

**ИЗПОЛЗВАНЕ НА НЕВРОФИЗИОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ  
ПРИ ОПЕРАЦИИ НА СКОЛИОЗА****Б. Каменова<sup>1</sup>, В. Яблански<sup>2</sup>, В. Стефанов<sup>1</sup>, Е. Влаев<sup>2</sup>,  
А. Иванов<sup>2</sup> и Г. Симеонов<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Отделение по анестезиология и реанимация<sup>2</sup>Отделение по ортопедия и травматология

Токуда Болница София

**Резюме.** Целта на изследването е да се установи ефективността на използването на интраоперативен неврофизиологичен мониторинг за предотвратяване на неврологични увреждания при операции на сколиоза. Ретроспективно разгледахме 76 пациенти, претърпели хирургична корекция на сколиоза за периода април 2009 – февруари 2016 в Токуда Болница София, извършена от международен екип: от САЩ, Испания и България, членове на SRS (Scoliosis Research Society). При 28 пациенти (37%) се наблюдават интраоперативни ССЕР промени. След реакция от страна на хирургичния и анестезиологичния екип 6 остават необратими – персистират до края на неврофизиологичния мониторинг, като при 1 от пациентите отговарят на реални неврологични усложнения. При 14 пациенти (18%) се наблюдават МЕР промени, при 5 пациенти те остават необратими и при 3-ма се наблюдава постоперативен неврологичен дефицит. Използването на комбиниран неврофизиологичен мониторинг е достатъчно надежден метод и се препоръчва при всички случаи на оперативна корекция на сколиоза, предполагащи висок риск от неврологични усложнения.

**Ключови думи:** невромониторинг, сколиоза, гръбначен стълб, хирургия

**USE OF NEUROPHYSIOLOGICAL INTRAOPERATIVE MONITORING  
IN SCOLIOSIS SURGERY****B. Kamenova<sup>1</sup>, V. Yablanski<sup>2</sup>, V. Stefanov<sup>1</sup>, E. Vlaev<sup>2</sup>, A. Ivanov<sup>2</sup>  
and G. Simeonov<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Department of Anesthesiology and Reanimation, Tokuda Hospital Sofia<sup>2</sup>Department of Orthopaedy and Traumatology, Tokuda Hospital Sofia

**Summary.** The purpose of the study is to establish the efficacy of the intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) in scoliosis surgery as a

method preventing neurological complications. Combined IONM includes the use of somatosensory evoked potentials (SSEP), transcranial motor evoked potentials (TCMEP), electromyography (EMG) – spontaneous and evoked and H-reflex. Retrospectively 76 patients undergoing surgical correction of scoliosis were examined during the period from April 2009 to February 2013. International team from Tokuda Hospital Sofia, USA, and Spain, members of SRS – Scoliosis Research Society, performed the surgeries. In 28 patients, (37%) we observed intraoperative SSEP changes. After the surgical and anaesthesia team reaction 6 of the changes were irreversible – they persisted until the end of the IONM and in one of the patients were related to real neurological complication. In 14 patients, (18%) we observed motor evoked potentials (MEP) changes, in five patients, they were irreversible and three patients had post-operative neurological deficit. Changes in the SSEP have a high specificity but low sensitivity for detecting spinal cord injury. The use of combined IONM is an effective method and is recommended in all patients undergoing surgeries for scoliosis correction with high risk of neurological complications.

