



УДК 616-073.7:616-072.7

А.Р. Халимов (к.м.н.), Л.Н. Танашева (к.м.н.), И.Т. Курмаев, В.А. Семеклитт., А.С. Жайлаубаева, А.В. Николаева, Ж.Б. Садыкова.

Городская клиническая больница №7, кафедра нейрохирургии КазМУНО, г. Алматы, Казахстан

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ИНТРАОПЕРАЦИОННОГО НЕЙРОМОНИТОРИНГА ПРИ ОПЕРАЦИЯХ НА ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМАХ

В статье отражены основные аспекты проведения интраоперационного нейромониторинга при операциях на центральной и периферической нервной системе. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг обеспечивает безопасное вмешательство при удалении опухолей головного и спинного мозга, установке металлических конструкций на позвоночник и посттравматических повреждениях плечевого сплетения.

**Ключевые слова:** интраоперационный нейромониторинг, транскраниальные моторные вызванные потенциалы, прямая стимуляция.

### Введение.

Проведение интраоперационного нейрофизиологического нейромониторинга (ИОНМ) является эффективным и неотъемлемым условием современной нейрохирургии [1]. Целью ИОНМ является улучшение клинических исходов оперативных вмешательств путем своевременного предотвращения развития послеоперационного неврологического дефицита и контроль за состоянием нервной проводимости [1, 2].

Картирование применялось во время операции с целью идентификации нейрональных структур посредством тестирования их нейрофизиологических функций. Это позволило избежать критического повреждения этих структур во время операции [2, 3, 4]. Для картирования использовалась идентификация моторной коры с прямой стимуляцией; двигательных ядер черепно-мозговых нервов в области IV желудочка и самих нервов при операциях в области мостомозжечкового угла; корешков спинномозговых нервов и стволов плечевого сплетения. Соматосенсорные (ССВП) и моторные (МВП) были получены как при прямой, так и транскраниальной электрической стимуляции головного и спинного мозга [5, 6].

По данным литературного обзора чувствительность мониторинга составляет 77,1%, специфичность – 100%, что позволило авторам рекомендовать его для предупреждения развития стойких неврологических осложнений [1, 2, 7, 4].

### Цель исследования.

Оценка эффективности нейромониторинга с точки зрения предотвращения послеоперационных неврологических дисфункций и прогностической значимости интраоперационных изменений мониторируемых показателей.

### Материалы и методы.

В ретроспективное исследование включили 145 пациентов, оперированных в центре нейрохирургии в городской клинической больнице №7 в 2014-2016 гг.

Пациентам проводили интраоперационный нейрофизиологический мониторинг и оценку пред- и послеоперационного неврологического статуса.

Во всех случаях для мониторинга использовалась система NIM Eclipse (Medtronic) и ISIS IOM (Inomed, Германия). Для регистрации биопотенциалов – сенсорных и моторных ВП, электромиографии применяли подкожные игольчатые либо спиральные (для записи с поверхности головы) электроды. Стимуляция периферических нервов (n. medianus и n. tibialis) выполнялась игольчатыми подкожными электродами, транскраниальная стимуляция – спиральными подкожными электродами, прямая стимуляция коры и нервов – ручным моно- или биполярным стимулятором (выполняет нейрохирург).

У 123 пациентов оперативное вмешательство



выполняли по поводу объемных образований головного и спинного мозга. Набор модальностей нейромониторинга выбирали в соответствии с локализацией оперируемой области и доступом

к ней (табл. 1). Основные параметры регистрации при мониторинге этих модальностей приведены в таблице 2.

Таблица 1  
Модальности интраоперационного нейромониторинга, применяемые при нейрохирургических операциях различной локализации

Локализация операционного поля	ССВП	ЭМГ	МВП	ПС	ТОФ
Спинной мозг	**	**	**		*
Ствол головного мозга	*	*	*	*	*
Мостомозжечковый угол		**	*	*	*
Лицевой нерв		**	*	*	*
Моторная кора	*	*	**	**	*
Плечевое сплетение		**	*	***	*

Примечание. ССВП - соматосенсорные вызванные потенциалы, ЭМГ - электромиограмма, МВП - моторные вызванные потенциалы (транскраниальная электрическая стимуляция), ПС - прямая стимуляция коры и/или черепно-мозговых нервов, ТОФ - тест «четырёхкратная стимуляция» (train of four). Использование нейромониторинга данной модальности при этой локализации нейрохирургического вмешательства: \*\* - необходимость, \* - может потребоваться, в зависимости от особенностей конкретной операции

