

УДК 616.711-007.5-053.2-089-06:616.832-001-084]-073.7

К.С. Курисько^{1,2}, А.Ф. Левицький^{1,2}

Роль інтраопераційного нейрофізіологічного моніторингу в пацієнтів дитячого віку під час хірургічного лікування ідіопатичного сколіозу

¹Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

²Національна дитяча спеціалізована лікарня «ОХМАТДИТ», м. Київ, Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 47-53. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).4753

For citation: Kurysko KS, Levytskyi AF. (2025). The role of intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric patients during surgical treatment of idiopathic scoliosis. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 47-53. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).4753.

Ятрогенне ушкодження спинного мозку, що призводить до параплегії, є рідкісним, але тяжким ускладненням. Рівень його поширеності за корегування деформацій хребта, за оцінками Товариства дослідження сколіозу, становить принаймні 1%. Інтраопераційний нейрофізіологічний моніторинг (ІОНМ) широко застосовується, щоб попередити хірургічну бригаду про потенційно оборотний неврологічний дефіцит, а це приводить до кращого прогнозу.

Мета – оцінити значення чутливості й специфічності моторних викликаних потенціалів (МВП) для прогнозування та запобігання неврологічного дефіциту в оперативному лікуванні ідіопатичного сколіозу в дітей.

Матеріали і методи. До дослідження залучено 90 пацієнтів із діагнозом ідіопатичного сколіозу грудно-поперекового відділу хребта. Усім пацієнтам у разі хірургічного корегування ідіопатичного сколіозу проведено ІОНМ. Проаналізовано модальності ІОНМ – електроміографію в режимі реального часу та МВП із вимірюванням амплітуди моторної відповіді. Після зниження амплітуди МВП понад 70% від вихідного рівня або повного зникнення з одного чи двох боків усім пацієнтам проведено заходи відповідно до протоколу втрат сигналів МВП, що був нами модифікований.

Результати. Зміни показників МВП спостерігалися в 22 (24,4%) випадках. Післяопераційний транзиторний неврологічний дефіцит відзначався в 10 (11%) пацієнтів, що регресував протягом 2–3 тижнів після оперативного втручання. За розрахунками, чутливість методу МВП становила 100%, специфічність методу МВП – 85%, прогностична значущість позитивного результату – 45,5%, прогностична значущість негативного результату – 100%.

Висновки. ІОНМ із використанням МВП має високу чутливість і специфічність для виявлення нових пошкоджень спинного мозку в пацієнтів дитячого віку, яким проводять хірургічне втручання з приводу ідіопатичного сколіозу. Застосування заходів відповідно до протоколу втрати сигналів МВП є результативним для зменшення кількості пацієнтів із післяопераційним ятрогенним неврологічним дефіцитом, що мають зміни показників МВП в інтраопераційному періоді.

Дослідження виконано згідно з принципами Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено локальним етичним комітетом інституту. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Ключові слова: ідіопатичний сколіоз, деформація хребта, безпека хірургії хребта, задня коригуюча інструменталія хребта, інтраопераційний нейрофізіологічний нейромоніторинг, моторні викликані потенціали.

*Original articles. Orthopedics***The role of intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric patients during surgical treatment of idiopathic scoliosis****K.S. Kurysko^{1,2}, A.F. Levytskyi^{1,2}**¹*Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine*²*National Specialized Children's Hospital 'OKHMATDYT', Kyiv, Ukraine*

Iatrogenic spinal cord injury leading to paraplegia is a rare but severe complication. Its prevalence during correction of spinal deformities, according to estimates by the Scoliosis Research Society to be at least 1%. Intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) is widely used for real-time feedback on spinal cord function to alert the surgical team about potentially reversible neurological deficits, allowing early detection of intraoperative spinal cord injury, which enables early intervention, leading to a better prognosis.

Aim – to determine the significance of the sensitivity and specificity of motor evoked potentials for predicting and preventing neurological deficits during surgical treatment of idiopathic scoliosis in children.

Materials and methods. The study included 90 patients diagnosed with idiopathic scoliosis of the thoracolumbar spine. We analyzed the following modalities of intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) – free run electromyography and motor evoked potentials (MEP), with measurement of the amplitude of the motor response. When the MEP amplitude decreased by more than 70% from the baseline, or completely disappeared on one or both sides, all patients underwent measures according to the MEP loss protocol, which was modified by us.

