

## Оглядова стаття = Review article = Обзорная статья

Ukr Neurosurg J. 2020;26(3):22-27  
doi: 10.25305/unj.208330

### Моторні викликані потенціали в хірургії об'ємних утворень інфратенторіальної локалізації

Герасименко О.С.<sup>1</sup>, Смоланка В.І.<sup>1,2</sup>, Смоланка А.В.<sup>1,2</sup>, Сечко О.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Кафедра неврології, нейрохірургії та психіатрії, Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна

<sup>2</sup> Обласний клінічний центр нейрохірургії і неврології, Ужгород, Україна

Надійшла до редакції 20.07.2020

Прийнята до публікації 11.08.2020

#### Адреса для листування:

Герасименко Ольга Сергіївна,  
Кафедра неврології, нейрохірургії та психіатрії, Ужгородський національний університет, Площа Народна, 3, Ужгород, 88000, Україна, e-mail: herasymenko.olga@gmail.com

Видалення об'ємних утворень інфратенторіальної локалізації належить до найскладніших хірургічних втручань у нейрохірургії. Ці операції потребують якісного технічного обладнання та високої майстерності хірурга. Найбільша складність полягає у необхідності маніпуляцій в обмеженому просторі з високою щільністю життєво важливих структур та зміненими пухлиною анатомічними орієнтирами. З огляду на це ризик виникнення нового неврологічного дефіциту є високим, що може призвести до інвалідації пацієнтів. Застосування інтраопераційного нейрофізіологічного моніторингу дає змогу суттєво знизити ризик, спричинений хірургічним втручанням. Ця методика допомагає нейрохірургу ідентифікувати всі функціонально важливі структури у зоні хірургічного втручання та забезпечує контроль їх функцій інтраопераційно в режимі реального часу. Транскраніальні моторні викликані потенціали – це одна із модальностей інтраопераційного моніторингу, реєстрація моторних викликаних потенціалів з досліджуваних м'язів у відповідь на транскраніальну електричну стимуляцію. Метод дає змогу оцінити цілісність кортикоспінального та кортикобульбарного шляхів, основних моторних провідних шляхів центральної нервової системи, саме їх ураження може призвести до значного рухового дефіциту.

Представлено огляд літератури в історичному аспекті, який демонструє становлення і розвиток методики моторних викликаних потенціалів у нейрохірургічній практиці та особливості їх проведення під час видалення об'ємних утворень інфратенторіальної локалізації. Висвітлено основні методологічні аспекти транскраніальних моторних і кортикобульбарних викликаних потенціалів, критерії контролю та оцінки під час хірургії уражень інфратенторіальної локалізації. Проведено порівняння літературних даних з власним досвідом використання зазначеної методики.

**Ключові слова:** моторні викликані потенціали; транскраніальні викликані потенціали; кортикобульбарні викликані потенціали; об'ємні утворення інфратенторіальної локалізації

### Motor evoked potentials monitoring in resection of infratentorial lesions

Olga S. Herasyenko<sup>1</sup>, Volodymyr I. Smolanka<sup>1,2</sup>, Andriy V. Smolanka<sup>1,2</sup>, Oleksander S. Sechko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Department of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

<sup>2</sup> Regional Clinical Center of Neurosurgery and Neurology, Uzhhorod, Ukraine

Received: 20 July 2020

Accepted: 11 August 2020

#### Address for correspondence:

Olga S. Herasyenko, Department of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, Uzhhorod National University, 3 Narodna Square, Uzhhorod, 88000, Ukraine, e-mail: herasyenko.olga@gmail.com

Resection of infratentorial tumors is one of the most complicated surgical interventions in neurosurgery. These operations require high-quality technical equipment and high skill of the surgeon. The greatest challenge is the manipulation in the limited area with a high density of functional structures and anatomy changed by a tumor. As a result, the risk of new neurological deficits is high and can lead to a disability of the patient. The use of intraoperative neurophysiological monitoring allows a significant risk reduction of surgery. This technique allows the neurosurgeon to identify all functionally important structures in the area of surgical intervention and provides control of their functions intraoperatively in real time. Transcranial motor evoked potentials are the modality of intraoperative monitoring, a record of the motor evoked potentials in response to transcranial electrical stimulation. The method assesses the integrity of corticospinal and corticobulbar pathways, since these are the main motor pathways of the central nervous system, their damage may lead to a significant motor deficit.

This article presents a review and an analysis of the literature within the historical context, which shows the development of motor evoked potentials in neurosurgery, especially in infratentorial surgery. The methodology of the transcranial motor evoked potentials and corticobulbar evoked potentials and evaluation criteria during surgery for infratentorial lesions are described. Moreover, we compared the literature data with our own experience.