Таблица 2  
Основные параметры регистрации при различных модальностях интраоперационного нейромониторинга

параметр	ССВП (n. medianus)	ССВП (n. tibialis)	МВП	ПС	ТОФ
Число усреднений	70-100	100-150	1-5	-	-
Макс.длительность стимуляции, сек	без ограничений	без ограничений	5	5	2
Частота стимуляции, Гц.	1-5*	1-4*	0,5-2**	0,5-2**	2
Интенсивность стимула, мА	5-20	5-40	30-150	2-30***	5-20
Максимальное напряжение между стимулирующими электродами, В	150	150	300	80	150
Расположение стимулирующих электродов	запястье (n. medianus)	лодыжка (n. tibialis)	C4/C3- Cz (руки), Cz -Fz, C2/C1-Cz (ноги)	В опера- ционном поле	запястье (n. me- dianus), лодыжка (n. tibialis)
Регистрирующие электроды	CP 3, CP 4	C 1, C 2,	биполярные электроды <sup>#</sup>		

Примечание. см обозначения в табл. 1.

\* - желательно, чтобы 50 Гц не было кратно выбранной частоте стимуляции, \*\* - приведена частота для серий импульсов, каждая серия состоит из 4-7 импульсов длительностью 200-500 мс с интервалом между импульсами около 4 мс, \*\*\* - при прямой стимуляции нерва интенсивность стимуляции 2-6 мА, при прямой стимуляции коры - 5-30 мА, # - биполярные миографические электроды размещаются, в зависимости от задач мониторинга, в мышцах лица (m. orbicularis oculi и oris), abd. pollicis, abd digiti minimi, biceps, triceps, abd. hallucis, tibialis anterior, gastrocnemius), сфинктерах и др., для теста ТОФ, как правило, используется m. abd. pollicis и/или m.abd hallucis.

Оценка исходных показателей ВП проводилась после индукции анестезии и укладки пациента, регистрация — непрерывно во время операции. В качестве критерия подачи сигнала тревоги при записи соматосенсорных и моторных вызванных потенциалов принималось увеличение латентности более чем на 10-15% и/или снижение амплитуды пиков более чем на 50% (в том числе исчезновение пиков). В этом случае нейрохирурги останавливали манипуляции, повторно записывали ВП, контролировали параметры анестезии и уровень нервно-мышечной блокады. Решение о дальнейших действиях принимали нейрохирурги. При идентификации лицевого нерва на протяжении операции определялось расположение ствола нерва и контролировалась анатомическая целостность нерва методом интерференционной электромиограммы и стимуляции.

Вызванные потенциалы не могут быть зарегистрированы при большой глубине нервно-мышечной блокады, поэтому выбор параметров анестезии учитывался при всех операциях с использованием ИОНМ.

Анестезиологическое обеспечение было модифицировано в соответствии с международными рекомендациями при проведении ИОНМ, был использован миорелаксант короткого действия

на вводный наркоз и пропофол через дозатор [6, 7].

При ретроспективном анализе результатов интраоперационного нейромониторинга чувствительность метода и специфичность оценивалось с послеоперационным неврологическим дефицитом.

### Результаты.

Во всех 92 случаях образований стволовой и парастволовой локализации регистрировались ССВП и МВП, идентификация лицевого нерва – в 89 случаях (рис. 1). У 1 пациента после операции наблюдалось нарастание гемипареза. У 7 усилился неврологический дефицит, которое было связано с повреждением различных стволовых структур – бульбарной и пирамидного тракта. У 13 пациентов, несмотря на успешность, помимо мультимодального интраоперационного нейромониторинга, интраоперационной идентификации лицевого нерва, после операции развился либо усилился парез мимической мускулатуры. Это пациенты с невриномой слухового нерва 3-й градации, с рецидивом невриномы вестибулокохлеарного нерва. Благодаря идентификации лицевого нерва удалось сохранить проводимость по лицевому нерву, исключение составили упомянутые выше 13 пациентов.