Results. Changes in motor evoked potential were observed in 22 (24.4%) cases. Postoperative transient neurological deficit was observed in 10 (11%) patients, which regressed within 2–3 weeks after surgery. In our calculations, MEP method sensitivity was 100%, specificity was 85%, positive predictive value was 45.5%, and negative predictive value was 100%.

Conclusions. Intraoperative neurophysiological monitoring using MEP is effective for predicting and preventing threatening neurological deficits during surgical treatment of idiopathic scoliosis in children. MEP monitoring has high sensitivity and specificity for detecting new spinal cord injuries in pediatric patients undergoing surgery for idiopathic scoliosis. Application of measures according to the MEP signal loss protocol is effective in reducing the number of patients with postoperative iatrogenic neurological deficit who have changes in MEP indicators during the intraoperative period.

The study was conducted in accordance with the principles of the Helsinki Declaration. The study protocol was approved by the local ethics committee of the institution. Informed consent was obtained from patients for the study.

The authors declare no conflict of interest.

Keywords: idiopathic scoliosis, spinal deformity, spinal surgery safety, posterior corrective spinal instrumentation, intraoperative neurophysiological monitoring, motor evoked potentials.

Вступ

Іатрогенне ушкодження спинного мозку, що призводить до параплегії, є рідкісним, але тяжким ускладненням. Рівень поширеності такого неврологічного дефіциту під час корегування деформацій хребта, за оцінками Товариства дослідження сколіозу, становить 1% [2,3,7,12].

Інтраопераційний нейрофізіологічний моніторинг (ІОНМ) широко застосовується для зворотного зв'язку в режимі реального часу щодо контролю функції спинного мозку, щоб попередити хірургічну бригаду про потенційно оборотний неврологічний дефіцит. Допомогає на ранній стадії виявити інтраопераційне ушкодження спинного мозку, а це дає змогу провести раннє втручання, що приводить до кращого прогнозу [4–6,9,10].

Сфера ІОНМ змінила менеджмент хірургії хребта, надаючи спінальним хірургам дані про періопераційну неврологічну функцію в реальному часі [1,3].

Моторні викликані потенціали (МВП), що є однією з основних модальностей ІОНМ, дуже чутливі до змін кровотоку спинного мозку внаслідок гіпотонії або судинного ураження [5,8,10,11]

За даними літератури, МВП мають чутливість 91% (95% довірчий інтервал (ДІ): 34–100%) і специфічність – 96% (95% ДІ: 92–98%) у разі хірургічного корегування ідіопатичного сколіозу, також мають 100% негативну прогностичну цінність і дають змогу своєчасно визначити фізіологічний дистрес спинного мозку, а отже, провести негайне втручання [4,8,12,14].

Мета дослідження – оцінити значення чутливості й специфічності МВП для прогнозування і запобігання неврологічного дефіциту в оперативному лікуванні ідіопатичного сколіозу в дітей.

Матеріали і методи дослідження

До дослідження залучено 90 пацієнтів із діагнозом ідіопатичного сколіозу грудопоперекового відділу хребта, що перебували на лікуванні у відділенні ортопедії та травматології Національної дитячої спеціалізованої лікарні «ОХМАТДИТ» м. Київ за період 2019–2024 рр.

Критерії залучення: вік від 10 до 18 років, основний діагноз «Ідіопатичний сколіоз грудо-поперекового відділу хребта».

Критерії вилучення: неврологічний дефіцит, вік понад 18 років.

Усім пацієнтам під час хірургічного корегування ідіопатичного сколіозу проведено ІОНМ. Проаналізовано такі модальності ІОНМ – електроміографію в режимі реального часу та МВП з вимірюванням амплітуди моторної відповіді. ІОНМ проведено за допомогою апарату для ІОНМ «ISIS Express», 32 канали.

Моторні викликані потенціали отримано за допомогою транскраніальної електричної стимуляції. Штопорні стимулюючі електроди розміщено підшкірно над проекцією моторної кори в точках Fz (анод) і Cz (катод). Запис МВП проведено парними голками довжиною 15–20 мм і діаметром 0,4 мм, розміщеними в м'язах обабіч: прямий м'яз живота, чотириголовий м'яз стегна, передній великогомілковий м'яз, м'яз, що відводить великий палець стопи на відстані 4,0 см одна від одної. Силу струму від 90 до 250 мА, трейном 6–7 імпульсів, ширину імпульсу 500 мс, частоту 1 Гц застосовано до штопорних електродів. Одна стимуляція – 5–7 імпульсів, тривалість – 50–75 мікросекунд. Інтервали між стимулами – 4,0 мс. Амплітуду моторної відповіді ви-