**Keywords:** motor evoked potentials; transcranial evoked potentials; corticobulbar evoked potentials; infratentorial tumors



## Моторные вызванные потенциалы в хирургии объемных образований инфратенториальной локализации

Герасименко О.С.<sup>1</sup>, Смоленка В.И.<sup>1,2</sup>, Смоленка А.В.<sup>1,2</sup>, Сечко А.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Кафедра неврологии, нейрохирургии и психиатрии, Ужгородский национальный университет, Ужгород, Украина  
<sup>2</sup> Областной клинический центр нейрохирургии и неврологии, Ужгород, Украина

Поступила в редакцию 20.07.2020  
 Принята к публикации 11.08.2020

### Адрес для переписки:

Герасименко Ольга Сергеевна,  
 Кафедра неврологии,  
 нейрохирургии и психиатрии,  
 Ужгородский национальный университет, Площадь Народная,  
 3, Ужгород, 88000, Украина, e-mail:  
 herasymenko.olga@gmail.com

Удаление объемных образований инфратенториальной локализации относится к наиболее сложным хирургическим вмешательствам в нейрохирургии. Эти операции требуют качественного технического оборудования и высокого мастерства хирурга. Наибольшая сложность заключается в необходимости манипуляций в ограниченном пространстве с высокой плотностью жизненно важных структур и измененными опухолью анатомическими ориентирами. С учетом этого риск возникновения нового неврологического дефицита высокий, что может привести к инвалидизации пациентов. Применение интраоперационного нейрофизиологического мониторинга позволяет существенно снизить риск, вызванный хирургическим вмешательством. Эта методика помогает нейрохирургу идентифицировать все функционально важные структуры в зоне хирургического вмешательства и обеспечивает контроль их функций интраоперационно в режиме реального времени. Транскраниальные моторные вызванные потенциалы – это одна из модальностей интраоперационного мониторинга, регистрация моторных вызванных потенциалов в ответ на транскраниальную электрическую стимуляцию. Метод позволяет оценить целостность кортикоспинального и кортикобульбарного путей, основных моторных проводящих путей центральной нервной системы, именно их поражение может привести к значительному двигательному дефициту.

Представлен обзор литературы в историческом аспекте, демонстрирующий становление и развитие методики моторных вызванных потенциалов в нейрохирургической практике и особенности их проведения при удалении объемных образований инфратенториальной локализации. Освещены основные методологические аспекты транскраниальных моторных и кортикобульбарных вызванных потенциалов, критерии контроля и оценки во время хирургии поражений инфратенториальной локализации. Проведено сравнение литературных данных с собственным опытом использования данной методики.

**Ключевые слова:** моторные вызванные потенциалы; транскраниальные вызванные потенциалы; кортикобульбарные вызванные потенциалы; объемные образования инфратенториальной локализации

Упродовж більшої частини ХХ ст. частину пухлин инфратенторіальної локалізації вважали неоперабельними [1], а післяопераційний дефіцит – неминучим і прийнятним фактом [2]. З розвитком технічних та інструментальних інновацій, таких як сучасні методи нейровізуалізації та операційний мікроскоп, почали з'являтися повідомлення про поодинокі функціонально задовільні хірургічні результати. Проте суттєвого поліпшення результатів лікування вдалося досягти лише після впровадження в клінічну практику інтраопераційного нейрофізіологічного моніторингу (ІОНМ) [3]. Компонентом, якого не вистачало для створення систем комплексного моніторингу, був контроль функції моторних провідних шляхів у режимі реального часу. Цей недолік було усунуто в 1990-х роках завдяки впровадженню моторних викликаних потенціалів (МВП), які нині є невід'ємною складовою хірургічних втручань у функціонально важливих ділянках центральної нервової системи. В статті проаналізовано становлення, розвиток та сучасні можливості інтраопераційних МВП при видаленні об'ємних утворень инфратенторіальної локалізації.

### Передумови розвитку моторних викликаних потенціалів

У 1980-х роках ІОНМ активно впроваджували у провідних нейрохірургічних та ортопедичних клініках Європи і Північної Америки. Доступними методиками ІОНМ на той час були: вільна електроміографія (ЕМГ,

англ. free-running EMG (fEMG)), стимуляційна електро-нейроміографія, акустичні стовбурові та соматосенсорні викликані потенціали [4–7]. Ці методики давали змогу ідентифікувати черепні нерви та їх ядра, а також проводити моніторинг еферентних провідних шляхів. Зазвичай їх застосовували окремо. Проте жодна з них не давала змоги повноцінно відобразити моторну функцію черепних нервів і кортикоспинального шляху в режимі реального часу.

