

# **НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ В НЕЙРОХИРУРГИИ**

*Второе издание*

*Руководство*

Под редакцией профессора М. В. Александрова

Санкт-Петербург  
СпецЛит  
2020

УДК 616.89-08  
ББК 56.1  
Н46

Рецензенты:

*Команцев В. Н.* — профессор кафедры неврологии, медико-социальной экспертизы и реабилитации ФГБУ ДПО «Санкт-Петербургский институт усовершенствования врачей-экспертов», доктор медицинских наук;

*Мартынов Б. В.* — профессор кафедры нейрохирургии Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова, доктор медицинских наук, доцент

**Нейрофизиологический интраоперационный мониторинг в нейро-**  
Н46 **хирургии** : руководство. — 2-е изд., испр. и доп. / М. В. Александров, А. А. Чикуров, О. А. Топоркова [и др.] ; под ред. М. В. Александрова. — Санкт-Петербург : СпецЛит, 2020. — 159 с.  
ISBN 978-5-299-01040-4

В руководстве подробно рассмотрены организационные и методические аспекты интраоперационного нейрофизиологического мониторинга при выполнении высокотехнологичных нейрохирургических операций. Большое внимание уделено клинической интерпретации результатов мониторинговых исследований. Подробно изложены вопросы влияния наркоза на параметры спонтанной и вызванной биоэлектрической активности.

Самостоятельный раздел посвящен нейрофизиологическому обеспечению хирургического лечения фармакорезистентной эпилепсии. Изложенные рекомендации обобщают богатый опыт предоперационных и интраоперационных нейрофизиологических исследований, выполненных на современном уровне.

Руководство может быть рекомендовано специалистам по функциональной диагностике (клинической нейрофизиологии), нейрохирургам, неврологам, анестезиологам. Может быть использовано при реализации программ послевузовского образования при изучении клинической нейрофизиологии.

УДК 616.89-08  
ББК 56.1

## АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ

*Александров Михаил Всеволодович* — заведующий отделением клинической нейрофизиологии РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова), заведующий курсом клинической нейрофизиологии кафедры нейрохирургии Института медицинского образования НМИЦ им. В. А. Алмазова; ведущий научный сотрудник Института токсикологии ФМБА России, доктор медицинских наук, профессор;

*Чикуров Александр Андреевич* — заведующий кабинетом электромиографии РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова), кандидат медицинских наук;

*Топоркова Ольга Александровна* — врач функциональной диагностики отделения клинической нейрофизиологии РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова);

*Архипова Настасья Борисовна* — врач функциональной диагностики отделения клинической нейрофизиологии РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова);

*Костенко Ирина Александровна* — заведующая кабинетом нейрокогнитивных исследований РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова);

*Улитин Алексей Юрьевич* — директор РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова), заведующий кафедрой нейрохирургии Института медицинского образования НМИЦ им. В. А. Алмазова, доктор медицинских наук, доцент;

*Тастанбеков Малик Маратович* — заведующий НИЛ нейроонкологии РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова), доктор медицинских наук;

*Назаров Руслан Владимирович* — руководитель центра анестезиологии, реаниматологии и интенсивной терапии ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, кандидат медицинских наук;

*Черный Валерий Станиславович* — ведущий научный сотрудник Института токсикологии ФМБА России, доктор медицинских наук, доцент

*Лытаев Сергей Александрович* — главный научный сотрудник НИЛ общей нейрофизиологии РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова), заведующий кафедрой нормальной физиологии СПбГПМУ, доктор медицинских наук, профессор