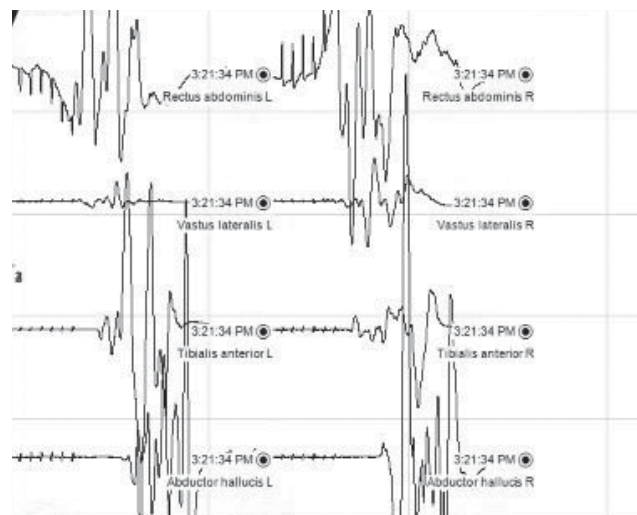


Рис. 1. Моторні відповіді з м'язів після стимуляції МВП

міряно від позитивного піку до негативного піку в мВт, її показник на початку оперативного втручання вважається базовим, від нього рахуються зміни у відсотках. МВП (рис. 1) отримано на початку оперативного доступу, після встановлення кожного педікулярного гвинта, кожні 3–5 хвилин під час критичних етапів операції, зокрема, декомпресії, детор-

Таблиця 1

Протокол втрати сигналів МВП в хірургічному лікуванні ідіопатичного сколіозу в дітей

| Лікар | Дії |
|---|--|
| Перший етап перевірки | |
| Спеціаліст з ІОНМ | Оповістити операційну бригаду про зміни показників ІОНМ. Перевірити електроди/з'єднання. Переглянути техніку анестезії (чи не було використано міорелаксанти, газу) |
| Хірург | Хірургічна пауза. Реверсія корегувального моменту (стрижні, дистракція, деротація). Якщо є педікулярний гвинт або його встановлено безпосередньо перед цим, то його слід видалити. Провести тактильний контроль каналу гвинта останніх трьох рівнів інструментації. Забезпечити теплий фізіологічний розчин у рану |
| Анестезіолог | Середній артеріальний тиск – >80 мм рт. ст. <ul style="list-style-type: none"> • Оптимізація гематокриту, рН, рO₂ (FiO₂ 100%). • Нормотермія. • Надіслати кров до лабораторії, необхідний рівень гемоглобіну має становити 100 мг/л, за потреби – відкорегувати. • Наскільки можливо, зменшити кількість внутрішньовенної анестезії |
| Другий етап перевірки | |
| Хірург | Оглянути імпланти: <ul style="list-style-type: none"> • 3D-зображення. • Перевірити/зменшити корегування. • Порадитися з колегою. • Розглянути застосування місцевого блокатора кальцієвих каналів |
| Спеціаліст з ІОНМ | Переглянути зміни. Збільшити частоту та інтенсивність стимуляції |
| Анестезіолог | Розглянути можливість болюсного введення стероїдів (метилпреднізолон) |
| Третій етап перевірки через 15 хв | |
| Розглянути можливість завершення оперативного втручання за планом меншого корегування | |

