

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА АНЕСТЕЗИОЛОГИИ И РЕАНИМАТОЛОГИИ

МОНИТОРИНГ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО БЛОКА В АНЕСТЕЗИОЛОГИИ

Учебно-методическое пособие



Минск БГМУ 2012

УДК 616-089.5-009-047.36(075.8)
ББК 54.5 я73
М77

Рекомендовано Научно-методическим советом университета
в качестве учебно-методического пособия 14.12.2011 г., протокол № 3

Авторы: канд. мед. наук, ассист. С. С. Грачев; канд. мед. наук, доц. А. Е. Скрягин; канд. мед. наук, доц. И. М. Ровдо; ассист. И. З. Ялонецкий

Рецензенты: доц., канд. мед. наук, доц. каф. анестезиологии и реаниматологии Белорусского государственного медицинского университета А. Е. Кулагин; проф., д-р мед. наук, зав. каф. детской анестезиологии и реаниматологии Белорусской медицинской академии последиplomного образования В. В. Курек

М77 **Мониторинг** нервно-мышечного блока в анестезиологии : учеб.-метод. пособие / С. С. Грачев [и др.]. – Минск : БГМУ, 2012. – 23 с.
ISBN 978-985-528-535-0.

Содержит краткое описание методик мониторинга нервно-мышечной проводимости в современной анестезиологии.

Предназначено для студентов 3, 4 и 6-го курсов лечебного и педиатрического факультетов, врачей-интернов.

УДК 616-089.5-009-047.36(075.8)
ББК 54.5 я73

ISBN 978-985-528-535-0

© Оформление. Белорусский государственный
медицинский университет, 2012

МОТИВАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕМЫ

Тема занятия: «Методы объективного контроля состояния больных: понятие функционального, гемодинамического, респираторного и нервно-мышечного мониторинга, контроль эффективности обезболивания».

Время занятия: 7 академических часов.

Понимание механизмов нервно-мышечной передачи, особенностей взаимодействия препарата с рецептором и мониторинга нервно-мышечной проводимости (НМП) в течение общей эндотрахеальной анестезии является основой для клинического применения мышечных релаксантов.

Цель занятия: закрепить полученные на предыдущих курсах знания по физиологии нервно-мышечной передачи, основам фармакокинетики и фармакодинамики мышечных релаксантов, изучить методики мониторинга нервно-мышечного блока (НМБ) в современной анестезиологии, научиться анализировать акцелерограмму.

Задачи занятия:

1. Закрепить знания о физиологии нервно-мышечной передачи, методиках мониторинга НМБ.
2. Закрепить знания о фармакологии мышечных релаксантов.
3. Определить преимущества и недостатки различных методик мониторинга глубины НМБ.
4. Изучить показатели действия мышечных релаксантов недеполяризующего типа действия, определить по данным объективного мониторинга показания к первичному и повторному введению мышечных релаксантов, а также экстубации пациента.

Требования к исходному уровню знаний. Для успешного усвоения темы необходимо повторить:

- из нормальной физиологии: структуру нервно-мышечного синапса, механизм нервно-мышечной передачи, методики мониторинга НМП;
- фармакологии: классификацию, химическую структуру мышечных релаксантов, взаимодействие с рецептором, агонисты, антагонисты;
- медицинской и биологической физики: закономерности реакции живой ткани на действие электрического тока, физические основы электростимуляции и электрографии.

Контрольные вопросы из смежных дисциплин:

1. Структура нервно-мышечного синапса. Механизм нервно-мышечной передачи.
2. Методики мониторинга НМП.
3. Классификация мышечных релаксантов по химической структуре.
4. Взаимодействие мышечного релаксанта с рецептором. Определение понятий «агонист» и «антагонист».

5. Закономерности реакции живой ткани на действие электрического тока.

6. Основные положения электростимуляции и электрографии.

Контрольные вопросы по теме занятия:

1. Методики, используемые для мониторинга НМП. Отличие электромиографии от акцелерометрии.

2. Режимы электростимуляции, которые используются при акцелерометрическом исследовании.

3. Показатели действия, полученные в результате акцелерометрического исследования, имеющие клиническое значение.

4. Возможности мониторинга по предотвращению остаточного НМБ.

5. Объективные показатели для введения антихолинэстеразных препаратов и экстубации трахеи.

6. Акцелерография и цель ее использования.

7. Физический закон, по которому работает методика акцелерометрии. Кем она была предложена?

8. Нерв, в проекции которого накладываются электроды для осуществления акцелерометрического исследования.

9. Приборы, которыми осуществляется акцелерометрический мониторинг.

10. Противопоказания к применению деполяризующих миорелаксантов (дитилин, листенон).

ВВЕДЕНИЕ

Значение миорелаксантов в комплексе современной анестезии трудно переоценить. Впервые с их помощью анестезиологи получили возможность направленной регуляции определенной функции организма, что явилось одним из новых тактических приемов и позволило пересмотреть принципиальные взгляды на анестезию [1]. Во-первых, стала очевидной возможность и целесообразность проведения анестезии на адекватном уровне. Во-вторых, возникли условия для применения ИВЛ, что позволило эффективно управлять газообменом во время операции и анестезии. Расслабление скелетных мышц, достигаемое с помощью миорелаксантов, составляет один из основных компонентов комбинированной анестезии [2].

В нашей стране для миоплегии во время интраабдоминальных оперативных вмешательств обычно применяют недеполяризующие миорелаксанты длительной, реже средней продолжительности действия. В процессе обезболивания анестезиолог вынужден выбирать между желанием уменьшить дозу релаксанта и необходимостью поддержания доста-

точной миоплегии. Рекомендуемые интервалы между введениями релаксантов приближительны в силу взаимодействия ряда факторов: комбинации препаратов, возраста пациентов, температуры тела, кислотно-основного состояния, сопутствующих заболеваний, индивидуальной чувствительности к миорелаксантам [3]. Отечественными исследователями предпринималась попытка изучить химические соединения, обладающие миорелаксирующими свойствами, однако в клиническую практику они не были внедрены [4].