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

---

<b>Условные сокращения</b> . . . . .	7
<b>Предисловие</b> ( <i>Е. Н. Кондаков</i> ) . . . . .	8
<b>Введение</b> ( <i>М. В. Александров</i> ) . . . . .	10
<b>Глава 1. Нейрофизиологический интраоперационный мониторинг: основные принципы</b> . . . . .	11
1.1. Нейрофизиологический интраоперационный мониторинг: определение . . . . .	11
1.2. Нейрофизиологические основы мониторинговых исследований . . . . .	11
1.3. Принцип полимодальности . . . . .	14
1.4. Диагностическая парадигма . . . . .	14
1.5. Критерии оценки и регистры изменений электрофизиологических параметров . . . . .	16
1.6. Чувствительность и специфичность ИОМ . . . . .	18
<b>Глава 2. Техника интраоперационных нейрофизиологических исследований</b> . . . . .	22
2.1. Аппаратно-программные комплексы для ИОМ . . . . .	22
2.2. Регистрирующие электроды . . . . .	24
2.3. Электростимуляция . . . . .	27
2.3.1. Методические основы электростимуляции . . . . .	27
2.3.2. Стимулирующие электроды . . . . .	29
2.4. Понятие о сценарии нейрофизиологического мониторинга . . . . .	30
2.5. Физические артефакты . . . . .	31
<b>Глава 3. Методика интраоперационных исследований</b> . . . . .	35
3.1. Электроэнцефалография . . . . .	35
3.2. Мониторинг сенсорных путей . . . . .	36
3.2.1. Акустические стволовые вызванные потенциалы . . . . .	36
3.2.2. Зрительные вызванные потенциалы . . . . .	37
3.2.3. Соматосенсорные вызванные потенциалы . . . . .	39
3.3. Электромиография . . . . .	42
3.3.1. Спонтанная ЭМГ . . . . .	42
3.3.2. Вызванная ЭМГ: прямая стимуляция . . . . .	42
3.3.3. Н-рефлекс . . . . .	45
3.3.4. Тест TOF . . . . .	47
3.4. Транскраниальная электростимуляция . . . . .	47
3.4.1. Многоимпульсная ТЭС: моторные вызванные потенциалы . . . . .	49
3.4.2. Одноимпульсная ТЭС: D-волна . . . . .	51
<b>Глава 4. Влияние наркоза на биоэлектрическую активность нервной системы</b> . . . . .	53
4.1. Наркоз: компоненты, виды . . . . .	53
4.2. Действие общих анестетиков на спонтанную биоэлектрическую активность . . . . .	55
4.2.1. ЭЭГ-стадии наркоза . . . . .	55
4.2.2. Периодические паттерны биоэлектрической активности: зависимость «доза-эффект» ( <i>И. А. Костенко</i> ) . . . . .	56
4.2.3. Системность и специфичность изменений спонтанной активности. . . . .	59
4.3. Действие общих анестетиков на вызванную активность головного мозга . . . . .	60
4.4. Действие миорелаксантов на нервно-мышечную передачу . . . . .	62