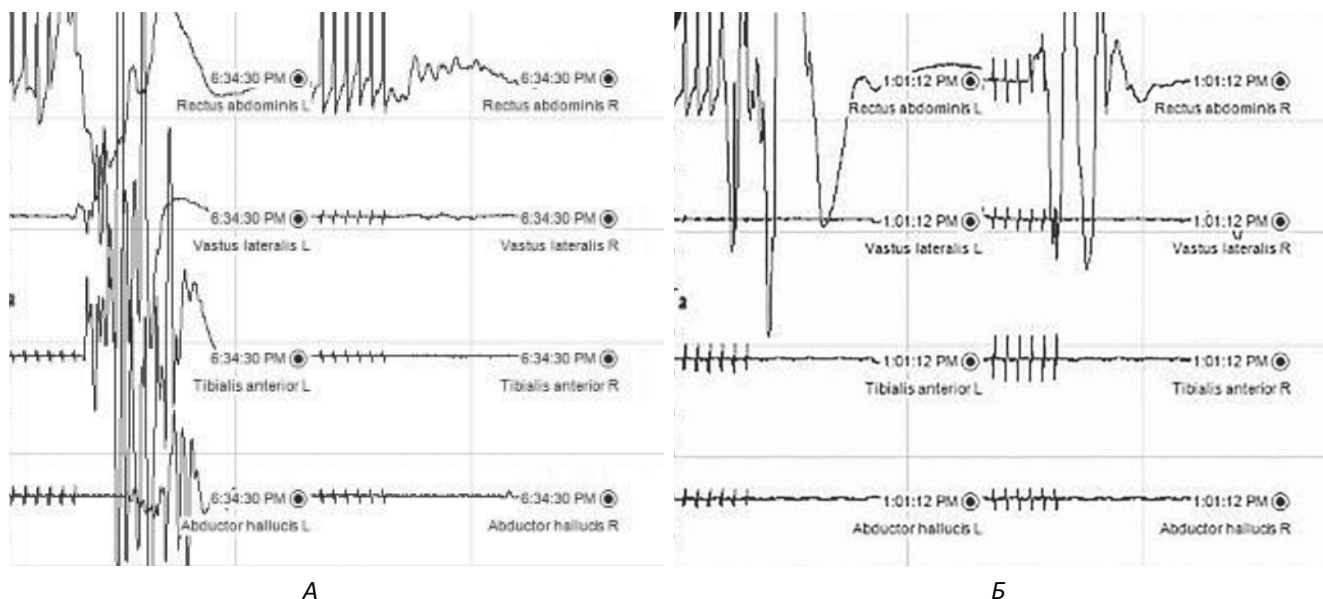


Рис. 2. Зміни моторних відповідей: А – зникли з лівої нижньої кінцівки; Б – зникли з обох нижніх кінцівок

тації і корекції. У менш критичні моменти оперативного втручання МВП виконано рідше та на розсуд хірурга або лікаря-спеціаліста з ІОНМ. Проведено обов'язковий контроль МВП після постановки епідурального катетера після завершення основного етапу операції [1,3].

За отриманими даними проведено точкове та інтервальне оцінювання, ROC-аналіз, враховано чутливість і специфічність методу МВП за допомогою статистичного пакету EZR. Також побудовано Номограму Фагана, що визначає передтестову і післятестову ймовірність виникнення неврологічного дефіциту.

Оцінювання результатів. МВП показують зменшення амплітуди моторних відповідей, якщо спинний мозок пошкоджений у грудному відділі хребта, а також реагують змінами на компресію або розтягнення корінців спинного мозку в поперековому відділі хребта. Ця методика застосовується в корегуванні грудноперекових деформацій, а також в інших втручаннях із використанням спінального інструментарію [1,3]. Критеріями тривоги вважа-

ються зниження амплітуди моторних відповідей понад 70% від вихідного рівня або повне зникнення з одного або двох боків. У разі виникнення змін показників МВП усім пацієнтам проведено заходи з протоколу втрат нейромоніторингу, що був нами модифікований [3].

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження погоджено локальним етичним комітетом зазначеної установи. На проведення дослідження отримано інформовану згоду пацієнтів.

Результати дослідження та їх обговорення

Усього проведено 90 втручань із приводу ідіопатичного сколіозу в дітей, у всіх випадках застосовано ІОНМ із використанням спонтанної міографії та МВП.

У разі виникнення змін МВП пацієнтам виконано заходи відповідно до модифікованого протоколу втрати сигналів МВП (табл. 1). Відмінність цього протоколу полягає в тому, що не проводиться тест із пробудженням, ІОНМ контролює безпосередньо

Таблиця 2

Зміни показників МВП інтраопераційно, абс. (%)

| Параметр | Кількість пацієнтів |
|---|---------------------|
| Змін не виявлено | 68 (75,6) |
| Зміни показників ІОНМ: | 22 (24,4) |
| за 15 хвилин після переоцінки – I етап перевірки | 18 (20,0) |
| після вживання заходів протоколу втрат – II етап перевірки | 15 (16,6) |
| після вживання заходів протоколу втрат – III етап перевірки | 14 (15,5) |
| На момент пробудження після операції | 10 (11,0) |
| Неврологічний дефіцит на момент виписки | 0 (0,0) |