В настоящее время считается, что применение мышечных релаксантов требует обязательного объективного контроля. Многие исследователи отмечают, что сравнительная оценка мышечных релаксантов и выработка рекомендаций по их клиническому применению невозможны без применения объективного метода исследования нервно-мышечной проводимости (НМП) [3, 5]. Мониторинг глубины нервно-мышечного блока (НМБ) является темой обсуждения на регулярных международных конгрессах анестезиологов-реаниматологов. Субъективные методы оценки глубины НМБ не адаптированы к работе с пациентами с сопутствующей патологией. По разным данным, при отсутствии объективного мониторинга по окончании оперативного вмешательства и анестезии в 45–60 % случаев анестезиолог-реаниматолог экстубирует пациента, пребывающего в состоянии остаточной кураризации, что значительно повышает риск развития послеоперационной гипоксии и гиповентиляции, особенно у пациентов старших возрастных групп. Объективизация глубины НМБ обязательна для принятия решения о тактике ведения пациента, повышения эффективности и безопасности использования мышечных релаксантов в ходе анестезии [3].

Целесообразность инструментального контроля уровня НМБ диктуется возможностью существенного снижения доз миорелаксантов, а также реализации тактики оптимального лечения каждого пациента.

Большой выбор мышечных релаксантов недеполяризующего типа действия разной химической структуры, продолжительности действия и от разных производителей, а также постепенное внедрение в клиническую практику анестезиолога мониторов глубины НМБ позволяет считать актуальной задачей объективизации глубины НМБ в ходе анестезии. Решение этих вопросов будет способствовать глубокому осмыслению тактики применения данной группы лекарственных препаратов, повышению безопасности и эффективности миоплегии и анестезии в целом.

МОНИТОРИНГ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ

В настоящее время в странах Европы и США интраоперационная оценка функции НМП считается 5-й обязательной методикой мониторинга безопасности (после ЭКГ, АД, КЩС и пульсоксиметрии). К сожалению, данная стратегия еще не получила должного распространения среди анестезиологов Республики Беларусь. В настоящий момент применяются следующие виды мониторинга функции НМП: электромиография (контроль нейромышечной функции, основанный на регистрации биотоков мышц), механомиография и акцелерометрия (контроль, основанный на регистрации двигательной реакции мышц), фономиография (фиксация акустического мышечного шума) [6].

ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЯ

Электромиография — измерение вызванных электрических мышечных ответов. Данный метод отражает изменения электрической активности мышцы в ответ на стимуляцию периферического нерва.

Для проведения электромиографии используют мышцы, иннервируемые *n. ulnaris* или *n. medianus*. Вызванные электромиографией ответы получают с мышц *thenar* или *hypothenar* кисти или с первой дорсальной *m. interosseus*. Оборудование для регистрации реакций просто в использовании, ответ отражает только те факторы, которые значимы в нервно-мышечной передаче. Ответ может быть получен с мышц, недоступных для механической записи. Но запись электромиограммы вызывает некоторые трудности, и результаты не всегда заслуживают доверия. С одной стороны, неправильное расположение электродов может в результате привести к неадекватному считыванию сигнала общего потенциала действия. С другой стороны, может быть нарушено правило фиксации руки с преднагрузкой большого пальца. Наконец, получение электромиографических ответов очень чувствительно к электрическим помехам и наводкам, таким как при использовании диатермокоагуляции. Таким образом, метод электромиографии больше подходит для научно-исследовательской работы, нежели для клинических условий.

МЕХАНОМИОГРАФИЯ

Механомиография — измерение вызванных механических мышечных ответов. Используется стимуляция мышцы *musculus adductor pollicis*, которая предварительно нагружается балластом массой 200–300 мг, поскольку изометричность мышечного сокращения позволяет получать достоверные значения измерений. В ответ на стимуляцию локтевого нерва происходит сокращение приводящей мышцы большого пальца руки, ме-

ханически связанного с трансдюсером силы и движения. Сила сокращения преобразуется в электрический сигнал, который впоследствии обчитывается, выводится на дисплей и записывается. Рука и предплечье должны при этом быть жестко зафиксированы, требуется постоянное внимание для предотвращения перегрузки механографа (рис. 1). Также прибор должен быть правильно установлен относительно пальца (т. е. перемещения пальца должны быть всегда строго вдоль оси прибора). Таким образом, трудности измерения связаны с недостаточной точностью, чувствительностью к внешним воздействиям и громоздкостью оборудования [5].



Рис. 1. Установка для механомиографии

АКЦЕЛЕРОМЕТРИЯ

Акцелерометрия впервые была применена в 1987 г. J. Viby-Mogensen et al. Суть метода заключается в измерении ускорения как результата сокращения мышцы в ответ на стимуляцию периферического двигательного нерва [3]. В основе акцелерометрии лежит второй закон Ньютона ($F = ma$). Если масса неизменна, то ускорение прямо пропорционально силе. Таким образом, имеется возможность измерения ускорения. Для оценки НМП методом акцелерометрии используется керамический пьезоэлектрический трансдюсер — миниатюрный датчик давления, который, в зависимости от мышцы, стимуляцию которой необходимо произвести, может прикрепляться:

- а) к дистальной фаланге большого пальца руки (*m. adductor pollicis*);
- б) на верхней части брови (*m. orbicularis oculi*);
- в) к дистальной фаланге большого пальца ноги (*m. adductor hallucis*).

В ответ на стимуляцию происходит сокращение мышцы, трансдюсер получает ускорение, в результате чего его масса давит на тензоэлемент с силой, пропорциональной ускорению движения. Полученный электриче-

ский сигнал обрабатывается анализатором, усиливается, измеряется и выводится на дисплей или распечатывается (рис. 2).

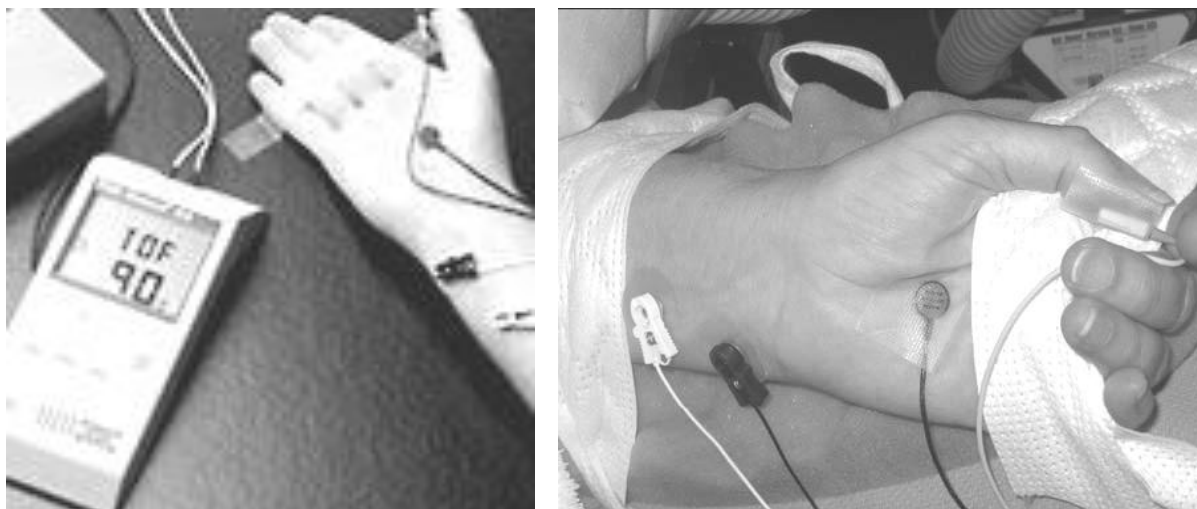


Рис. 2. Способы прикрепления электродов для акселерометрии

Как известно, существует два принципиально различных по механизму действия класса миорелаксантов:

– деполяризующие, которые взаимодействуют с рецепторами ацетилхолина на постсинаптической мембране, вызывая ее деполяризацию с последующим каскадом реакций, ведущих к сокращению мышечного волокна; состояние деполяризации предотвращает восприятие дальнейшей стимуляции мембраны, в результате чего наступает расслабление мышцы;

– недеполяризующие, или конкурентные, которые конкурируют с ацетилхолином за рецепторы в нервном окончании и мышечном волокне, блокируя тем самым нейромышечную передачу.

Акселерометрия — простой, но довольно точный метод. Основным требованием для его проведения является достаточная подвижность сокращающейся мышцы. К недостаткам метода относят невозможность его использования для оценки действия малых доз миорелаксантов [5].

Измерение глубины НМБ разными методами дает неодинаковые результаты. J. Viby-Mogensen et al., проанализировав разные источники, приводят следующую схему сравнения чувствительности методов стимуляции при использовании недеполяризующих миорелаксантов: механомиография и акселерометрия обладают большей чувствительностью, чем электромиография (на *m. adductor pollicis*, *m. flexor hallucis brevis*); все вышеперечисленные методики более чувствительны, чем электромиография на *hypothenar*.

На характеристики недеполяризующего блока большое влияние оказывает периферическая температура. В состоянии гипотермии ответные

сигналы снижены и нестабильны при любых видах стимуляции. Оптимальной считается кожная температура 32–33 °С [3].

Существуют различные **способы нейромышечной стимуляции** (одиночная стимуляция, четырехразрядная стимуляция, посттетанический счет, двойная разрядная стимуляция), которые находят свое применение в зависимости от этапа операции и типа применяемого мышечного релаксанта (рис. 3, 4) [5].

Режим электростимуляции	Депполярирующий блок		Недеполярирующий блок
	I фаза	II фаза	
TOF-режим	Затухания нет, но амплитуда мышечного ответа равномерно снижена	Затухание	Затухание
Тетаническая стимуляция	Затухания нет, но амплитуда мышечного ответа равномерно снижена	Затухание	Затухание
СРДВ _{3,2}	Затухания нет, но амплитуда мышечного ответа равномерно снижена	Затухание	Затухание
Посттетаническая потенция	Отсутствует	Присутствует	Присутствует

Рис. 3. Графические характеристики депполярирующего и недеполярирующего блока

Режим одnorазрядной стимуляции (single twitch) применяют в начале операции для контроля оптимальных условий интубации трахеи, а также при работе с депполярирующими миорелаксантами. Для стимуляции используются единичные супрамаксимальные стимулы шириной 200 или 300 мкс, которые позволяют вовлечь в проведение электрического импульса всю массу нервных волокон, составляющих стимулируемый нерв. Средние величины тока супрамаксимальной стимуляции — от 45 до 60 мА. В режиме одиночной стимуляции на нерв подается переменный ток с частотой не более 1 Гц.

Амплитуда мышечного сокращения (twitch tension — T_1) сопоставляется с контрольной величиной ($T_{исх.}$), полученной до введения миорелаксанта и принятой за 100 %. Чем меньше амплитуда ответа по сравнению с контрольной, тем больше выраженность НМБ.

Время от начала введения миорелаксанта до достижения полной депрессии ответа на стимуляцию (100 % T_1 Suppression) принято называть

временем начала действия (рис. 4). Время от введения миорелаксанта до восстановления амплитуды ответа до TW 25 % называют клинической продолжительностью действия.

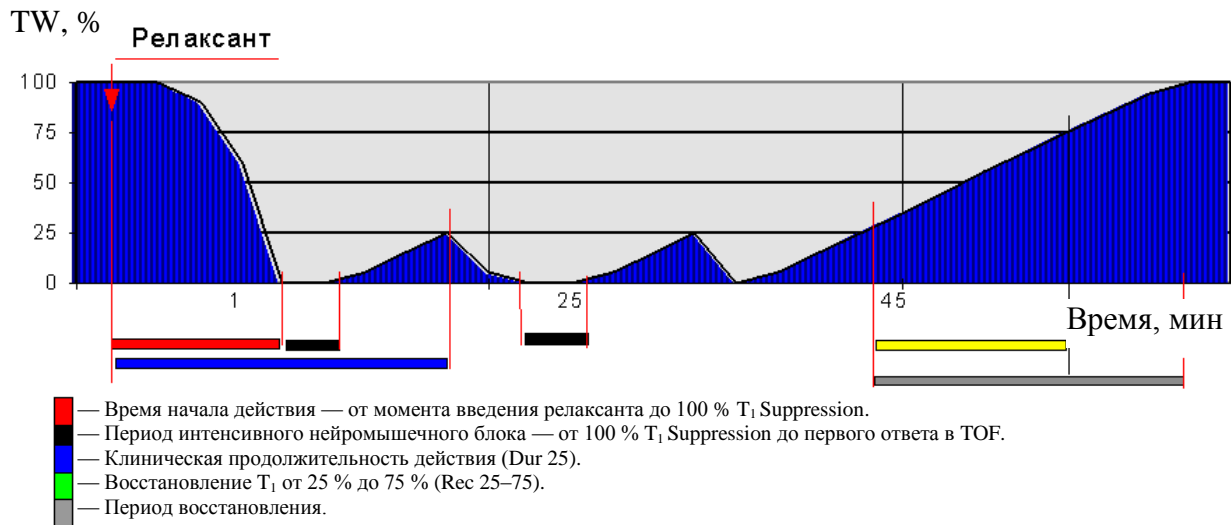


Рис. 4. Параметры проводимости, имеющие клиническое значение

Одним из отличительных признаков недеполяризующего НМБ является тетаническое или TOF-угасание напряжения скелетной мускулатуры. W. D. M. Paton и E. J. Zaimis еще в 1952 г. использовали этот феномен для отличия недеполяризующего НМБ от депполяризующего.