За допомогою вільної ЕМГ можна зареєструвати патологічну активність черепного нерва внаслідок негативного зовнішнього впливу. Проте виявлення цієї активності не обов'язково вказує на ураження нерва та не визначає його ступінь, а її відсутність не гарантує повноцінного функціонування нерва надалі [8,9]. Стимуляційна електронейроміографія дає змогу ідентифікувати черепні нерви та оцінити їх функціональну цілісність шляхом порівняння амплітуд відповідей з проксимального та дистального кінців нерва, але не може бути застосована в більшості випадків [10] оскільки лише у разі пухлин дуже малого розміру хірург має можливість візуалізувати обидва кінці нерва до початку резекції. Таким чином, ця методика не запобігає ураженню нерва, а лише підтверджує його після видалення пухлини. Ідентифікація ядер черепних нервів на дні четвертого шлуночка не гарантує збереження моторної функції після проведення оперативного втручання в паренхімі стовбура головного мозку [11]. У 1991 р. R. Fahlbusch і

C. Strauss продемонстрували, що акустичні стовбурові та соматосенсорні викликані потенціали відображують функціонування не більше ніж 20% об'єму стовбура головного мозку [12], що не може забезпечити надійний інтраопераційний контроль. Аналіз застосування соматосенсорних викликаних потенціалів у спінальній нейрохірургії виявив часті випадки післяопераційного моторного неврологічного дефіциту у пацієнтів зі збереженими потенціалами [13,14].

Усі наведені чинники зумовили необхідність розвитку методики МВП для моніторингу функції аферентних шляхів під час нейрохірургічних операцій у режимі реального часу.

### Транскраніальні моторні викликані потенціали

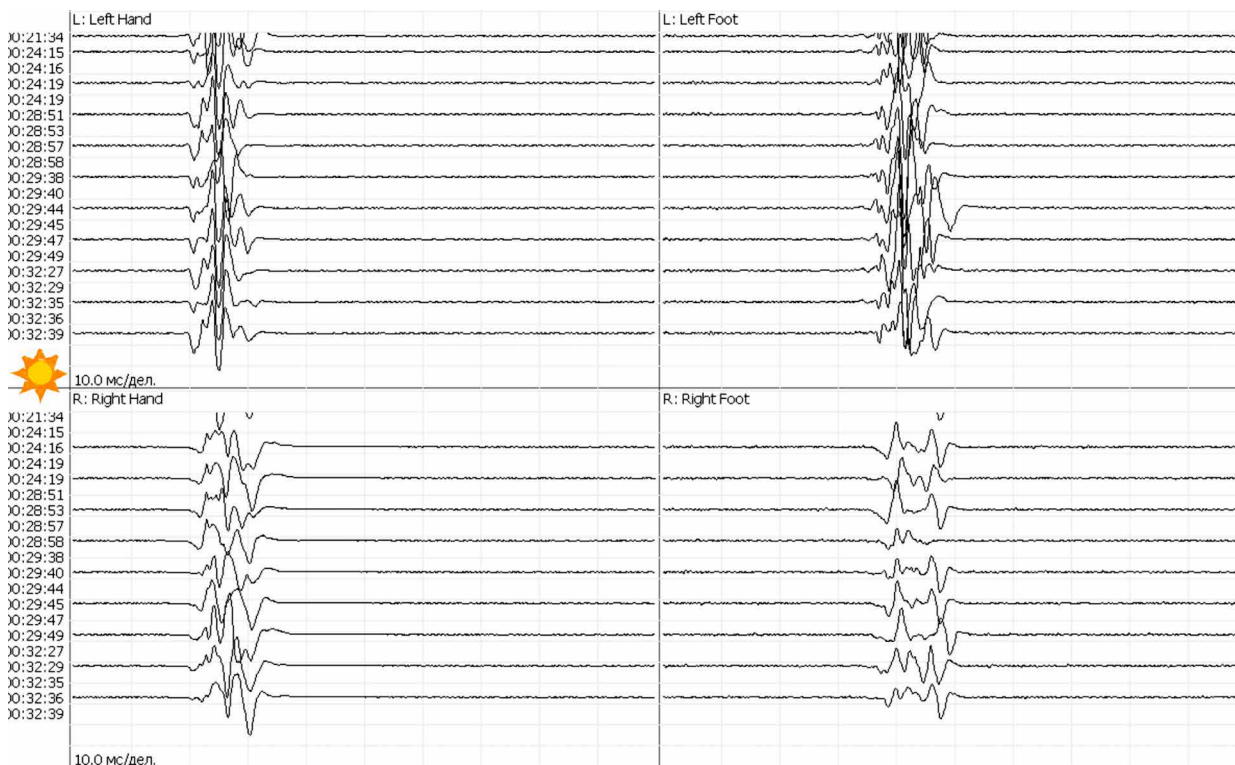
У 70-х роках ХХ ст. Р.А. Merton і Н.В. Morton вперше отримали моторну відповідь з м'язів контралатеральних кінцівок після електричної стимуляції у пацієнта в свідомості [15], але впровадження цієї методики в умовах операційної було неможливим через значний вплив анестезіологічних препаратів [16]. S.G. Boyd запропонував використовувати епідуральні електроди із записом D-хвилі для контролю кортикоспінального тракту в спінальній хірургії, що давало змогу уникнути впливу міорелаксантів. Метод епідуральних МВП полягав у стимуляції рухової кори одним імпульсом та реєстрації відповідей з дорзальних стовпів спинного мозку [17]. Недоліком методу є відсутність інформації про полісинаптичну частину рухової дуги кортикоспінального шляху, хоча його досі активно використовують у спінальній нейрохірургії [18].