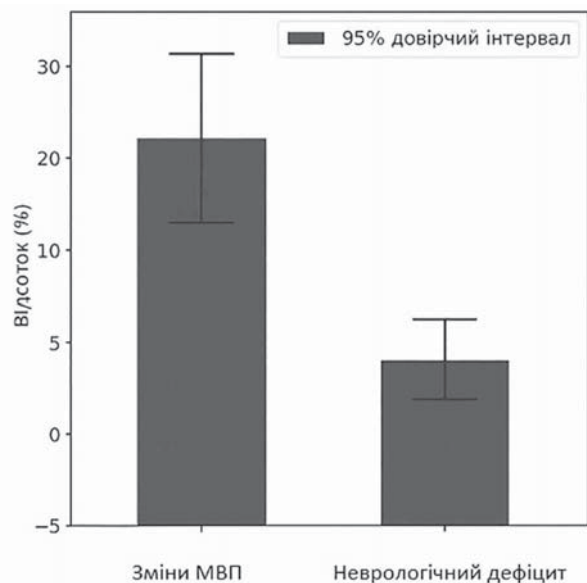


Рис. 3. Інтервальне оцінювання показників змін МВП і настання неврологічного дефіциту в післяопераційному періоді (вказано значення частоти, %, стандартна похибка і 95% довірчий інтервал)

лікар-спеціаліст з ІОНМ, не проводяться епідуральні МВП, що, за даними літератури, не достовірні [13].

Зміни показників МВП у вигляді зниження їхньої амплітуди понад 70% або повне зникнення з одного чи двох боків виявлено у 22 (24,4%) випадках (табл. 2). У решти 68 пацієнтів не встановлено змін упродовж оперативного втручання.

Першим кроком було обов'язкове оповіщення операційної бригади про зміни показників ІОНМ, після чого робилася хірургічна пауза, тактильна перевірка стінок каналу гвинта останніх трьох рівнів інструментації за допомогою хірургічного інструменту або реверсії корегувального маневру, зігрівання рани теплим розчином 0,9% хлориду натрію. Спеціаліст з ІОНМ на цьому етапі мав перевірити всі з'єднання, електроди, системи. Анестезіолог мав контролювати тиск (середній артеріальний тиск – >80 мм рт. ст.), насиченість крові PO_2 і PCO_2 , терміново визначити рівень гемоглобіну, а в подальшому підтримувати його на рівні понад 100 мг/л, нормотермію. Через 15 хвилин мав переоцінити показники ІОНМ. Якщо показники відновилися, то цих дій було достатньо для відновлення МВП і приймали рішення продовжити хірургічне втручання за попереднім планом. Якщо МВП не відновилися (що відзначено у 18 (20%) пацієнтів), то проводили повторні стимуляції більшою силою струму, виконували правильне проведення педікулярного гвинта за допомогою інтраопераційної комп'ютерної томографії для визначення правильності проведення педікулярних гвин-