В основе феномена тетанического угасания лежит явление десенситизации — снижение чувствительности холинэргических рецепторов к ацетилхолину [5]. В частично заблокированном нейромышечном соединении соотношение медиатор – рецептор нарушается в сторону преобладания ацетилхолина, т. к. часть рецепторов занята миорелаксантом. Тетаническая стимуляция приводит к еще большему возрастанию этого отношения, вследствие чего развивается десенситизация рецепторов и выключается дополнительная порция мышечных волокон. Согласно В. Е. Waud и D. R. Waud (1971), для того, чтобы появились изменения при стимуляции периферического нерва, мышечным релаксантом должно быть занято более 70 % ацетилхолиновых рецепторов.

В 1970 г. Н. Н. Ali et al. предложили для использования в анестезиологической практике способ *четырёхразрядной стимуляции*, иначе называемый «*train-of-four*» (TOF) [7]. На локтевой нерв каждые 10 секунд подается четыре супрамаксимальные разряда при частоте 2 Гц. TOF % — отношение TW_4 к TW_1 , где TW_4 и TW_1 — амплитуды ответов на 4-й и 1-й стимулы в серии из четырех стимулов. В присутствии недеполяризующего миорелаксанта при амплитуде 25 % от базового значения отклик на 4-й стимулирующий стимул (TW_4) в TOF пропадает. Отклики на 3-й и 2-й импульсы (TW_3 и TW_2) пропадают при значениях амплитуды $TW_1 = 20$ % и $TW_1 = 10$ % соответственно.

Если для миоплегии применяется деполяризующий релаксант, феномен посттетанического угасания не проявляется — все четыре ответа будут иметь одну величину ($TW_1 = TW_4$), постепенно и одинаково снижаясь по мере углубления НМБ или возрастая по мере уменьшения его выраженности.

При амплитуде мышечного сокращения, равной 10–20 %, и двух откликах на ТОФ-стимуляцию брюшная стенка расслаблена, и может осуществляться хирургическое вмешательство. При амплитуде сокращения 75 % и коэффициенте ТОФ-соотношения, равном 40 %, пациент может делать попытки вдоха, однако адекватного дыхания еще нет. При уровне ТОФ-соотношения, равном 75 %, большинство пациентов могут высовывать язык и удерживать голову в течение 5 с. Однако это еще не исключает остаточной кураризации. Лишь при уровне ТОФ-соотношения 80–90 % врач может быть уверен в ее отсутствии. Соотношение амплитуды мышечного сокращения, коэффициента ТОФ и клинических проявлений НМБ приведено в табл. 1.

Таблица 1

Амплитуда мышечного сокращения, коэффициент ТОФ и клинические проявления НМБ (по Viby-Mogensen, 1982)

TW, %	ТОФ, кол-во ответов	ТОФ-соотношение	Клинические проявления
5–10	1	0	Может проводиться интубация трахеи
10–20	2	0	–
20–25	3	0	Живот расслаблен
25	4	> 0	–
75	4	0,4	ТОФ-угасание определяется визуально/пальпаторно. Пациент не может поднять голову
90	4	0,6	Пациент может удерживать голову в течение 3 с. Сила вдоха составляет 70 % от нормальной
100	4	0,75	Большинство пациентов могут удерживать голову в течение 5 с, кашлять, высовывать язык
100	4	0,8	Все пациенты удерживают голову в течение 5 с. Нормальная сила вдоха

ФОНОМИОГРАФИЯ

Фономиография — метод, предложенный и разработанный в отделе анестезиологии медицинского университета Монреаля. Суть метода заключается в том, что во время сокращения мышцы создают акустическую волну (так называемый мышечный шум), который возможно зарегистрировать с помощью специального микрофона [8]. Авторы подчеркивают высокую корреляцию полученных результатов с механомиографией, взятой за стандарт мониторинга (рис. 5).



Рис. 5. Фономиографический датчик, установленный в области надбровной дуги

ПРОБЛЕМА ОСТАТОЧНОГО НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО БЛОКА

Исследования, проводимые при использовании мышечных релаксантов, показывают, что проблема остаточной кураризации остается актуальной, как и раньше [3, 9]. Исследования Р. Howardy-Hansen, проведенные в 80-е гг., показали, что даже малые дозы миорелаксанта имеют клинически значимые эффекты. Хотя TOF составляло 0,89, более 95 % всех добровольцев жаловались на «тяжелые веки» и примерно $\frac{1}{3}$ всех пациентов испытывала трудности с глотанием. В 1997 г. А. Ф. Корман с сотрудниками представили результаты исследования на добровольцах, которое показало, что TOF = 0,7 не может быть расценено как показатель адекватной нейромышечной функции. Авторы утверждали, что в отдельных случаях, даже при TOF = 0,9, клиническая оценка нервно-мышечной функции вызывает настороженность: у пациентов отмечается диплопия и неспособность следить за движущимися предметами. Хотя 5-секундный тест удерживания головы рассматривается как удовлетворительный клинический признак полного восстановления НМП, в большинстве случаев этот тест может быть осуществлен при TOF > 0,7, а сила сжатия пальцев кисти при этом будет все еще значительно снижена. Из всех клинических признаков остаточного НМБ тест на сжатие челюстей, возможно, наиболее объективен, в отличие от тестов на поднятие и удержание головы или ноги. Поскольку клинический тест на поднимание головы и удержание ее в течение 5 с, возможный при TOF = 0,7, не позволяет полностью исклю-

читать остаточный НМБ, только $TOF > 0,9$ может рассматриваться как наиболее приемлемый клинический стандарт, позволяющий снять с пациента послеоперационное наблюдение.

Периферические мышцы менее чувствительны к действиям миорелаксантов, чем фарингеальные мышцы. Это означает, что любая мышечная слабость, обнаруженная в периферической мускулатуре, почти всегда связана с проблемами поддержания проходимости верхних дыхательных путей и затруднением глотания. Экстубация трахеи не должна производиться до полного восстановления НМП [3].

Сводные характеристики деполяризующего и недеполяризующего блока, по данным акцелерографии, в зависимости от режима электростимуляции и феномена посттетанического облегчения представлены в табл. 2. Отличительной особенностью второй фазы деполяризующего блока считается появление затухания на графике кривой, что характерно для недеполяризующего блока.