**Key words:** *neuromonitoring, scoliosis, spine, surgery*

## **Въведение**

Неврологичните усложнения при хирургично лечение на сколиоза са редки, но тежки. Честотата им е различна в зависимост от етиологията на заболяването, като най-висока е при случаите на конгенитална сколиоза (2.0%), следвана от невромускулната (1.1%) и идиопатичната сколиоза (0.8%) [4]. Интраоперативният неврофизиологичен мониторинг осигурява непрекъснато наблюдение на функцията на нервните структури, изложени на риск. Ранното откриване на нарушенията позволява бърза интраоперативна промяна в хирургичните действия и предотвратява появата на необратими увреждания. За да се осигури максимална защита на нервните структури по време на гръбначномозъчна хирургия, са необходими усилията на интердисциплинарен екип – хирурзи, анестезиолози и екип, осигуряващ невромониторинга [8]. Използваната широко преди техника на събуждане на пациента по време на операция (wake-up test) е заместена от мултимодален неврофизиологичен мониторинг. Той включва използване на соматосензорни потенциали, транскраниални моторни евокирани потенциали, ЕМГ – спонтанна и евокирана. Комбинираното използване на различни техники увеличава сензитивността и намалява фалшиво позитивните резултати [5].

### **Соматосензорни евокирани потенциали (ССЕП)**

Гръбначномозъчният електрофизиологичен мониторинг възниква през 70-те години с използването на ССЕП при операции за корекция на сколиоза [6]. Това са електрически сетивни потенциали, които се регистрират от сензорната зона на мозъчната кора или по протежение на соматосензорните пътища в отговор на стимулация на периферен нерв. Дават информация за целостта на задните сетивни пътища на гръбначния мозък. Най-често стимулираните периферни нерви за горен крайник са *n. medianus* (C5-T1) и *n. ulnaris* (C8-T1), а за долен крайник *n. peroneus* (L4-S2) и *n. tibialis posterior* (L4-S3). Електрически импулси от периферните рецептори се предават по протежение на *fasciculus gracilis* и *fasciculus cuneatus*, разположени в задните снопове на гръбначния мозък, и достигат съответните ядра в продълговатия мозък. Осъществява се първото синапсно свързване. Нервните влакна преминават в срещуположната страна и чрез *lemniscus medialis* достигат таламуса. Там се осъществява второто синапсно свързване, след това радират до сетивната зона на мозъчната кора. Електрическите импулси от горен крайник се регистрират чрез електроди, разположени върху скалпа и върху шийната част на гръбначния стълб и на нивото на брахиалния плексус. Електрическите импулси от долен крайник се регистрират чрез електроди, разположени върху скалпа, върху шийната част на гръбначния стълб и във *fossa poplitea*. ССЕП осигуряват почти непрекъснат контрол на целостта и функцията на нервните структури.

Алармиращ симптом за потенциална увреда е 50% редукция на амплитудата на електрическите импулси или 10% удължаване на латентността им. Причините за промени в ССЕП могат да бъдат: хирургични (механична или исхемична увреда на гръбначния мозък или други нервни структури), анестезия, системни физиологични промени (температура, артериално налягане, хипоксия, хиперкапния), позиционни промени и технически проблеми. Всички тези фактори трябва да се имат предвид, за да се избягва фалшиво позитивна интерпретация на резултатите [1].

В широко проучване, публикувано през 1995 г., което обхваща 51 263 операции на сколиоза, Nuwer и сътр. съобщават за 92% сензитивност и 98,9% специфичност при използването на ССЕП за предотвратяване на следоперативни неврологични усложнения [7].

### ***Транскраниални моторни евокирани потенциали (ТКМЕП)***

Дават информация за целостта на моторните пътища. В началото на 90-те години използването на ТКМЕП се популяризира като метод за мониториране на кортикоспиналния тракт [2]. Преди него, интраоперативната оценка на моторната функция се е осъществявала единствено чрез използването на Stagnara wake-up test, при който пациентът се събужда по време на операция и се кара да движи долните крайници [10]. ТКМЕП се получават при електрическа стимулация на моторната зона на мозъчната кора. Импулсите се провеждат по латералния и предния кортикоспинален път и след прекръстосване достигат предните рога на гръбначния мозък, където чрез синапси се свързват с мотоневроните. Мотоневроните инервират скелетната мускулатура на крайниците и аксиалните мускули на гърба.

ТКМЕП могат да се регистрират на нивото на гръбначния мозък или на нивото на мускулите на крайниците. Оценява се морфологията и повторемостта на получената крива. МЕП не могат да се следят непрекъснато поради двигателната активност, която би затруднила хирургичната дейност. Опитваме се да получаваме МЕП на всеки 15 min.