Впровадження транскраніальних МВП стало можливим після вдосконалення анестезіологічних

методик, а саме застосування тотальної внутрішньовенної анестезії за допомогою пропофолу та фентанілу [19]. На початку 1990-х років М. Taniguchi продемонстрував пілотне дослідження використання МВП для інтраопераційного контролю функції кортикоспінального тракту. Він застосував стимуляцію з 5–7 імпульсів з частотою 2 Гц, що дало змогу зареєструвати відповіді з дистальних м'язів кінцівок та отримати м'язові МВП [20]. S.J. Jones та співавт. описали метод стимуляції «короткими пачками» (short train) від 3 до 6 стимулів з інтервалом 2 мс [21], що допомогло зменшити чутливість транскраніальних МВП до анестетиків.

V. Deletis узагальнив основні методологічні аспекти транскраніальних МВП в умовах нейрохірургічної операційної, що сприяло подальшому впровадженню МВП [22–24]. Класичний монтаж стимуляторних електродів для транскраніальної МВП являє собою Cz референт, C3/C4 для верхніх кінцівок і C1/C2 для нижніх кінцівок. Найбезпечнішим типом транскраніальних стимуляторних електродів є «corkscrew» – схожі на відкорковувач електроди [24]. Для реєстрації відповідей використовують голкові або на шкірні біполярні електроди. М'язами вибору для реєстрації М-відповідей є відповідний м'яз великого пальця кисті та загальний розгинач пальців кисті для верхніх кінцівок, а також передній великогомілковий м'яз і відповідний м'яз великого пальця стопи для нижніх кінцівок. Це зумовлено тим, що саме ці м'язи мають домінуючу кортикоспінальну іннервацію [20,25] (**Рис.1**).

Реєстраційні та стимуляторні електроди розміщують поза зоною активних хірургічних маніпуляцій, тому моніторинг транскраніальних МВП відбувається без залучення хірурга і може проводитися під час основних маніпуляцій [26]. А. Bricolo та F. Sala запро-



**Рис. 1.** Моторні викликані потенціали, зареєстровані з дистальних м'язів верхніх та нижніх кінцівок у відповідь на транскраніальну електричну стимуляцію

понували поєднувати м'язові та епідуральні МВП для надійного контролю кортикоспінального тракту в хірургії інфратенторіальних уражень [27,28]. F. Sala об'єднав методики IOHM у дві групи – методи моніторингу та ідентифікації, а транскраніальні МВП розглядав як важливий метод моніторингу [26].

Транскраніальні МВП для довгих трактів в інфратенторіальній хірургії мають високу чутливість, а зниження їх амплітуди є прогностично несприятливою щодо післяопераційного неврологічного дефіциту ознакою. Обов'язковим є застосування МВП під час втручань з мікродисекцією всередині та біля стовбура мозку, що може призвести до пошкодження його паренхіми або перфоруючих судин [29]. Найчастіше значущі зміни показників МВП реєструють під час видалення об'ємних утворень стовбура головного мозку, мосто-мозочкового кута та петроклівальної локалізації [30]. При видаленні інфратенторіальних об'ємних утворень критичним вважають зниження амплітуди М-відповіді від вихідного рівня на 50%, що значно відрізняється від критеріїв, які використовують у спінальній хірургії [22,23]. Зниження амплітуди на 50% є предиктором можливого моторного дефіциту та вказує на необхідність негайної зміни хірургічної тактики [31]. Зміна тактики хірурга залежно від даних МВП асоціюється з кращим руховим результатом та допомагає запобігти формуванню стійкого неврологічного дефіциту у прооперованих пацієнтів [32].