Таблица 2

Характеристика НМБ при электростимуляции периферического нерва

Режим электростимуляции	Деполяризующий блок		Недеполяризующий блок
	I фаза	II фаза	
ТОF-режим, тетаническая стимуляция, стимуляция в режиме двойной вспышки	Затухания нет, но амплитуда мышечного ответа равномерно снижена	Затухание	Затухание
Посттетаническая потенция	Отсутствует	Присутствует	Присутствует

АКЦЕЛЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЙСТВИЯ МИОРЕЛАКСАНТОВ

Важное *клиническое значение* имеют следующие акцелерометрические и электрофизиологические показатели [3, 5]:

1. Время начала действия — скорость развития НМБ — время от начала введения миорелаксанта до достижения полной депрессии ответа на стимуляцию ($TW \% = 0$). Время начала действия позволяет определить оптимальное время интубации трахеи, начало проведения ИВЛ и оперативного вмешательства.

2. Клиническая продолжительность действия, в которой можно выделить две фазы: *интенсивную блокаду* — время от момента исчезновения ответов на стимуляцию ($TW \% = 0$) до появления первого ответа в ТОF ($Respl$) и *умеренную (хирургическую) блокаду* — время от момента появления первого ответа на ТОF-стимуляцию до появления четвертого ответа на ТОF. При регистрации только одного ответа из четырех возмож-

ный уровень НМБ оценивается величиной 90–95 %. С появлением всех четырех ответов уровень НМБ оценивается в 60–65 %. Присутствие одного или двух ответов свидетельствует об уровне НМБ, *достаточном для проведения большинства хирургических вмешательств.*

3. Время восстановления НМП, которое начинается с появления четвертого ответа на TOF-стимуляцию, что соответствует повышению амплитуды первого импульса (TW_1) до 25 % от исходного уровня и выше. Если TOF-отношение меньше 0,4 (40 %), пациент не может поднять голову или руки. Когда отношение достигает 0,6 (60 %), пациент может поднять голову на 3 с, но респираторные показатели все еще снижены (сила вдоха составляет 70 % от нормы). При отношении 0,7–0,75 (70–75 %) пациент может широко открыть глаза, высунуть язык, откашляться, поднять голову и удерживать ее в течение 5 с и более, показатели дыхания приходят в норму.

Вводить антихолинэстеразные препараты рекомендуется тогда, когда амплитуда одиночного сокращения восстанавливается не менее чем до 50 % ($TW \% = 50 \%$ и более) или появляется третий ответ на стимуляцию в режиме TOF. Декураризация приводит к быстрому увеличению амплитуды одиночного сокращения выше 90 % ($TW \% = 90 \%$ и более), а TOF-отношения больше 0,75 (75 %). В настоящее время считается, что для адекватного и безопасного самостоятельного дыхания требуется достижение отношения $TOF = 0,9$.

Экстубацию трахеи рекомендуется проводить при достижении $TW \% = 90 \%$ и более, количестве ответов 4, $TOF = 75 \%$ и более [9].

Указанные показатели действия мышечных релаксантов определяются по показаниям монитора глубины НМБ вне зависимости от этапов проведения анестезии и фиксируются после каждого введения мышечных релаксантов.

В качестве монитора глубины НМБ может использоваться прибор TOF-GUARD и TOF-Watch SX (Нидерланды). Стимуляция осуществляется электрическим импульсом прямоугольной формы с частотой 2 Гц (каждые 15 сек), с силой тока 40–60 мА в TOF-режиме [3]. Цифровые показатели действия релаксантов рассчитываются по данным программного комплекса TOF-Watch SX Monitor Ver. 1.2. Программа позволяет проследить на экране монитора значения амплитуд мышечного сокращения с первого по четвертый, величину TOF %, а также отражает изменение данных параметров графически (рис. 6, 7).