<b>Глава 5. Интраоперационное картирование моторной коры</b> . . . . .	64
5.1. Моторное картирование: определение . . . . .	64
5.2. Локализация центральной борозды: методика реверсии фаз соматосенсорного вызванного потенциала . . . . .	65
5.3. Картирование моторной коры: техника и методика . . . . .	66
5.4. Субкортикальное картирование . . . . .	68
5.5. Особенности наркоза при операциях с моторным картированием . . . . .	70
<b>Глава 6. Краниотомия в сознании: речевое картирование</b> . . . . .	71
6.1. Система речевых зон коры . . . . .	71
6.2. Операция с пробуждением . . . . .	73
6.3. Интраоперационное картирование речевых зон . . . . .	73
<b>Глава 7. Нейрофизиологический мониторинг при основных видах операций на головном мозге</b> . . . . .	76
7.1. Нейрохирургия основания черепа . . . . .	76
7.1.1. Патология хиазмально-селлярной области . . . . .	76
7.1.2. Новообразования мосто-мозжечкового угла . . . . .	77
7.1.2.1. Нейрохирургические риски и задачи ИОМ . . . . .	77
7.1.2.2. Резекция вестибулярных шванном: техника и методика ИОМ . . . . .	80
7.1.2.3. Интраоперационный мониторинг функций глазодвигательных нервов . . . . .	83
7.1.3. Опухоли четвертого желудочка . . . . .	86
7.1.4. Патология области краниовертебрального перехода . . . . .	90
7.2. Внутримозговые новообразования больших полушарий мозга . . . . .	91
<b>Глава 8. Нейрофизиологический мониторинг при удалении опухолей спинного мозга и позвоночного столба</b> . . . . .	93
8.1. Опухоли спинного мозга . . . . .	93
8.2. Опухоли позвоночного столба . . . . .	99
8.3. Патология конуса спинного мозга и конского хвоста . . . . .	101
<b>Глава 9. Нейрофизиологический мониторинг при операциях на периферической нервной системе (А. А. Чукуров)</b> . . . . .	103
9.1. Моторные вызванные ответы: техника и методика . . . . .	104
9.2. Особенности общей анестезии при мониторинге проводимости перифериче- ских нервов . . . . .	106
9.3. Интерпретация результатов мониторинга . . . . .	107
<b>Глава 10. Нейрофизиологический мониторинг при хирургическом лечении заболеваний сосудов головного мозга</b> . . . . .	110
10.1. Анатомия сосудов головного мозга . . . . .	111
10.2. Сопряжение мозгового кровотока и биоэлектрической активности . . . . .	113
10.2.1. Спонтанная ЭЭГ . . . . .	114
10.2.2. Вызванная активность . . . . .	116
10.2.3. Моторные вызванные потенциалы . . . . .	116
10.3. Алгоритм полимодального мониторинга . . . . .	117
10.3.1. Техника и методика . . . . .	117
10.3.2. Критерии оценки риска ишемических повреждений . . . . .	118
<b>Глава 11. Нейрофизиологический мониторинг при хирургической коррекции интракраниальных невровакулярных конфликтов (Чукуров А. А.)</b> . . . . .	121
11.1. Микрососудистая декомпрессия при тригеминальной невралгии . . . . .	121
11.1.1. Тригеминальные вызванные потенциалы: механизмы генерации . . . . .	121
11.1.2. Интраоперационная регистрация тригеминальных ВП . . . . .	124
11.2. Микрораскулярная декомпрессия при гемифациальном спазме . . . . .	126

---

<b>Глава 12. Нейрофизиологическое обеспечение хирургического лечения фармакорезистентной эпилепсии</b> .....	128
12.1. Структурно-функциональная организация эпилептического очага .....	128
12.2. Интраоперационные нейрофизиологические исследования: цель, задачи, методики. ....	130
12.3. Электрокортикография. ....	132
12.3.1. Техника и методика интраоперационной ЭКоГ .....	132
12.3.2. Электрокортикографическая семиотика .....	133
12.3.3. Правила локализации источника эпилептиформной активности ..	138
12.3.4. Пострезекционная электрокортикография. ....	139
12.4. Электросубкортикография. ....	140
12.5. Инвазивный продолженный мониторинг биоэлектрической активности головного мозга .....	141
12.6. Высокочастотная электрокортикография ( <i>Н. Б. Архипова</i> ) .....	148
<b>Глава 13. Микроэлектродная регистрация нейрональной активности структур-мишеней в функциональной нейрохирургии</b> .....	152
13.1. Функциональная нейрохирургия экстрапирамидных расстройств: структуры-мишени .....	152
13.2. Локализация физиологических целей: микроэлектродная регистрация и стимуляция .....	152
13.3. Техника и методика микроэлектродной регистрации .....	154
<b>Заключение</b> .....	157
<b>Литература</b> .....	158

## УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

---

---

АСВП	— акустические стволовые вызванные потенциалы
ВП	— вызванные потенциалы
ВЧО	— высокочастотные осцилляции
ГАМК	— гамма-аминомасляная кислота
ЗВП	— зрительные вызванные потенциалы
ИВЛ	— искусственная вентиляция легких
ИОМ	— интраоперационный мониторинг
МАК	— минимальная альвеолярная концентрация
МВО	— моторные вызванные ответы
МВП	— моторные вызванные потенциалы
МРТ	— магнитно-резонансная томография
МЭР	— микроэлектродная регистрация
пВЧО	— патологические высокочастотные осцилляции
ПЭТ	— позитронная эмиссионная томография
СРВ	— скорость распространения возбуждения
ССВП	— соматосенсорные вызванные потенциалы
ТВП	— тригеминальные вызванные потенциалы
ТЭС	— транскраниальная электростимуляция
УЗИ	— ультразвуковое исследование
фМРТ	— функциональная магнитно-резонансная томография
ЦНС	— центральная нервная система
ЭКГ	— электрокардиография (электрокардиограмма)
ЭКоГ	— электрокортикография (электрокортикограмма)
ЭМГ	— электромиография
ЭНМГ	— электронейромиография
ЭОГ	— электроокулография
ЭРГ	— электроретинография
ЭСубКоГ	— электросубкортикография
ЭЭГ	— электроэнцефалография (электроэнцефалограмма)
СНАР	— cochlear nerve action potential (потенциал слухового нерва)
DBS	— deep brain stimulation (стимуляция глубоких структур мозга)
ED50	— средняя эффективная доза
GPe	— globus pallidus externus (наружная часть бледного шара)
GPi	— globus pallidus internus (внутренняя часть бледного шара)
LSR	— lateral spread response (аномальный мышечный ответ)
NAP	— nerve action potential (потенциал действия нерва)
SEF	— spectral edge frequency (частота [правого] края спектра)
SNr	— substantia nigra (черная субстанция)
STN	— subthalamic nucleus (субталамическое ядро)
TIVA	— total intravenous anesthesia (тотальная внутривенная анестезия)
TOF	— train of four (тест четырехразрядной стимуляции)
Vim	— ventralis intermedius thalamic nucleus (вентральное промежуточное ядро таламуса)

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

---

Становление нейрохирургии как самостоятельного направления хирургии сопровождалось не только разработкой нового арсенала оперативных доступов, хирургического инструментария и аппаратуры, но и созданием лечебно-диагностического комплекса, включающего сотрудников иных специальностей.

Одной из традиций Российского нейрохирургического института им. проф. А. Л. Поленова является уважительное отношение к физиологии. Еще при образовании Ленинградского нейрохирургического института в 1926 г. в его составе был создан экспериментальный (физиологический) отдел, который возглавил ученик академика И. П. Павлова — академик А. Д. Сперанский. Первый директор Института профессор А. Г. Молотков внедрил в практику передовой по тем временам метод «электростимуляции» при операциях на периферической нервной системе. Для развития интраоперационных исследований и систематизации научных результатов по предложению А. Д. Сперанского в 1936 г. в составе экспериментального отдела была выделена самостоятельная электрофизиологическая лаборатория. Одним из направлений ее деятельности было изучение интраоперационных изменений нервной проводимости. Научным консультантом лаборатории был академик А. А. Ухтомский.

С середины 1940-х гг. нейрофизиологические исследования в Институте возглавлял ученик академика Л. А. Орбели — академик А. В. Лебединский, начальник кафедр нормальной физиологии Военно-морской медицинской академии и Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова. Академик А. В. Лебединский воспитал плеяду нейрофизиологов, среди которых академик Н. П. Бехтерева, работавшая в Институте до 1968 г., и Т. С. Степанова, продолжающая активно трудиться в Институте. История РНХИ им. проф. А. Л. Поленова показывает, что нейрофизиология в Институте всегда была неразрывно связана с классической Павловской физиологической школой. Эта связь сохраняется и сегодня.