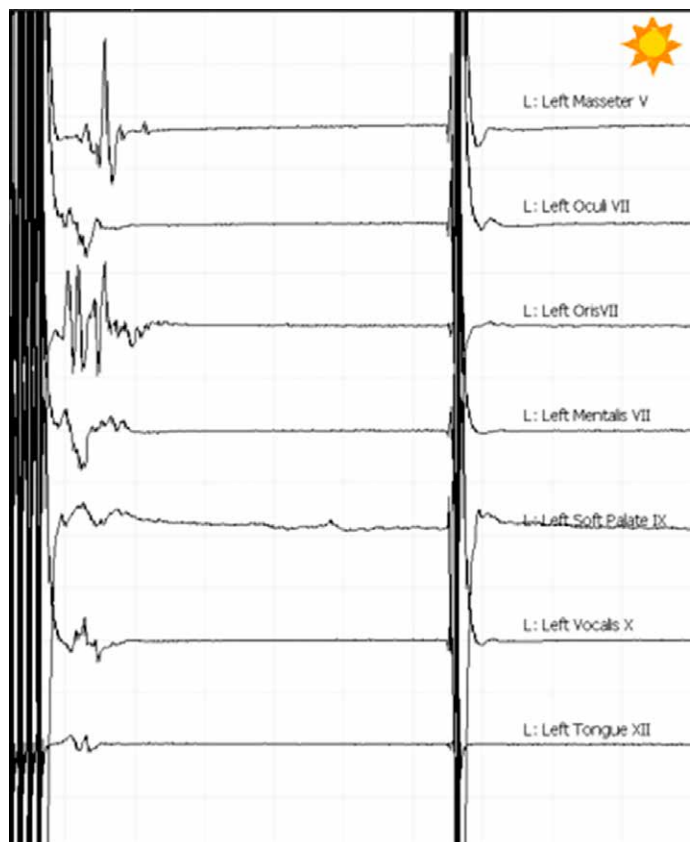
Грунтуючись на власному досвіді, ми дотримуємося думки, що критичним слід вважати падіння транскраніальних МВП більше ніж на 50%. Така динаміка змін МВП спонукала хірургів до припинення будь-яких маніпуляцій, зрошення операційної рани теплим ізотонічним розчином та корекції напрямку дій оперуючого хірурга після відновлення амплітуди. Відсутність відновлення МВП асоціювалася з наростанням рухового дефіциту в ранній післяопераційний період порівняно з доопераційним. У більшості випадків новий неврологічний дефіцит був мимущим.

### Кортикобульбарні моторні викликані потенціали

Подальший розвиток методика транскраніальних МВП отримала в 2005 р., коли С.С. Dong та R. Akagami запропонували використовувати МВП для контролю функціонального стану кортикобульбарних шляхів. Вони описали класичний монтаж стимуляторних електродів: 1 см перед С3 або С4, з анодом на контралатеральному боці до зони оперативного втручання та катодом Сз. Напруга стимулу постійна, складається з 3 або 4 прямокутних імпульсів з інтервалом 1-2 мс. Для того щоб виключити тригерний вплив струму на дистальний відділ лицевого нерва, С.С. Dong та R. Akagami запропонували проводити додаткову контрольну стимуляцію одним імпульсом з тією самою інтенсивністю, що і для моніторингу [33,34]. Відповідь, отримана в результаті транскраніальної стимуляції одним стимулом у пацієнтів під загальним знеболюванням, є периферичною, а не центральною [35], тому методику кортикобульбарних МВП було модифіковано з додаванням у серію одного стимулу через 90 с після пачки стимулів. Це має особливе значення

при видаленні об'ємних утворень стовбура головного мозку, оскільки демонструє справжню над'ядерну М-відповідь [36] (**Рис.2**). Реєстрацію проводять із селективних м'язів для кожного черепного нерва, тобто з тих м'язів, які використовують для стандартної інтраопераційної ЕМГ. Зазвичай використовують голкові електроди, також можливе застосування тefлонових «hook-wire» (гачкоподібних електродів) [36]. Важливу роль при реєстрації кортикобульбарних МВП відіграє корекція інтенсивності стимуляції, оскільки висока інтенсивність стимулу може активувати кортикобульбарні шляхи в глибинних відділах півкуль мозку або на рівні стовбура мозку, а отримані відповіді призведуть до хибнопозитивного результату [37].