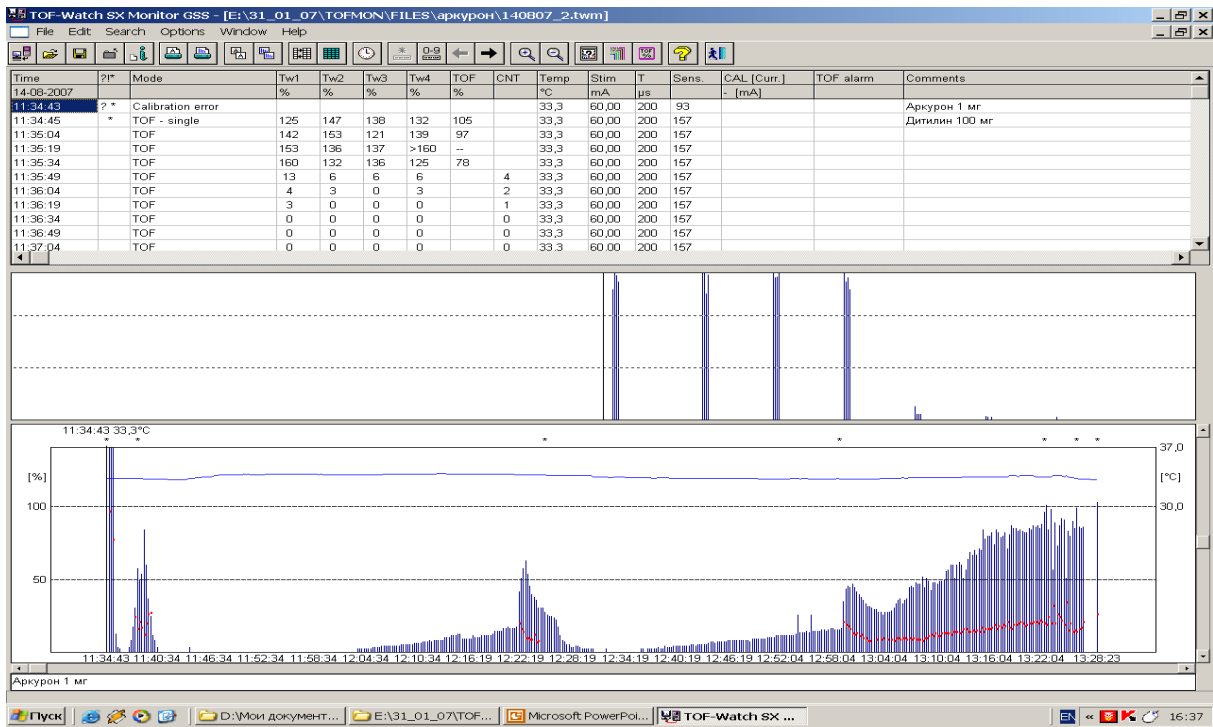


Рис. 6. Рабочее окно программы TOF-Watch SX Monitor

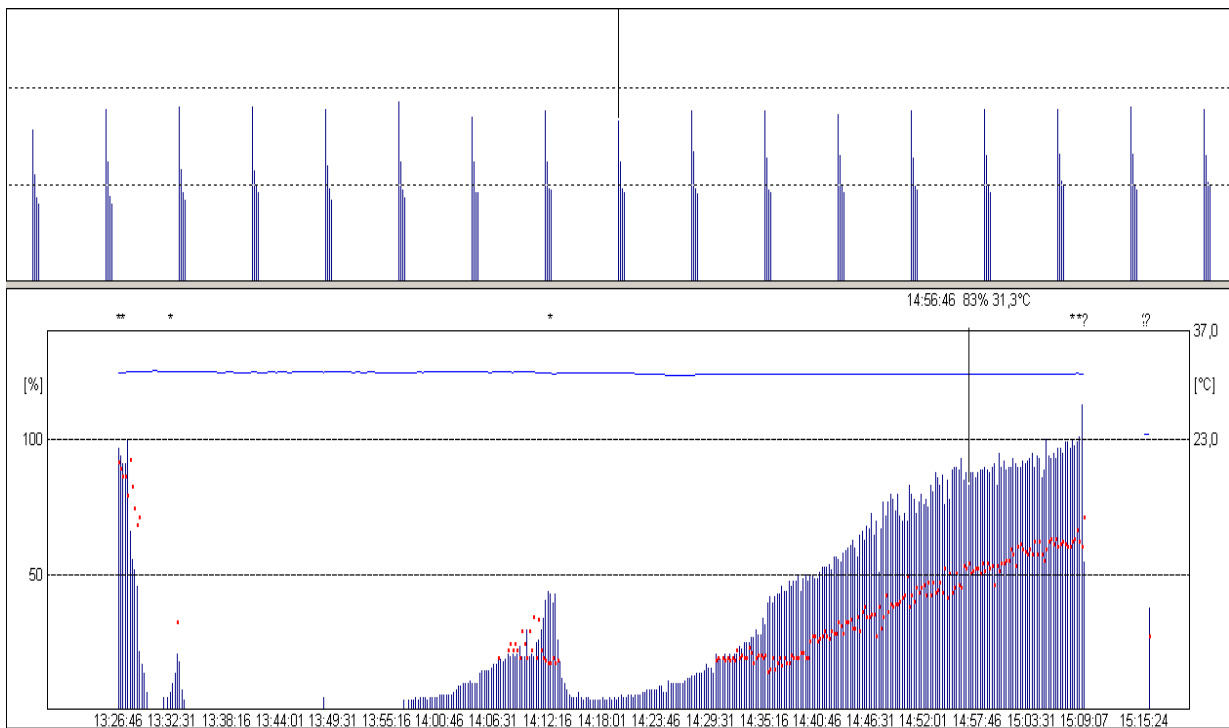


Рис. 7. Участок акцелерографической кривой при введении рокурония бромида

Целесообразность инструментального контроля уровня НМБ обусловлена возможностью существенного снижения доз миорелаксантов, а также реализации тактики оптимального лечения каждого пациента. Использование мониторинга НМБ является необходимым в следующих случаях [3]:

- 1) проведение клинических испытаний новых миорелаксантов,
- 2) отклонения в фармакокинетике применяемых миорелаксирующих препаратов от нормы (тяжелые заболевания печени и почек),
- 3) измененная фармакодинамика (при нервно-мышечных заболеваниях, например миастении),
- 4) необходимость исключения возврата НМБ (при заболеваниях сердца, легких),
- 5) поддержание максимальных возможностей сокращения мышц (при тяжелых легочных заболеваниях),
- 6) длительные хирургические вмешательства,
- 7) использование непрерывной инфузии миорелаксантов.

АКЦЕЛЕРОГРАФИЯ И ЕЕ КЛИНИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Использование мониторинга нервно-мышечной функции во время анестезии позволяет подбирать индивидуальные дозы миорелаксантов, проводить контролируемое углубление НМБ на определенных этапах оперативного вмешательства, исключать возможность рекуаризации, своевременно вводить антагонисты, обезопасить период пробуждения больного и ближайший послеоперационный период в отношении остаточного НМБ. Вместе с тем авторы анализируют акцелерометрические показатели, но оставляют без внимания акцелерометрическую кривую.

В ходе диссертационного исследования, проведенного автором, впервые была предложена *методика акцелерографии* (анализа кривой графика глубины НМП) и описаны графические характеристики глубины НМБ, а именно: показатели площади под кривой отображаемого графика между двумя указанными пользователем точками, а также величина угла наклона акцелерографической кривой [9]. Площадь под графиком рассчитывалась по правилам интегрирования от базовой (нулевой) горизонтальной оси в условных единицах площади, используя правило трапеций. При анализе кривой графика (рис. 8) выбирались две значимые точки акцелерографической кривой: максимальная точка пика и минимальная точка плато (точки А и В) [9].

Угол наклона кривой (в градусах) вычислялся согласно правилу обратных тригонометрических функций (ограниченный прямыми АВ и АС).