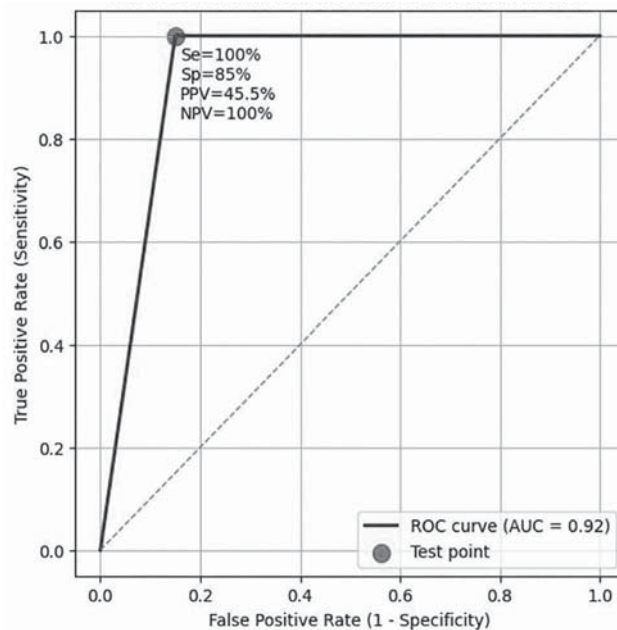


Рис. 4. ROC-крива дискримінантної здатності моніторингу показників МВП

тів, за потреби – перепроводили або видаляти некоректно проведений гвинт, вирішували питання щодо доцільності місцевого застосування блокаторів кальцієвих каналів, вирішували питання щодо застосування метилпреднізолону в дозі 30 мг/кг згідно з рекомендаціями Товариства дослідників сколіозу і Національного дослідження гострої травми спинного мозку [11]. Повторний контроль проводили через 15 хв. За нашими спостереженнями, після таких дій у 15 (16,6%) пацієнтів МВП залишалися без відновлення. Якщо відзначалася тенденція до відновлення МВП, то продовжували оперативне втручання, як заплановано. Якщо не було МВП з одного або двох боків, такі показники зберігалися в 14 (15,5%) пацієнтів, за коректного проведення гвинтів, то хірургічне лікування продовжували, проте ступінь корегування був меншим за запланований, і в цьому випадку пацієнти отримували метилпреднізолон парентерально протягом доби.

Післяопераційний транзиторний неврологічний дефіцит у вигляді нижнього моно-, парапарезу та одно-, двобічного порушення больової та пропріоцептивної чутливості в нижніх кінцівках виявлено в 10 (11%) пацієнтів, які в післяопераційному періоді отримували метилпреднізолон протягом доби. На другу добу починали раннє реабілітаційне лікування спеціалістами відділення гострої реабілітації. З наступної доби після оперативного втручання рекомендували обов'язкову вертикалізацію пацієнта. Протягом 2–3 тижнів після оперативного втручання відзначався регрес неврологічного дефіциту.

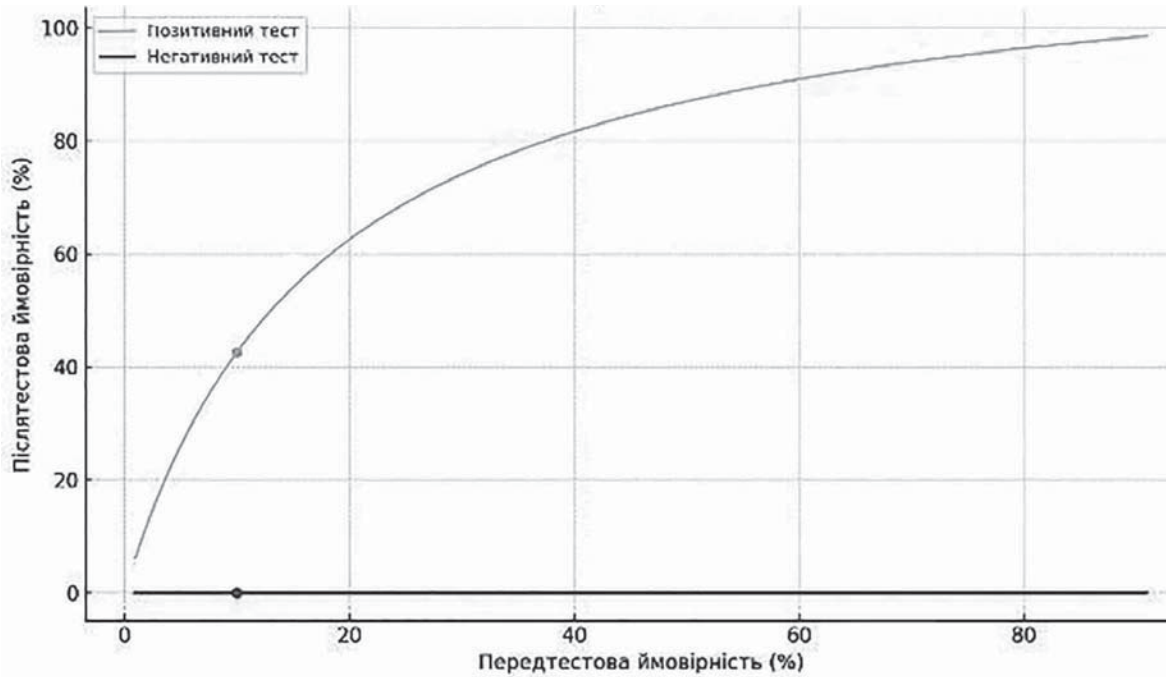


Рис. 5. Номограма Фагана

За даними таблиці 2, після кожного етапу дій за протоколом втрат МВП кількість пацієнтів зі змінами показників МВП зменшувалася.