Незважаючи на великий обсяг наукових даних щодо кортикобульбарних МВП для моніторингу функції лицевого нерва, відсутні чіткі критерії критичного падіння амплітуди для запобігання його дисфункції. Вперше про прогностичну цінність кортикобульбарних МВП для функції лицевого нерва повідомили M. Fukuda зі співавт., які дослідили, що зниження амплітуди більше ніж на 50% корелює з післяопераційною дисфункцією нерва [38]. M.A. Acioli зі співавт. провели селективний аналіз дисфункції лицевого нерва у пацієнтів, прооперованих з приводу патології мосто-мозочкового кута, та виявили, що припустимий рівень зниження амплітуди М-відповіді не однаковий для різних груп м'язів. Так, для кругового м'яза ока цей показник становить 80%, для кругового м'яза рота – 35% [39]. С. Matthies зі співавт. стверджують, що зниження амплітуди кортикобульбарних МВП більше ніж на 30%



**Рис. 2.** Кортикобульбарні моторні викликані потенціали, зареєстровані з м'язів, іннервованих V, VII та IX, X, XII черепними нервами

є приводом для зміни хірургічних маневрів [40], тоді як інші автори вважають, що цей показник становить 75% [41]. На нашу думку, критичний рівень падіння потенціалів залежить від наявності доопераційної дисфункції лицевого нерва та розмірів пухлини: у пацієнтів з максимальним діаметром пухлини понад 25 мм та наявністю доопераційної дисфункції він має становити 35%, а у хворих з нормальною функцією нерва до операції – 50%.

Більшість наукових публікацій, присвячених кортикобульбарним МВП, стосуються моніторингу функції лицевого нерва, але за останні 10 років цю методику було застосовано для над'ядерного контролю функції всіх черепних нервів з руховими волокнами [42]. Декілька груп дослідників зазначають, що за допомогою кортикобульбарних МВП можна запобігти дисфагії та дисфонії, які часто трапляються після видалення пухлин стовбура головного мозку [43–45]. Це підтверджують наші спостереження: в усіх хворих з бульбарними розладами під час видалення пухлин стовбура відзначали інтраопераційне падіння амплітуди кортикобульбарних МВП язикоглоткового та блукаючого нервів. З огляду на те, що до складу цієї групи входило лише декілька хворих, а різниця між показниками була значною (падіння від 10 до 80%), визначити статистично значущий критичний рівень було неможливо. Стійкий бульбарний синдром зафіксовано лише в одному випадку. Оцінка ефективності кортикобульбарних МВП для функціонального контролю трактів під'язикового та окорухових нервів потребує подальшого вивчення через маленькі вибірки [46,47].

Таким чином, транскраніальні МВП дають змогу інтраопераційно контролювати функціональну цілісність моторної кори, кортикоспінального та кортикобульбарного трактів,  $\alpha$ -мотонейрона, периферичних нервів та нервово-м'язового з'єднання [42,48].

### Висновки

Методики ІОНМ мають переваги та недоліки. З огляду на наведені дані, МВП доцільно використовувати як одну з основних модальностей ІОНМ під час хірургічного лікування інфратенторіальних об'ємних утворень. Вірогідність досягнення задовільного функціонального результату після таких втручань зростає при застосуванні комплексного ІОНМ та корекції хірургічної тактики відповідно до даних транскраніальних МВП під час оперативного втручання.

### Розкриття інформації

#### Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

#### Етичні норми

Ця стаття являє собою огляд літератури, тому схвалення етичного комітету не було потрібно.

#### Фінансування

Дослідження не мало спонсорської підтримки.

### References

- Zülch K.J. Intracranial Tumours of Infancy and Childhood. In: Voth D., Gutjahr P., Langmaid C. (eds) Tumours of the Central Nervous System in Infancy and Childhood. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1982. P. 1–16 doi: 10.1007/978-