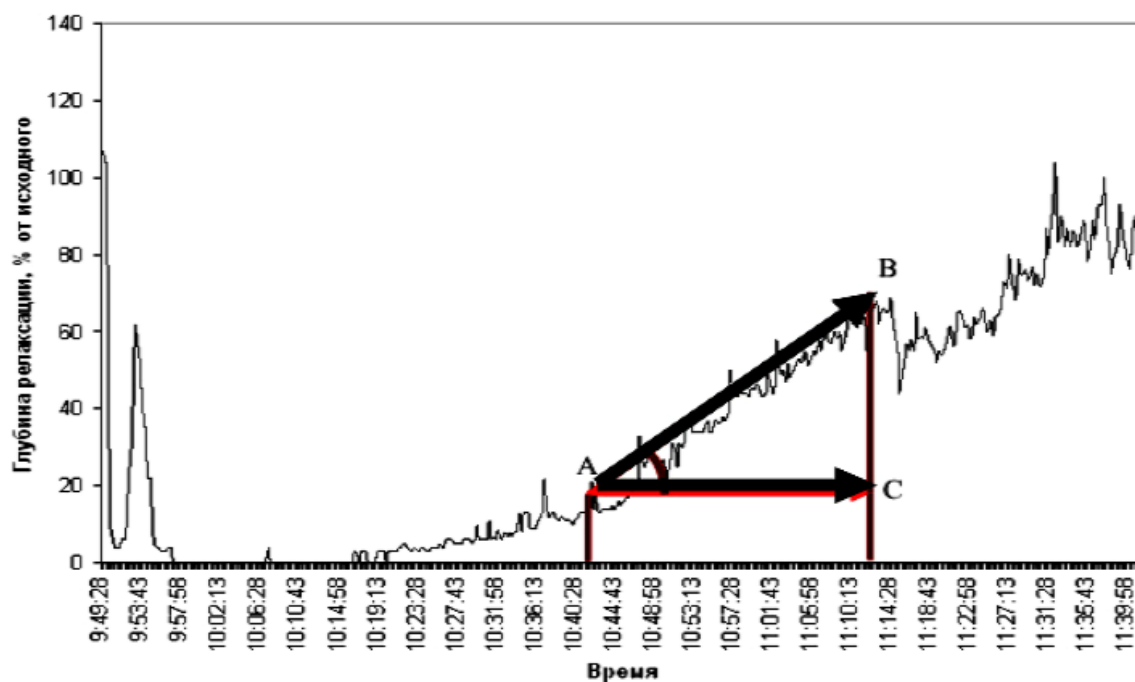


Рис. 8. Изображение фрагмента акцелерографической кривой

При описании методики расчета показателей акцелерографической кривой величину, равную площади под графиком между указанными двумя произвольными точками кривой и нулевой линией, было решено назвать *акцелерографической скоростью восстановления*. Величину угла наклона кривой назвали *акцелерографическим индексом восстановления* [9]. Для вычисления акцелерографической скорости и акцелерографического индекса восстановления впервые было разработано и внедрено в клиническую практику оригинальное электронное дополнение к программе TOF-Watch SX Monitor, позволяющее производить указанные расчеты автоматически. Данное электронное приложение было решено назвать TOF-Graf Calculator v1.1 [9]. После указания двух желаемых точек кривой программа вычисляет: акцелерографическую скорость в условных единицах площади и акцелерографический индекс восстановления в градусах [9]. Для получения исходных данных программа использует файл формата .txt (сохраняется оригинальным программным продуктом TOF-Watch SX Monitor). На экране появляется акцелерографическая кривая с ползунком, позволяющим исследователю указать желаемые две точки (рис. 9). После выбора опции «Посчитать» в правой части экрана выводится полученный результат расчета показателей акцелерографической кривой.

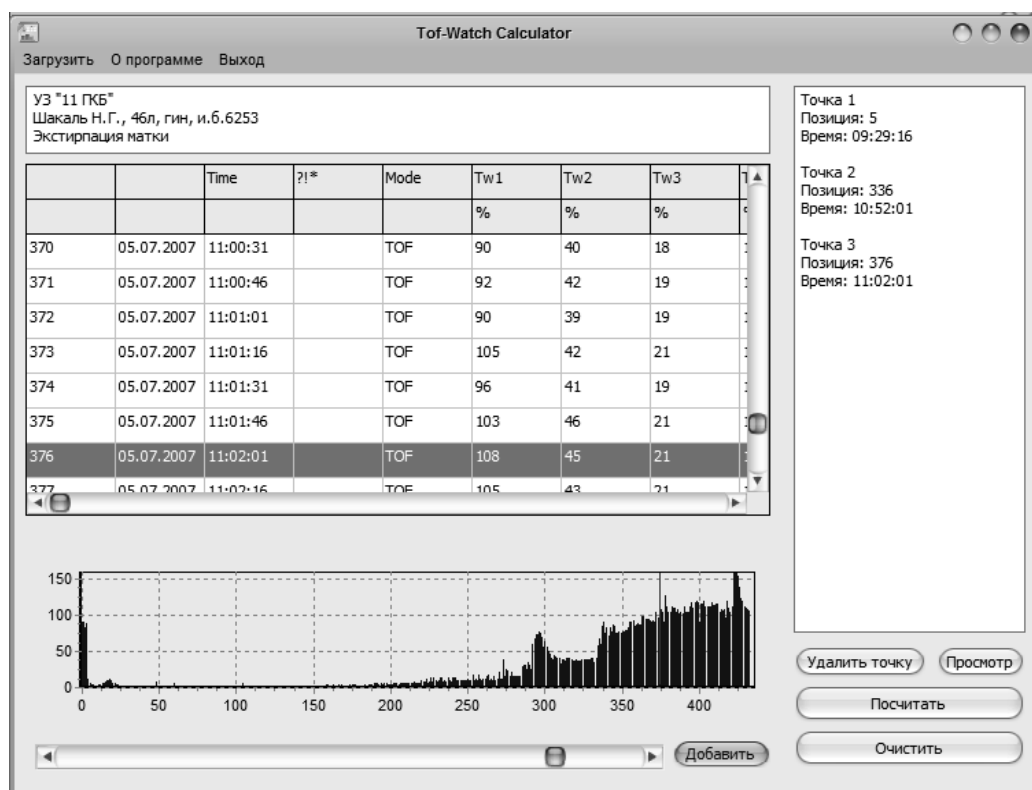


Рис. 9. Рабочее окно программы TOF-Graf Calculator

ПОРЯДОК ПОДКЛЮЧЕНИЯ МОНИТОРА ДЛЯ АКЦЕЛЕРОМЕТРИИ

Чтобы подключить монитор для акселерометрии, необходимо:

- 1) стимулирующие электроды поместить в проекции выбранного для стимуляции нерва (как правило, в проекции локтевого нерва);
- 2) прикрепить трансдюсер к дистальной фаланге большого пальца руки при помощи полоски лейкопластыря;
- 3) включить монитор;
- 4) провести премедикацию и вводную анестезию (т. к. электростимуляция болезненна для пациента в сознании: сила тока 40–60 мА, частота стимулов 2 Гц);
- 5) после выключения сознания пациента и наступления адекватной анестезии произвести исходную калибровку прибора для установления исходного уровня проводимости, принимаемого за 100 %. Предпочтительно, чтобы калибровка осуществлялась прибором в автоматическом, а не в ручном режиме;
- 6) включить стимуляцию в режиме TOF путем нажатия соответствующей кнопки на панели монитора, после чего он будет готов к контролю НМП [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных научных исследований доказана и подтверждена целесообразность и эффективность применения методики мониторинга НМБ при анестезиологическом обеспечении оперативных вмешательств. В частности повысилась безопасность применения мышечных релаксантов.