МЕП са силно зависими от вида анестезия. Инхалационните анестетици, мускулните релаксанти и N<sub>2</sub>O силно потискат МЕП. Препоръчва се използването на тотална интравенозна анестезия [9].

### ***Електромиография – ЕМГ (спонтанна и тригерирана)***

**Спонтанна ЕМГ.** Регистрира спонтанната активност на мускулите, инервирани от нервни структури, изложени на риск. Използва се и за мониториране на нивото на невромускулна блокада (ТО4). В зависимост от нивото на корекция на сколиозата се използват електроди, разположени върху различни мускули в шийния, гръдния и поясния отдел. Нормално спонтанната ЕМГ крива е типично неактивна. За потенциална увреда на нервите говори появата на нерегулярна мускулна активност.

**Предизвикана (тригерирана) ЕМГ.** Поставянето на винтове при стабилизация на гръбначния стълб трябва да бъде последвано от винтов стимулационен тест (pedicle screw testing). Основният принцип при този тест е, че ако винтът е „електрически близо“ до нервна структура и между тях има ниско електрическо

съпротивление, електрическата стимулация на винта ще активира нервите при използвана ниска сила на тока [3]. Чрез този метод може да се установи нарушение на целостта на педикуларната стена и проникване на винта в гръбначния канал. Извършва се стимулация на всеки винт чрез монополярна катодна сонда. Появата на мускулна активност при праг на стимулация  $\geq 8$  mA показва, че коренчетата на гръбначния мозък са интактни. Когато прагът е  $< 8$  mA, е възможна корекция на положението на винта.

### ***H-reflex (Hoffman reflex)***

Електрофизиологична техника, използвана за оценка едновременно на проводимостта през периферните нерви и на възбудимостта на гръбначния мозък. Предимствата на H-reflex пред придобиващите популярност в последно време ТКМЕП са: 1. нисък интензитет на периферната нервна стимулация, което продуцира минимално мускулно движение и не пречи на хирургичната дейност, 2. високи напрежения и токове не преминават през мозъка и това изключва техните потенциални вредни ефекти.

Най-често се стимулира тибиялният нерв в задколянната ямка и се регистрира отговор на нивото на m. gastrocnemicus. Стимулацията на тибиялният нерв предизвиква асцендентни и десцендентни импулси. Низходящите ортодромни моторни импулси предизвикват акционен потенциал в m. gastrocnemicus – M-вълна. Възходящите ортодромни сензорни импулси достигат до гръбначния мозък чрез нервно коренче S1 и осъществяват синаптична връзка ( $\alpha$ -мотоневроните в предните рога). Низходящ моторен импулс предизвиква отговор от m. gastrocnemicus – H-рефлекс.

### **Пациенти и методи**

Ретроспективно разгледахме 76 пациенти, претърпели хирургична корекция на сколиоза за периода април 2009–февруари 2016 г. Операциите са извършени от смесен международен екип: хирурзи от отделението по ортопедия към Токуда Болница София, ортопеди от САЩ и Испания, членове на SRS (Scoliosis Research Society), анестезиолози от Токуда Болница София и неврофизиолози от Biotronic USA. В екипа, осъществяващ неврофизиологичния мониторинг, е включен и лекар със специалност „Анестезиология и интензивно лечение“, което улеснява интерпретацията на резултатите. Отчетохме антропометрични данни

на пациентите, диагноза, степен на сколиозата (ъгъл на Коб), както и степента на корекция, вид оперативна интервенция със съответните достъп, ниво и инструментация, хемодинамични показатели, данни от неврофизиологичния мониторинг, оценка на неврологичната функция следоперативно, данни за анестезията. 50 от случаите са с идиопатична сколиоза, 19 с конгенитална сколиоза и 7 пациенти са с невромускулна сколиоза. Разпределението по пол е 59 жени и 17 мъже. Само при 2-ма от пациентите корекцията на сколиозата обхваща шийния отдел на гръбначния стълб, при 4-ма – торакалния отдел, при 68 – тораколумбалния сегмент, и при 2-ма – торако-лумбо-сакралния отдел. Възраст, BMI, както и време на операцията, брой на обхванатите прешлени, предоперативен и следоперативен ъгъл на Коб са представени съответно в табл. 1 и 2.