- 3-642-95413-9\_1
- Samii M. Operative Treatment of Cerebellopontine Angle Tumors with Special Consideration of the Facial and the Acoustic Nerve. In: Marguth F., Brock M., Kazner E., Klingner M., Schmiedek P. (eds) Neurovascular Surgery. Advances in Neurosurgery. Springer, Berlin, Heidelberg; 1979. P. 138–45. doi: 10.1007/978-3-642-67455-6\_20
- Albright AL, Scwabassi RJ. Use of the Cavitron ultrasonic surgical aspirator and evoked potentials for the treatment of thalamic and brain stem tumors in children. Neurosurgery. 1985 Oct;17(4):564-8. doi: 10.1227/00006123-198510000-00005. PMID: 4058690.
- Legatt AD, Arezzo JC, Vaughan HG Jr. The anatomic and physiologic bases of brain stem auditory evoked potentials. Neurol Clin. 1988 Nov;6(4):681-704. PMID: 3070334.
- American Electroencephalographic Society (1994) Guideline Eleven: Guidelines for Intraoperative Monitoring of Sensory Evoked Potentials. J Clin Neurophysiol. 1994 Jan;11(1):77-87. PMID: 8195429
- Møller A.R. Monitoring Auditory Evoked Potentials. In: Intraoperative Neurophysiological Monitoring. Springer, New York, NY; 2011. P. 123-161 doi: 10.1007/978-1-4419-7436-5\_7
- Strauss C, Romstöck J, Nimsky C, Fahlbusch R. Intraoperative identification of motor areas of the rhomboid fossa using direct stimulation. J Neurosurg. 1993 Sep;79(3):393-9. doi: 10.3171/jns.1993.79.3.0393. PMID: 8360737.
- Hone SW, Commins DJ, Rames P, Chen JM, Rowed D, McLean A, Nedzelski JM. Prognostic factors in intraoperative facial nerve monitoring for acoustic neuroma. J Otolaryngol. 1997 Dec;26(6):374-8. PMID: 9438935.
- Harper CM, Daube JR. Facial nerve electromyography and other cranial nerve monitoring. J Clin Neurophysiol. 1998 May;15(3):206-16. doi: 10.1097/00004691-199805000-00004. PMID: 9681558.
- Nakao Y, Piccirillo E, Falcioni M, Taibah A, Kobayashi T, Sanna M. Electromyographic evaluation of facial nerve damage in acoustic neuroma surgery. Otol Neurotol. 2001 Jul;22(4):554-7. doi: 10.1097/00129492-200107000-00024. PMID: 11449116.
- Morota N, Ihara S, Deletis V. Intraoperative neurophysiology for surgery in and around the brainstem: role of brainstem mapping and corticobulbar tract motor-evoked potential monitoring. Childs Nerv Syst. 2010 Apr;26(4):513-21. doi: 10.1007/s00381-009-1080-7. PMID: 20143075.
- Fahlbusch R, Strauss C. Zur chirurgischen Bedeutung von cavernösen Hämangiomen des Hirnstammes [Surgical significance of cavernous hemangioma of the brain stem]. Zentralbl Neurochir. 1991;52(1):25-32. German. PMID: 1862673.
- Lesser RP, Raudzens P, Lüders H, Nuwer MR, Goldie WD, Morris III HH, Dinner DS, Klem G, Hahn JF, Shetter AG, Ginsburg HH. Postoperative neurological deficits may occur despite unchanged intraoperative somatosensory evoked potentials. Ann Neurol. 1986 Jan;19(1):22-5. doi: 10.1002/ana.410190105. PMID: 3947036.
- Minahan RE, Sepkuty JP, Lesser RP, Sponseller PD, Kostuik JP. Anterior spinal cord injury with preserved neurogenic 'motor' evoked potentials. Clin Neurophysiol. 2001 Aug;112(8):1442-50. doi: 10.1016/s1388-2457(01)00567-3. PMID: 11459684.
- Merton PA, Morton HB. Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. Nature. 1980 May 22;285(5762):227. doi: 10.1038/285227a0. PMID: 7374773.
- Angel A, Gratton DA. The effect of anaesthetic agents on cerebral cortical responses in the rat. Br J Pharmacol. 1982 Aug;76(4):541-9. doi: 10.1111/j.1476-5381.1982.tb09252.x. PMID: 7104523; PMCID: PMC2071827.
- Boyd SG, Rothwell JC, Cowan JM, Webb PJ, Morley T, Asselman P, Marsden CD. A method of monitoring function in corticospinal pathways during scoliosis surgery with a note on motor conduction velocities. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 1986 Mar;49(3):251-7. doi: 10.1136/jnnp.49.3.251. PMID: 3958738; PMCID: PMC1028723.
- Macdonald DB, Skinner S, Shils J, Yingling C; American Society of Neurophysiological Monitoring. Intraoperative motor evoked potential monitoring – a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. Clin Neurophysiol. 2013 Dec;124(12):2291-316. doi: 10.1016/j.clinph.2013.07.025. PMID: 24055297.