Важным разделом нейрохирургии, имеющим свою почти полуторавековую историю, является хирургия эпилепсии. Нейрохирургия эпилепсии — комплексная клинично-нейрофизиологическая проблема, которая сегодня входит в раздел функциональной нейрохирургии, и далее — нейронауки. Задачей нейрохирургии эпилепсии является удаление эпилептического очага, границы которого во время операции устанавливаются на основании результатов регистрации и анализа биоэлектрической активности. Интраоперационная электрофизиология, начавшись сто лет назад с использования для этих целей аппарата Дюбуа-Реймона, подававшего на корковые электроды индукционный ток 7–9 мА, превратилась в специальный раздел нейрофизиологии, известный как «нейрофизиологический интраоперационный мониторинг».



В России развитие хирургии эпилепсии связано с именами В. И. Разумовского, Л. М. Пуссера, А. Л. Поленова и др. На протяжении многих лет флагманским учреждением по разработке этой научно-практической проблемы являлся ЛНХИ (РНХИ) им. проф. А. Л. Поленова. С момента основания института это направление развивалось как клиничко-физиологическое с широким привлечением данных по экспериментальной эпилепсии. Истоки полученных знаний связаны с именами академиков А. Д. Сперанского и А. В. Лебединского, Ю. В. Дубикайтиса, К. В. Грачева, В. М. Угрюмова, Т. С. Степановой и др. На основании многолетних исследований в Институте было выдвинуто и обосновано представление об эпиочаге как факторе, дезорганизирующем деятельность мозга. А в прикладном значении — разработаны различные методы резективной хирургии, выполняемые под обязательным контролем ЭКоГ, что позволяет максимально «щадить» функциональную активность мозга. Одним из ярких свидетельств признания значимости полученных результатов явилось присуждение представителям школы ЛНХИ Государственной премии РСФСР в области науки и техники (1989) «За разработку и внедрение в клиническую практику методов диагностики и хирургического лечения различных форм эпилепсии» — А. Г. Земской, Н. П. Рябухе, Ю. А. Гармашову, Л. Н. Нестерову, И. Е. Поверенновой, Ю. Н. Савченко, Р. И. Генне.

Для удовлетворения неуклонно возрастающей потребности в интраоперационных нейрофизиологических исследованиях при выполнении высокотехнологичных нейрохирургических операций в РНХИ им. проф. А. Л. Поленова в 2011 г. было создано отделение клинической нейрофизиологии. Систематизированные результаты клинической работы стали методологической основой настоящего руководства по интраоперационному мониторингу. Авторский коллектив — сотрудники РНХИ им. проф. А. Л. Поленова: нейрофизиологи, нейрохирурги, анестезиологи.

Руководство является современным клиничко-нейрофизиологическим пособием и достойным продолжением петербургской школы нейрофизиологии и функциональной нейрохирургии.

Несомненно, что развитие и внедрение современных диагностических, в том числе и нейрофизиологических технологий, совершенствование оперативных доступов и микронеурхирургических манипуляций, привнесут в нейрохирургию XXI в. как новые знания об этиопатогенезе, так и обнадеживающие результаты хирургического лечения заболеваний нервной системы.

*Кондаков Евгений Николаевич,  
доктор медицинских наук, профессор,  
лауреат Государственной премии РФ*

## ВВЕДЕНИЕ

---

---

Интраоперационный мониторинг — одно из бурно развивающихся направлений современной клинической нейрофизиологии. Еще 10—15 лет назад, на рубеже XXI в., мониторинг выполнялся лишь в крупных научно-исследовательских центрах и «академических клиниках». Результатом научно-практических исследований стало подтверждение полезности и доступности интраоперационных исследований. Нейрохирурги, анестезиологи, неврологи полностью признали ценность интраоперационного мониторинга в обеспечении безопасности многих видов операций. Качественные изменения произошли в начале 2010-х гг., когда нейрофизиологический интраоперационный мониторинг стал в РФ обязательным элементом при выполнении ряда высокотехнологичных нейрохирургических операций. Это сформировало другую проблему — нехватку квалифицированных нейрофизиологов для удовлетворения неуклонно растущего спроса в интраоперационных исследованиях. Преподавание вопросов нейрофизиологического интраоперационного мониторинга редко предоставляется в рамках традиционных программ повышения квалификации. Пособия и руководства по этой теме немногочисленны, а существующие часто ограничиваются лишь нейрохирургическими аспектами.