**Таблица 1. Възраст и BMI**

	Средна стойност	Минимална стойност	Максимална стойност
Години	14,03	3	25
BMI	19,27	8,75	34,71

**Таблица 2. Продължителност на хирургичната интервенция, брой на обхванатите прешлени, предоперативен и следоперативен ъгъл на Коб в представената група**

	Средна стойност	Минимална стойност	Максимална стойност
Продължителност на операцията (min)	308,58	70	600
Брой прешлени, обхванати при корекцията	11,52	4	17
Ъгъл на Коб в (°)	83,13	48	130
Степен на корекция (°)	44,41	13	93

### ***Неврофизиологичен мониторинг***

Техническото оборудване включва Xltek Protector hardware и EPWorks software. Използвахме субдермални иглени електроди.

Соматосензорните пътища бяха мониторирани при всички пациенти посредством стимулация на n. tibialis posterior и на n. ulnaris. Данните бяха получени чрез редуваща се стимулация вля-

во и вдясно. Сетивните отговори бяха регистрирани на ниво периферен нерв, мозъчен ствол и соматосензорен кортекс посредством електроди, поставени в задколянната ямка за долен крайник и в точката на Erb за горен крайник, в шийната част на гръбначния стълб и върху скалпа над соматосензорната зона на мозъчната кора.

Целостта на моторните пътища беше мониторирана чрез използване на ТКМЕП. Електродите за стимулация бяха поставени върху скалпа над моторния кортекс. Акционните мускулни потенциали регистрирахме чрез електроди в мускулите на thenar и hypothenar, m. deltoideus, m. tibialis anterior, m. gastrocnemicus, m. abductor halucis, m. extensor digitorum brevis двустранно.

При спонтанната ЕМГ, в зависимост от нивото на оперативна интервенция, измервахме мускулната активност двустранно на ниво m. deltoideus, m. trapezius, m. biceps brachii, m. triceps brachii, hypothenar, thenar, интеркостални мускули, m. rectus abdominis, m. iliopsoas, m. vastus lateralis, m. biceps femoris, m. gastrocnemicus, m. tibialis anterior.

При винтовия стимулационен тест (pedicle screw testing – PDS test) мониторирахме функционалната цялост на тораколумбо-сакралните коренчета на нивото на поставените винтове, използвайки монополярна катодна сонда. Наличие на мускулна активност при праг < 8 mA беше докладвано на операторите.

След индукция в анестезия регистрирахме изходни нива на ССЕП. Като алармиращ критерий за потенциална увреда на нервни структури приехме намаляване на амплитудата на потенциалите с > 50% в сравнение с изходното ниво и/или увеличаване на латентността с > 10%. Регистрирахме и постиндукционна крива на ТКМЕП. Отчитахме промени в морфологията и повторемостта на получените отговори.

### **Анестезия**

Използвахме пропофол и деполяризиращ мускулен релаксант при увода в анестезия. Поддръжката на анестезията се осъществяваше с комбинация от инхалационен анестетик (Севоран или изофлуран, MAC < 0,5) и интравенозна инфузия с пропофол. Като аналгетик използвахме инфузия със суфентанил или болуси фентанил. N<sub>2</sub>O не беше използван поради силния депресивен

ефект върху ССЕР. При някои от пациентите се налагаше прилагането на ниски дози атракуриум в етапите, в които не се регистрират МЕР. За отчитане на нивото на невромускулна блокада при част от пациентите използвахме Т04 мониторинг чрез стимулация на n. tibialis posterior или n. peroneus. При останалите пациенти използвахме информация от анестезиолога за използването на мускулни релаксанти.