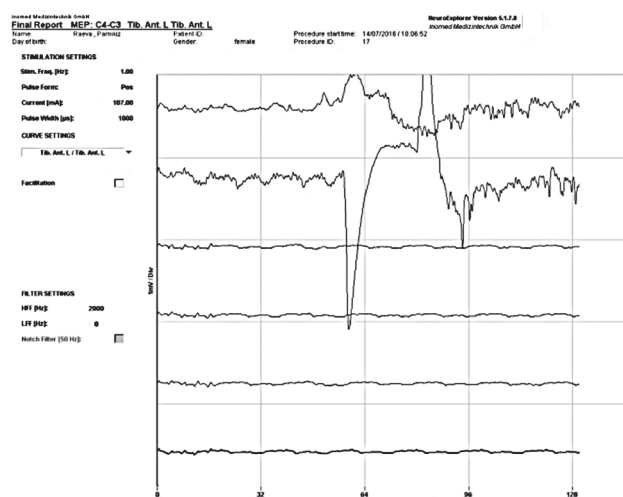


Рисунок 1 – Картирование двигательной зоны коры. Стимуляция выполнялась биполярным стимулятором с силой тока 10-12 мА. Определена граница и выполнена церебротомия вблизи двигательной зоны. Выполнена резекция глиальной опухоли. Опухоль удалена totally

При операциях на больших полушариях ИОНМ с картированием двигательной зоны применялся в 11 случаях. Во всех случаях во время стимуляции коры получены М-ответы, в послеопераци-

онном периоде у пациентов неврологического дефицита не выявлено (рис. 2). Неврологический дефицит либо его нарастание в послеоперационном периоде не наблюдалось.

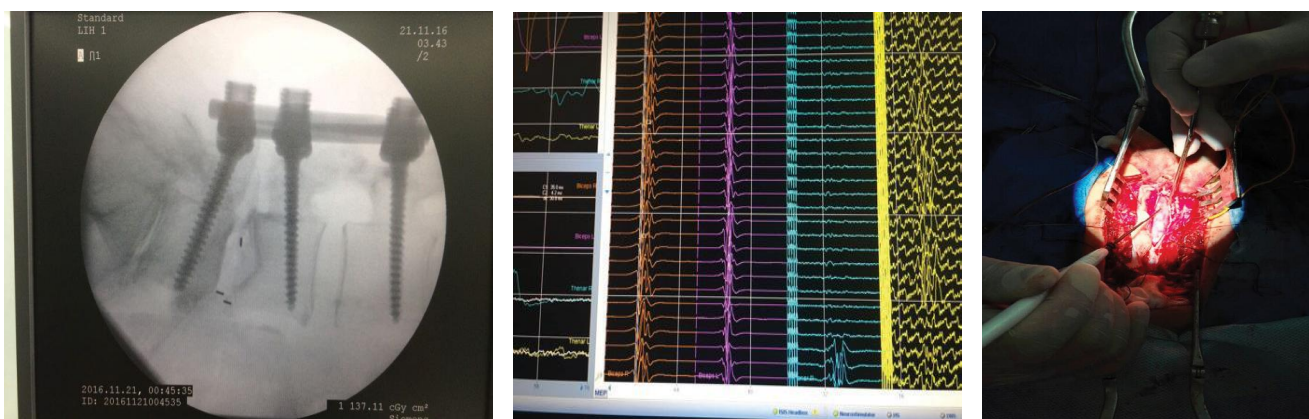


Рисунок 2 – Пациентка Д, 59 лет. Операция удаления рецидива грыжи диска L 5 – S 1 справа. Спондилодез транспедикулярной конструкцией. Выполнялась ТкМВП, ССВМ, стимуляция винтов и прямая стимуляция корешка L5 справа

При операциях на спинном мозге по поводу глиальных и метастатических опухолей применялся мультимодальный ИОНМ в 20 случаях. Появления и ухудшения неврологической симптоматики не отмечено.

При операциях на позвоночнике по поводу дегенеративных изменений с установкой стабилизирующих металлоконструкций выполнялась стимуляция винта и проверка близости к нервным структурам в 10 случаях. Проводилась оценки корректного положения транспедикулярных винтов и контроля их приближения к нервным структурам с целью предупреждения развития сегментарных неврологических осложнений. В ходе выполнения теста каждый транспедикуляр-

ный винт металлоконструкции тестировался зондом и отсутствие реакции раздражения на проводимую стимуляцию оценивалась как корректное положение винта (рис 3).