Данное руководство направлено на преодоление проблем подготовки высококвалифицированных специалистов и включает не только описание клинических методик, используемых при мониторинге, но и прикладные аспекты — проведение мониторинга при основных видах оперативных вмешательств. Книга, прежде всего, рассчитана на специалистов по клинической нейрофизиологии, поэтому в ней не приводится полноформатное описание каждой электрофизиологической методики. Методические аспекты даны лишь в приложении к особенностям выполнения интраоперационных исследований.

Нейрохирурги и анестезиологи найдут в руководстве полезную информацию, которая поможет им понять, что составляет основу совместной работы при выполнении операций с нейрофизиологическим мониторингом.

Нейрофизиологический интраоперационный мониторинг непрерывно развивается. Накапливается опыт и уточняются критерии оценки рисков, углубляются представления о нейрофизиологических механизмах изменений мониторируемых параметров, постоянно идет поиск новых методических приемов. Существуют методики, доказавшие свою полезность, но их применение ограничено относительно невысокой частотой патологии, при хирургическом лечении которой данные исследования выполняются. В этой связи руководство содержит сведения о подходах и методах, которые уже прочно составили «фундамент» нейрофизиологического мониторинга. Каждому специалисту, избравшему сферой профессиональной деятельности нейрофизиологический мониторинг, можно пожелать целеустремленности и успеха при кропотливом возведении на этом фундаменте собственного прекрасного здания.

# Глава 1

## НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ: ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

---

### 1.1. НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Одним из положений наследия Николая Ниловича Бурденко являются принципы выполнения нейрохирургических операций: «Анатомическая доступность. Техническая возможность. Физиологическая дозволенность» (Бурденко Н. Н., 1947). Определить границы физиологической дозволенности оперативного вмешательства в современной нейрохирургии позволяет нейрофизиологический интраоперационный мониторинг (ИОМ).

*Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг* — непрерывное наблюдение за функциональным состоянием нервной системы в ходе нейрохирургической операции с целью предотвращения (минимизации) структурных повреждений путем регистрации электрофизиологических параметров и своевременного обнаружения их опасных отклонений.

ИОМ не может рассматриваться как некий самостоятельный, самодостаточный комплекс мероприятий. Совершенно очевидно, что для эффективной интраоперационной оценки функционального состояния нейрональных структур, подвергаемых неизбежному риску оперативного повреждения, их состояние должно быть в необходимом объеме оценено до операции. Сохранность активности структур в послеоперационном периоде также позволяет судить об успешности и эффективности интраоперационных электрофизиологических исследований, выполняя роль «обратной связи». Кроме того, результаты ранних послеоперационных, а нередко и интраоперационных электрофизиологических исследований входят в комплексную оценку реабилитационного потенциала прооперированного пациента.

Таким образом, ИОМ является элементом единой системы *нейрофизиологического обеспечения* высокотехнологичной помощи в нейрохирургии. Под нейрофизиологическим обеспечением понимается регламентированный перечень клинико-инструментальных нейрофизиологических исследований, выполняемых квалифицированным персоналом в рамках оказания специализированной (в том числе высокотехнологичной) нейрохирургической помощи (Александров М. В. [и др.], 2018). Нейрофизиологическое обеспечение в современных условиях стало таким же самостоятельным видом обеспечения оперативных вмешательств, как, например, анестезиологическое, радиологическое и клинико-лабораторное.

### 1.2. НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методологическую основу ИОМ составляет рефлекторная теория «функционационирования» центральной нервной системы (ЦНС). Эта теория была доведена до совершенства классической русской физиологической школой благодаря