### Резултати

Технически трудности за осъществяване на ССЕР мониторинг имахме при 3-ма пациенти, на МЕР мониторинг – при 5 пациенти, на ЕМГ – при 2-ма, и PDS test – при 1 пациент.

Промени в стойностите на ССЕР наблюдавахме при 28 от пациентите (11 пациенти с промени в ССЕР сигналите от долен крайник и 10 пациенти с позиционни промени на сигналите от горен крайник, 7 пациенти с промени на сигналите от горен и долен крайник). При 6 от случаите (3 от долен крайник и 3 от горен крайник) промените бяха необратими, а при останалите – обратими. Само при 1 от пациентите с необратими ССЕР промени в сигналите от горен крайник наблюдавахме постоперативни неврологични усложнения – болезненост в лявата предмишница през 1-ви следоперативен ден. Симптомите отзвучаха за 24 часа.

При двама от пациентите без промени в ССЕР наблюдавахме следоперативни неврологични оплаквания, изразяващи се в болков синдром и хипестезия в определени дерматоми. И при двамата клиничните симптоми отзвучаха в рамките на 1 месец. Резултатите са представени в табл. 3.

**Таблица 3. Интраоперативни ССЕР промени в сигналите**

Общ брой пациенти: 76

ССЕР промени	Брой		Неврологични усложнения
Технически проблеми	3		0
Горен крайник	18	15 обратими	0
		3 необратими	1
Долен крайник	17	14 обратими	0
		3 необратими	0

Промени в МЕР кривата се установиха при 14 от пациентите. При 9 от тях се възстановиха изходните нива на МЕР. При 5 пациенти промените останаха необратими до края на операцията и при трима от тях поради наличието на постоперативен неврологичен дефицит се наложи реоперация. При нито един от пациентите не се наблюдават следоперативни трайни неврологични увреждания 1 месец след интервенцията. Резултатите са обобщени в табл. 4.

**Таблица 4. Интраоперативни МЕР промени в сигналите**

Общ брой пациенти: 76

МЕР промени	Брой	Неврологични усложнения
Технически проблеми	5	0
14	9 обратими	0
	5 необратими	3

При PDS test при 26 от пациентите беше наблюдавана мускулна активност при стимулация < 8 mA. При 14 от тях последва репозиция на винтовете.

Следоперативни усложнения наблюдавахме само при 1 пациент, при който PDS тестът беше позитивен за педикуларния винт на ниво L1 вдясно (мускулна активност при 5 mA). Пациентът е рехоспитализиран 8 дни след операцията по повод появила се ликворея от оперативната рана. Образните изследвания показаха преминаване на педикуларния винт L1 вляво през гръбначния канал и навлизането му в тялото на прешлена. Направена реоперация.

При 1 от пациентите интраоперативният PDS test беше негативен, но ЕМГ отчете нерегулярна мускулна активност. Следоперативните образни изследвания показаха навлизане на педикуларния винт в епидуралното пространство, което наложи реоперация въпреки липсата на клинични оплаквания.

ЕМГ показва нерегулярна мускулна активност при 8 пациенти. При двама от тях следоперативните образни изследвания показаха малпозиция на педикуларните винтове и се наложи реоперация.

Случаите, в които се наблюдават промени в неврофизиологичния мониторинг в зависимост от етапа на операцията, са представени в таблица 5.

При 9 от пациентите в периода от 3-ти до 7-и следоперативен ден се наблюдават оплаквания от ГИТ (болка в епигастриума, спастичност по хода на колон асценденс и колон десценденс, коликообразни болки около пъпа). Отхвърлена е хирургична причина и е назначено симптоматично лечение със спазмолитици.

Не се установи статистическа зависимост между степента на корекция и честотата на промени в ССЕР и ТКМЕР.

