...65%. Присутствие одного или двух ответов свидетельствует об уровне НМБ достаточной для проведения большинства хирургических процедур. При низком уровне НМБ пациенты могут двигаться, кашлять; если это не желательно, то переходят к более высокому уровню, т.е. к более глубокой анестезии. Выключение НМБ, путем введения препаратов - антагонистов, проводят при появлении третьего или четвертого ответа. В этом случае не отмечается явлений возврата НМБ в послеоперационном периоде.

Фаза **восстановления нервно-мышечной проводимости** начинается с появления четвертого ответа на **ТОФ**-стимуляцию.

Степень восстановления хорошо коррелирует с величиной **ТОФ**-отношения и клиническими наблюдениями. Если отношение меньше 0,4, то в этом состоянии пациент не может поднять головы или руки. Объем дыхания может быть нормальным, но жизненная емкость легких и сила вдоха могут быть уменьшены. Когда отношение достигает 0,6, пациент может поднять голову на 3 сек, но респираторные показатели все еще снижены. При отношении 0,7...0,75 пациент может широко открыть глаза, высунуть язык, откашляться, поднять голову по крайней мере на 5 сек. Рост отношения до 0,8 и более означает, что показатели дыхания приходят в норму. Следовательно, в конце операции режим **ТОФ** демонстрирует плавное увеличение амплитуды ответов в обратном порядке.

Введение антихолинэстеразных средств (прозерин) рекомендуется производить, когда появляется третий ответ на стимуляцию в режиме **ТОФ**. Декурарезация приводит к быстрому увеличению амплитуды, а отношения **ТОФ** до величины, большей 0,75. Для адекватного самостоятельного дыхания требуется достижение **ТОФ** более 0,70, поскольку диафрагмальная мышца менее чувствительна к действию недеполяризующих миорелаксантов, чем мышцы предплечья.

В целом, нейромышечный мониторинг аппаратом “Нейромиотест-ответ - 01” при использовании мышечных релаксантов, как в ходе операции, так и при проведении интенсивной терапии, позволяет наилучшим для данного клинического случая образом подобрать дозу препарата, провести экстубацию и, следовательно, обеспечить адекватность анестезии и безопасность больного.

Метод пригоден для диагностики или исключения НМБ у новорожденных, извлеченных путем кесарева сечения.

Современный нейромышечный мониторинг неинвазивен. Особенно полезен он при окончании ИВЛ для дифференциальной диагностики причин продленного апное и решения вопроса о целесообразности введения антихолинэстеразных препаратов.

**Список использованных источников**

1. Лекманов А.У. Мышечные релаксанты в практике анестезиолога - реаниматолога. Смоленск ,Фармаграфикс, 1996, 97с.
- 2.Юматов А.Е., Шипицин В.В. Акселерометрический контроль нейромышечной проводимости с помощью прибора TOF-GUARD Материалы докл. 5 Всерос. съезда анестез. и реан., т.1, М., 1996, С.37
- 3.Магилевец В.М. и др. Компьютерная система для автоматического поддержания блока нервно-мышечной проводимости. Материалы докл. 5 Всерос. съезда анест. и реан. , т.1, М., 1996, С.18
- 4.Бутров А.В., Дробышев М.Ф. Применение в анестезиологической практике монитора нейромышечной проводимости TOF-Gard. Вестник интенсив. терапии 1996, №1, с.3 - 6.
- 5.Ali H.H. et al. The effect of tubocurarine on indirectly elicited TOF muscle response and respiratory measurements in humans. Brit. J.Anaesth. -1975.- v.47.- p. 570-574.
6. Standards for a Peripheral Nerve Stimulator. Biometer International, Denmark, 1990, 4p.