За результатами розрахунку кількості пацієнтів, у яких виявили зміни показників ІОНМ інтраопераційно, неврологічний дефіцит у післяопераційному періоді, і пацієнтів без жодних змін інтраопераційних МВП отримано такі дані: чутливість методу МВП становила 100% (95% довірчий інтервал (ДІ): 69,1–100%), специфічність методу МВП – 85% (95% ДІ: 75,60–91,2%). Прогностична значущість позитивного результату (PPV) дорівнювала 45,5% (95% ДІ: 26,9–63,5%), прогностична значущість негативного результату (NPV) – 100% (95% ДІ: 97,4–100%). Розрахунки виконано за допомогою статистичного пакету EZR.

Тобто кожний пацієнт, у якого в післяопераційному періоді був неврологічний дефіцит у вигляді зниження сили м'язів з одного або двох боків, у 100% випадків мав зміни показників МВП у вигляді зниження М-відповіді понад 70% або зникнення з одного або двох боків, відповідно (рис. 2).

Водночас не у всіх пацієнтів зі змінами показників МВП відзначався неврологічний дефіцит, що, на нашу думку, пов'язано зі вчасним застосуванням медикаментозних і немедикаментозних заходів відповідно до протоколу втрати сигналів МВП. Зміни показників МВП спостерігалися у 22 (24,4%) пацієнтів (95% ДІ: 15,4–33,5%), післяопераційний неврологічний дефіцит відзначався у 10 (11,1%) пацієнтів

(95% ДІ: 4,6–17,6%), Відмінність була статистично значущою ($p < 0,0001$) (рис. 3).

За результатами ROC-аналізу моніторингу МВП, останній показав високу діагностичну здатність тесту. Площа під ROC-кривою (AUC) становила 0,92, що відповідало відмінній дискримінаційній здатності (рис. 4).

Також побудовано номограму Фагана (рис. 5), яка засвідчила, що перед хірургічним втручанням виникнення післяопераційного неврологічного дефіциту становить 10%, після виявлення змін показників МВП ймовірність настання такого дефіциту збільшується до 43%. Якщо показники МВП залишаються без змін, то ймовірність настання післяопераційного неврологічного дефіциту падає майже до 0%.

Це свідчить, що моніторинг МВП добре підтверджує або спростовує настання неврологічного післяопераційного дефіциту.

Проведено порівняння отриманих нами показників із даними літературних джерел [4,8,12,14]. Отримані нами показники чутливості мають вищий рівень, що пов'язано з відсутністю пацієнтів із хибно позитивними втратами показників МВП, а нижчі показники специфічності пов'язані з активним і чітким використанням протоколу втрати показників МВП, що знижує кількість пацієнтів із післяопераційним неврологічним дефіцитом за наявності змін показників моторних відповідей інтраопераційно. Також має значення, що в наведеному нами дослідженні брали участь пацієнти дитячого віку.

Висновки

Інтраопераційний нейрофізіологічний моніторинг із використанням МВП має високу чутливість і специфічність для виявлення нових пошкоджень спинного мозку в пацієнтів дитячого віку, яким проводять хірургічне втручання з приводу ідіопатичного сколіозу. Застосування заходів відповідно до протоколу втрати сигналів МВП є результативним для зменшення кількості пацієнтів із післяопераційним ятрогенним неврологічним дефіцитом, що мають зміни показників МВП в інтраопераційному періоді.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References/Література