При операциях на плечевом сплетении в 12 случаях выполнялось восстановление первичных и вторичных стволов плечевого сплетения с посттравматическим повреждением и выраженным болевым синдромом. Выполнялась идентификация стволов плечевого сплетения путем прямой стимуляции. После операции у всех пациентов отмечался регресс болевого синдрома и восстановление нервной проводимости (клинически проявляемая повышением мышечного тонуса). (Рис 4)

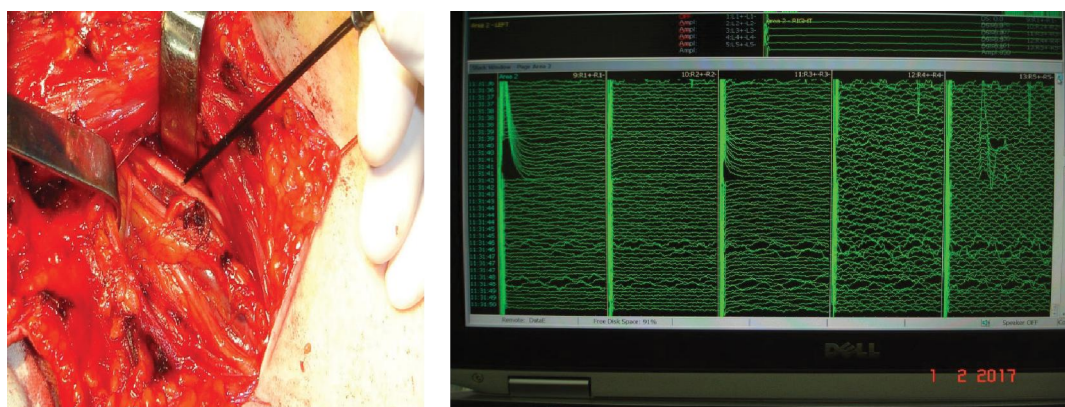


Рисунок 4 – Пациент К, 35 лет. Восстановление вторичных стволов плечевого сплетения. Этап выделения и идентификация стволов нерва. При выделении стволов сплетения выполнялась прямая стимуляция и идентификация в рубцовой ткани

### Обсуждение

Наш опыт показывает, что изменения конфигурации соматосенсорных вызванных потенциалов при операциях на стволе, особенно в случаях,

когда ССВП не восстанавливаются после прекращения хирургических манипуляций, имеют высокое прогностическое значение, становясь во многих случаях предикторами неврологического



дефицита (высокая специфичность) [8, 9].

Успешная идентификация лицевого нерва у 89 пациентов все же привела у некоторых из них к послеоперационной дисфункции, связанные с его повреждением. Во всех этих случаях опухоль имела крупные размеры, а лицевой нерв проходил через ложе опухоли, вследствие чего полностью избежать повреждений нерва при ее субтотальном удалении не удалось.

При операциях на больших полушариях с аналогичной целью сохранения моторных функций выполняется прямая электрическая стимуляция коры с регистрацией М-ответов с мышц, которая дает возможность идентификации корковой моторной зоны, сохраняя ее в процессе удаления опухоли.

Идентификация корковой моторной зоны, как и черепно-мозговых нервов, требует отсутствия миорелаксантов, предпочтительно применение внутривенной анестезии (пропофол через дозатор и фентанил) [6, 7].

Преимущества мониторинга продемонстрированы на пациентах, оперированных по поводу опухоли спинного мозга с использованием ИОНМ, только в случаях доброкачественных образований, чаще всего невриномы и эпиндимома, когда проводилось тотальное удаление опухоли, но не астроцитом, характеризовавшихся инфильтративным ростом и удаляемых лишь частично. Это связано с тем, что при удалении

опухолей спинного мозга очень важной проблемой становится определение той границы между опухолевой и здоровой тканями спинного мозга, превышение которой может сопровождаться развитием значительного неврологического дефицита [10, 11].

У всех пациентов с посттравматическим повреждением плечевого сплетения проводилась идентификация стволов плечевого сплетения первичных и вторичных стволов, что позволило восстановить непрерывность источенных нервных структур.