**Таблица 5. Промени в неврофизиологичния мониторинг в зависимост от етапа на операцията**

Стадий на операция	ССЕР промени	МЕР промени
Осигуряване на оперативен достъп	1	
Декомпресия	2	
Поставяне на винтове	14	4
Поставяне на ротове	5	3
Поставяне на субламинарна тел	1	
Деротация	8	4
Затваряне	4	3

### **Заклучение**

Реализирането на неврофизиологичен мониторинг при използване на ССЕР и ТКМЕР не е технически сложно.

При 28 пациенти (37%) се наблюдават ССЕР промени. След реакция от страна на хирургичния и анестезиологичния екип 6 остават необратими – персистират до края на неврофизиологичния мониторинг, като при 1 от пациентите отговарят на реални неврологични усложнения.

ССЕР са основен добър индикатор за функцията на гръбначния мозък, но са по-малко информативни при увреда на периферни нерви.

При 14 пациенти (18%) се наблюдават МЕР промени, при 5 пациенти те остават необратими и при 3-ма се наблюдава постоперативен неврологичен дефицит, налагащ повторна интервенция. При

17% от необратимите ССЕРП промени и при 60% от необратимите МЕРП промени има неврологично засягане. ССЕРП се приема като високоспецифичен и нискосензитивен метод за установяване на нервна увреда. МЕРП са с висока специфичност и сензитивност.

Негативен PDS test при стимулация до 8 mA гарантира адекватна дистанция на винта. Причини за фалшиво негативни резултати при този тест могат да бъдат шънтиране на тока, използване на мускулни релаксанти и наличие на предварителна увреда на нервните пътища.

При всеки един от етапите на операцията съществува риск от неврологично засягане.

Мултимодалният неврофизиологичен мониторинг, включващ ССЕРП, ТКМЕРП, спонтанна и тригерирана ЕМГ, е с висока специфичност и сензитивност и ефективно предотвратява появата на неврологични увреждания по време на операции за корекция на сколиоза. Мултидисциплинарният подход е задължителен при използване на интраоперативния мониторинг.

### **Библиография**

1. Andres, A. G. et al. Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery. – Neurosurg. Focus. 2009; 27(4):E6.
2. Burke, D, et al. Assessment of corticospinal and somatosensory conduction simultaneously during scoliosis surgery. – Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 1992; 85:388-396.
3. Calancie, B, et al. Stimulus-evoked EMG monitoring during transpedicular lumbosacral spine instrumentation. Initial clinical results. – Spine, 1994; 19:2780-6.
4. Remes, D. L. et al. Complications in the surgical treatment of 19,360 cases of pediatric scoliosis. – Spine, 2011; 36(18):1484-1491.
5. Malhotra, N. R. et C. I. Shaffrey. Intraoperative electrophysiological monitoring in spine surgery. – Spine, 2010; 35:2167-79.
6. Nash, C. L. Jr. et al. Spinal cord monitoring during operative treatment of the spine. – Clin. Orthop. Relat. Res., 1977; 126:100-105.
7. Nuer, M. R. et al. Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: results of a large multicenter survey. – Electroencephalograph. Clin. Neurophysiol., 1995; 96:6-11.

8. P a j e w s k i, T. N. et al. Current approach on spinal cord monitoring: the point of view of the neurologist, the anesthesiologist and the spine surgeon. – Eur. Spine J., (2 Suppl). 2007; S115-S129.
9. P e c h s t e i n, U. et al. Isoflurane plus nitrous oxide versus propofol for recording of motor evoked potentials after high frequency repetitive electrical stimulation. – Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 1998; 108:175-181.
10. V a u z e l l e, C, et al. Functional monitoring of spinal cord activity during spinal surgery. – Clin. Orthop. Relat. Res., 1973; 173-178.

✉ *Адрес за кореспонденция:*

Д-р Биляна Каменова  
Отделение по анестезиология и реанимация  
Токуда Болница София  
бул. „Никола Вапцаров“ № 51Б  
1307 София

☎ 0884 93 32 74  
e-mail: bibkam@yahoo.fr