- Deletis V. (2005, Oct). What does intraoperative monitoring of motor evoked potentials bring to the neurosurgeon? *Acta Neurochir (Wien)*. 147(10): 1015-1107. doi: 10.1007/s00701-005-0573-8. PMID: 16133779.
- Diab M, Smith AR, Kuklo TR. (2007, Nov 15). Spinal Deformity Study Group. Neural complications in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 32(24): 2759-2763. doi: 10.1097/BRS.0b013e31815a5970. PMID: 18007257.
- Guiroy A, Candocia A, Fontes RBV. (2020). Intraoperative neuromonitoring and complex spine surgery. Chapter 28. In: *Neurophysiology in Neurosurgery: A Modern Approach*. Editor(s): Vedran Deletis, Jay L. Shils, Francesco Sala, Kathleen Seidel. 2nd Edition. Academic Press: 381-394. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815000-9.00028-9>.
- Magampa RS, Dunn R. (2021, Mar). Surgeon-directed transcranial motor evoked potential spinal cord monitoring in spinal deformity surgery. *Bone Joint J*. 103-B(3): 547-552. doi: 10.1302/0301-620X.103B3.BJJ-2020-1278.R1. PMID: 33641421.
- Macdonald DB, Skinner S, Shils J, Yingling C. (2013, Dec). American Society of Neurophysiological Monitoring. Intraoperative motor evoked potential monitoring – a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *Clin Neurophysiol*. 124(12): 2291-2316. Epub 2013 Sep 18. doi: 10.1016/j.clinph.2013.07.025. PMID: 24055297.
- Miller SM, Donegan SW, Voigt N, Eltorai AEM, Nguyen J, Machan JT et al. (2019, Mar 12). Transcranial motor-evoked potentials for prediction of postoperative neurologic and motor deficit following surgery for thoracolumbar scoliosis. *Orthop Rev (Pavia)*. 11(1): 7757. doi: 10.4081/or.2019.7757. PMID: 30996839; PMCID: PMC6452093.
- Pastorelli F, Di Silvestre M, Plasmati R, Michelucci R, Greggi T, Morigi A et al. (2011, May). The prevention of neural complications in the surgical treatment of scoliosis: the role of the neurophysiological intraoperative monitoring. *Eur Spine J*. 20; Suppl 1: S105-114. Epub 2011 Mar 18. doi: 10.1007/s00586-011-1756-z. PMID: 21416379; PMCID: PMC3087032.
- Reddy RP, Gorijala VK, Kaithi VR, Shandal V, Anetakis KM, Balzer JR et al. (2023, Oct). Utility of transcranial motor-evoked potential changes in predicting postoperative deficit in lumbar decompression and fusion surgery: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J*. 32(10): 3321-3332. Epub 2023 Aug 26. doi: 10.1007/s00586-023-07879-y. PMID: 37626247.
- Reddy RP, Singh-Varma A, Chang R, Vedire A, Anetakis KM, Balzer JR, Crammond DJ et al. (2024, Jun). Transcranial Motor Evoked Potentials as a Predictive Modality for Postoperative Deficit in Cervical Spine Decompression Surgery – A Systematic Review and Meta-Analysis. *Global Spine J*. 14(5): 1609-1628. Epub 2023 Dec 4. doi: 10.1177/21925682231219224. PMID: 38047537; PMCID: PMC11394496.
- Sala F, Krzan MJ, Deletis V. (2002). Intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric neurosurgery: why, when, how? *Childs Nerv Syst*. 2002 Jul;18(6-7):264-87. doi: 10.1007/s00381-002-0582-3. Epub 2002 Jun 13. PMID: 12172930.
- Schwartz DM, Auerbach JD, Dormans JP, Flynn J, Drummond DS, Bowe JA et al. (2007, Nov). Neurophysiological detection of impending spinal cord injury during scoliosis surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 89(11): 2440-2449. doi: 10.2106/JBJS.E.01476. PMID: 17974887.
- Thirumala PD, Crammond DJ, Loke YK, Cheng HL, Huang J, Balzer JR. (2017, Mar). Diagnostic accuracy of motor evoked potentials to detect neurological deficit during idiopathic scoliosis correction: a systematic review. *J Neurosurg Spine*. 26(3): 374-383. Epub 2016 Dec 9. doi: 10.3171/2015.7.SPINE15466. PMID: 27935448.
- Ulkatan S, Neuwirth M, Bitan F, Minardi C, Kokoszka A, Deletis V. (2006, Sep). Monitoring of scoliosis surgery with epidurally recorded motor evoked potentials (D wave) revealed false results. *Clin Neurophysiol*. 117(9): 2093-2101. Epub 2006 Jul 17. doi: 10.1016/j.clinph.2006.05.021. PMID: 16844406.
- Zuccaro M, Zuccaro J, Samdani AF, Pahys JM, Hwang SW. (2017, Oct). Intraoperative neuromonitoring alerts in a pediatric deformity center. *Neurosurg Focus*. 43(4): E8. doi: 10.3171/2017.7.FOCUS17364. PMID: 28965444.

Відомості про авторів:

Курисько Кіра Сергіївна – лікар-ортопед-травматолог дитячий НДСЛ «ОХМАТДИТ»; аспірант каф. дитячої хірургії НМУ ім. О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, м. Київ, вул. В. Чорновола, 28/1, корпус 11, тел. (044) 236-70-52. <https://orcid.org/0009-0000-1245-5799>.

Левицький Анатолій Феодосійович – д.мед.н., проф., зав. каф. дитячої хірургії НМУ ім. О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, вул. В. Чорновола, 28/1, корпус 11, тел. (044) 236-70-52. <https://orcid.org/0000-0002-4440-2090>.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.