Было выявлено следующее:

1. Прецизионная методика акселерометрии объективизировала периоды действия мышечных релаксантов недеполяризующего типа действия с учетом продолжительности анестезии и оперативного вмешательства.

2. Объективизация глубины НМБ позволила определить оптимальные дозы миорелаксантов, а также избежать рекураризации в послеоперационном периоде. Экстубация осуществляется только после адекватного восстановления НМП.

3. Объективизация глубины НМБ с помощью инновационной методики акселерографии позволила графически оценить акселерографический индекс восстановления и учесть его в практической работе.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Для лучшего усвоения темы целесообразно разделить ее на 4 части:

1. Общие вопросы электрофизиологии и электрографии.
2. Основные аспекты различных методик мониторинга НМП.
3. Стадии ингаляционной анестезии по Гведелу, особенности хирургической стадии, особенности мышечной релаксации и цель введения мышечных релаксантов; строение наркозной аппаратуры.
4. Основные показатели действия мышечных релаксантов по данным акселерометрического и акселерографического мониторинга.

САМОКОНТРОЛЬ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

Задача 1

В ходе анестезии проводился мониторинг НМП. Датчик прибора был помещен на ногтевую фалангу большого пальца правой руки. Известно, что прибор измеряет центростремительное ускорение и настроен на режим ТОФ. Какой метод мониторинга использовался?

- а) Механомиография;
- б) фономиография;
- в) акселерометрия;
- г) электромиография.

ЗАДАЧА 2

По окончании оперативного вмешательства под общей анестезией с ИВЛ пациент пришел в сознание, реагирует на обращенную речь, делает попытки спонтанного дыхания. Данные объективного акселерометрического мониторинга: амплитуда первого импульса (TW_1) — 82 %, отношение амплитуды четвертого импульса к первому в TOF-режиме (TOF %) — 69–71 %. О чем свидетельствуют данные показатели?

- а) Пациента можно экстубировать;
- б) пациента можно перевести в общую палату;
- в) пациента можно перевести на спонтанное дыхание, но не экстубировать;
- г) возможно рассмотреть вопрос о целесообразности декураризации.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. *Анестезиология и реаниматология* : учеб. для вузов / под ред. О. А. Долиной. 4-е изд., перераб. и доп. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2009. 576 с.

2. *Морган, Д. Э.* Клиническая анестезиология : пер. с англ. / Д. Э. Морган, М. С. Михаил. СПб. : Невский диалект, 1998. 431 с.

Дополнительная

3. *Бутров, А. В.* Технология использования миорелаксантов на основе мониторинга нейро-мышечной проводимости / А. В. Бутров, М. Ф. Дробышев, В. Е. Кислевич. М. : Изд-во НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН, 1999. 48 с.

4. *Павлов, О. Б.* Производные адипиновой кислоты как миорелаксанты периферического типа действия на фоне проводимого анестезиологического пособия (экспериментально-клиническое исследование) : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.00.37 / О. Б. Павлов ; Бел. мед. акад. последиплом. образования. Минск, 2008. 26 с.

5. *Viby-Mogensen, J.* Is the performance of acceleromyography improved with pre-load and normalization? A comparison with mechanomyography / J. Viby-Mogensen, C. Casper // *Anesthesiology*. 2009. Vol. 110. № 6. P. 1261–1270.

6. *Лекманов, А. У.* Сравнительное исследование двух видов мониторинга нервно-мышечной функции — электромиографии и акселеромиографии — во время анестезиологического пособия у детей / А. У. Лекманов, С. Г. Суворов // *Анестезиология и реаниматология*. 1999. № 4. С. 18–22.

7. *Ali, H. H.* Monitoring of neuromuscular function / H. H. Ali // *Middle East J. Anesthesiol.* 1989. Vol. 10. № 3. P. 261–278.

8. *Hemmerling, T. M.* Neuromuscular Monitoring. A Review and Update // *Can J Anaesthesiol.* 2004. Vol. 3. № 4. P. 116–121.

9. *Грачев, С. С.* Повышение безопасности и эффективности применения мышечных релаксантов при анестезиологическом обеспечении интраабдоминальных оперативных вмешательств : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.01.20 / С. С. Грачев ; БелМАПО. Минск, 2011. 22 с.

10. *Виби-Могенсен, Й.* Нервно-мышечный мониторинг / Й. Виби-Могенсен // Русский анестезиологический сервер. 2002. Режим доступа : <http://rusanesth.com>. Дата доступа : 29.09.2009.

11. *Компьютерная программа TOF-Graf Calculator* для расчетов показателей акселерографической кривой : удостоверение на рационализат. предложение № 1650 / С. С. Грачев, П. А. Микулик ; Бел. гос. мед. ун-т. 2009. 1 с.

12. *Лызикова, Т. В.* Нейромышечный мониторинг при проведении операций общехирургического профиля / Т. В. Лызикова, Е. А. Батько // *Актуальные вопросы хирургии* : материалы XIV съезда хирургов Респ. Беларусь / под ред. А. Н. Косинца. Витебск : ВГМУ, 2010. С. 445–445.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Мотивационная характеристика темы.....	3
Введение	4
Мониторинг нервно-мышечной проводимости и его значение	6
Электромиография	6
Механомиография	6
Акцелерометрия	7
Фономиография	11
Проблема остаточного нервно-мышечного блока	12
Акцелерометрические показатели действия миорелаксантов	13
Акцелерография и ее клиническая значимость	16
Порядок подключения монитора для акцелерометрии	18
Заключение	19
Задание для самостоятельной работы студента.	19
Самоконтроль усвоения темы	19
Литература.....	21

Учебное издание

Грачев Сергей Сергеевич
Скрягин Александр Егорович
Ровдо Игорь Михайлович
Ялонцкий Игорь Зиновьевич

МОНИТОРИНГ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО БЛОКА В АНЕСТЕЗИОЛОГИИ

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск О. Т. Прасмыцкий
Редактор О. В. Лавникович
Компьютерная верстка А. В. Янушкевич

Подписано в печать 16.12.11. Формат 60×84/16. Бумага писчая «Zoom».

Печать ризографическая. Гарнитура «Times».

Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,05. Тираж 85 экз. Заказ 70.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет».
ЛИ № 02330/0494330 от 16.03.2009.
ЛП № 02330/0150484 от 25.02.2009.
Ул. Ленинградская, 6, 220006, Минск.