#### **Заключение**

Интраоперационный нейромониторинг — безопасный и эффективный метод диагностики, позволяющий снизить процент неврологических осложнений при нейрохирургических операциях и улучшить исход. Перспективным представляется комплексное применение разных модальностей мониторинга, позволяющих идентифицировать большинство структур нервной системы, находящихся в зонах хирургического вмешательства, и своевременно обнаружить изменения функций мозга для предотвращения его повреждения. Важным фактором, обеспечивающим успешность интраоперационного нейромониторинга, является эффективное взаимодействие нейрофизиологов, нейрохирургов и анестезиологов [1, 2, 11].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Огурцова А.А. Интраоперационный нейромониторинг в нейрохирургии: сборник трудов. – м., ФГБУ «Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН», 2013. – 74 с.
2. Moller A.R. Intraoperative Neurophysiological Monitoring; 3rd Edition. – SV, 2010.
3. Sala F., Manganotti P., Tramontano V., Bricolo A., Gerosa M. Monitoring of motor pathways during brain stem surgery: what we have achieved and what we still miss // *Clinical Neurophysiology*. – 2007. – Vol. 37(6). – P. 399-406.
4. Kodama K., Goto T., Sato A., Sakai K., Tanaka Y., Hongo K. Standard and limitation of intraoperative monitoring of the visual evoked potential // *Acta neurochirurgica*. – 2010. – Vol. 152(4). – P. 643-648.
5. Gavaret M., Jouve J.L., Péréon Y. et al. Intraoperative neurophysiologic monitoring in spine surgery. Developments and state of the art in France in 2011 // *Orthop Traumatol Surg Res*. – 2013. – Vol. 99(6). – P. 319-327.
6. Chen Z. The effects of isoflurane and propofol on intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgery // *J.Clin. Monit. Comput*. – 2004. – Vol. 18(4). – P. 303-308
7. Pelosi L., Stevenson M., Hobbs G.J. Intraoperative motor evoked potentials to transcranial electrical stimulation during two anaesthetic regimens // *Clin. Neurophysiol*. – 2001. – Vol. 112. – P. 1076-87.

8. Nossek E., Korn A., Shahar T., Kanner A.A., Yaffe H., Marcovici D., BenHarosh C., et.al. Intraoperative mapping and monitoring of the corticospinal tracts with neurophysiological assessment and 3-dimensional ultrasonography-based navigation // *Journal of Neurosurgery*. – 2011. – Vol. 114(3). – P. 738-746.

9. Deletis V., Francesco S. Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: A review focus on the corticospinal tracts // *Clinical Neurophysiology*. –

2008. – V. 119. – P. 248-264.

10. Berman J., Berger M., Mukherjee P., Henry R. Diffusion-tensor imaging guided tracking of fibers of the pyramidal tract combined with intraoperative cortical stimulation mapping in patients with gliomas // *Journal of Neurosurgery*. – 2004. – Vol. 101(1). – P. 66-72.

11. Berger M., Ojemann G. Intraoperative Brain Mapping Techniques in NeuroOncology // *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. – 1992. – Vol. 58(1-4). – P. 153-161.

### ТҮЙІНДЕМЕ

*А.Р. Халимов (м.ғ.к.), Л.Н. Танашева (м.ғ.к.), И.Т. Курмаев, В.А. Семеклитт., А.С. Жайлаубаева, А.В. Николаева, Ж.Б. Садыкова*  
*№7 Қалалық ауруханасы, ҚазМУББУ нейрохирургия кафедрасы, Алматы қ., Қазақстан*

## **ОРТАЛЫҚ ЖӘНЕ ШЕТКІ ЖҮЙКЕ ЖҮЙЕСІНІҢ ОПЕРАЦИЯЛАРЫ КЕЗІНДЕ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЯЛЫҚ ИНТРАОПЕРАЦИЯЛЫҚ НЕЙРОМОНИТОРИНГТЫ ҚОЛДАНУ ТӘЖІРИБЕСІ**

Бұл мақалада орталық және шеткі жүйке жүйесінің операциялары кезінде нейрофизиологиялық интраоперациялық нейромониторингтың негізгі қағидалары көрсетілген. Нейрофизиологиялық интраоперациялық мониторинг бас миының және жұлынның ісіктерін қауіпсіз алуда, омыртқаға арнайы темір құрастырмаларын орнатуда,

сонымен қатар иық өрімінің жарақаттан кейінгі зақымдануларында қауіпсіз жұмыс істеуді қамтамасыз етеді.

**Негізгі сөздер:** интраоперациялық нейромониторинг, транскраниальді шақырылған қозғалыс потенциалдары, тікелей стимуляция.

### SUMMARY

*A.R. Khalimov (Cand.Med.Sci), L.N. Tanasheva (Cand.Med.Sci), I.T. Kurmaev, V.A. Semeklitt, A.S. Zhailaubayeva, A.V. Nikolayeva, Zh.B. Sadykova.*  
*City Hospital №7, Department of Neurosurgery KazMUCE, Almaty, Republic of Kazakhstan.*

## **EXPERIENCE OF NEUROPHYSIOLOGICAL INTRAOPERATIVE MONITORING IN NEUROSURGERY**

The article reflects the main aspects of neurophysiological monitoring in operations on the central and peripheral nervous systems. Intraoperative neurophysiological monitoring provides safe intervention during removing tumors of the brain and spinal cord, insertion of metal structures on verte-

brae and surgeries of post-traumatic damages of the brachial plexus.

**Keywords:** intraoperative neurophysiological monitoring, motor evoked potentials, stimulation mapping