19. Kalkman CJ, Drummond JC, Ribberink AA, Patel PM, Sano T, Bickford RG. Effects of propofol, etomidate, midazolam, and fentanyl on motor evoked responses to transcranial electrical or magnetic stimulation in humans. *Anesthesiology*. 1992 Apr;76(4):502-9. doi: 10.1097/00000542-199204000-00003. PMID: 1550274.
20. Taniguchi M, Cedzich C, Schramm J. Modification of cortical stimulation for motor evoked potentials under general anesthesia: technical description. *Neurosurgery*. 1993 Feb;32(2):219-26. doi: 10.1227/00006123-199302000-00011. PMID: 8437660.
21. Jones SJ, Harrison R, Koh KF, Mendoza N, Crockard HA. Motor evoked potential monitoring during spinal surgery: responses of distal limb muscles to transcranial cortical stimulation with pulse trains. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1996 Sep;100(5):375-83. doi: 10.1016/0168-5597(96)95728-7. PMID: 8893655.
22. Deletis V, Sala F. Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: a review focus on the corticospinal tracts. *Clin Neurophysiol*. 2008 Feb;119(2):248-64. doi: 10.1016/j.clinph.2007.09.135. PMID: 18053764.
23. Kothbauer KF, Deletis V, Epstein FJ. Motor-evoked potential monitoring for intramedullary spinal cord tumor surgery: correlation of clinical and neurophysiological data in a series of 100 consecutive procedures. *Neurosurg Focus*. 1998 May 15;4(5):e1. doi: 10.3171/foc.1998.4.5.4. PMID: 17154450.
24. Deletis V. Intraoperative neurophysiology and methodologies used to monitor the functional integrity of the motor system. In: Deletis V, Shils J (eds). *Neurophysiology in neurosurgery: a modern intraoperative approach*. Academic Press, San Diego; 2002. P. 25-51.
25. Jankowska E, Padel Y, Tanaka R. Projections of pyramidal tract cells to alpha-motoneurons innervating hind-limb muscles in the monkey. *J Physiol*. 1975 Aug;249(3):637-67. doi: 10.1113/jphysiol.1975.sp011035. PMID: 1177109; PMCID: PMC1309597.
26. Sala F, Krzan MJ, Deletis V. 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. PMID: 12172930.
27. Bricolo A, Sala F. Intraoperative neurophysiology of cranial nerve and brainstem. In: Deletis V, Shils J (eds). *Neurophysiology in neurosurgery: a modern intraoperative approach*. Academic Press, San Diego; 2002. P. 267-339.
28. Sala F, Lanteri P, Bricolo A. Motor evoked potential monitoring for spinal cord and brain stem surgery. *Adv Tech Stand Neurosurg*. 2004;29:133-69. doi: 10.1007/978-3-7091-0558-0\_4. PMID: 15035338.
29. Kodama K, Javadi M, Seifert V, Szelényi A. Conjunct SEP and MEP monitoring in resection of infratentorial lesions: lessons learned in a cohort of 210 patients. *J Neurosurg*. 2014 Dec;121(6):1453-61. doi: 10.3171/2014.7.JNS131821. PMID: 25216065.
30. Slotty PJ, Abdulazim A, Kodama K, Javadi M, Hänggi D, Seifert V, Szelényi A. Intraoperative neurophysiological monitoring during resection of infratentorial lesions: the surgeon's view. *J Neurosurg*. 2017 Jan;126(1):281-288. doi: 10.3171/2015.11.JNS15991. PMID: 26918482.
31. Neuloh G, Schramm J. Mapping and monitoring of supratentorial procedures. In: Deletis V, Shils J (eds). *Neurophysiology in Neurosurgery: A modern Intraoperative Approach*. Academy Press, 2002. P. 339-401.
32. Sarnthein J, Bozinov O, Melone AG, Bertalanffy H. Motor-evoked potentials (MEP) during brainstem surgery to preserve corticospinal function. *Acta Neurochir (Wien)*. 2011 Sep;153(9):1753-9. doi: 10.1007/s00701-011-1065-7. PMID: 21660421.
33. Dong CC, Macdonald DB, Akagami R, Westerberg B, Alkhani A, Kanaan I, Hassounah M. Intraoperative facial motor evoked potential monitoring with transcranial electrical stimulation during skull base surgery. *Clin Neurophysiol*. 2005 Mar;116(3):588-96. doi: 10.1016/j.clinph.2004.09.013. PMID: 15721072.
34. Akagami R, Dong CC, Westerberg BD. Localized transcranial electrical motor evoked potentials for monitoring cranial nerves in cranial base surgery. *Neurosurgery*. 2005 Jul;57(1 Suppl):78-85; discussion 78-85. doi: 10.1227/01.neu.0000163486.93702.95. PMID: 15987572.
35. Ulkatan S, Deletis V, Fernandez-Conejero I. Central or peripheral activations of the facial nerve? *J Neurosurg*. 2007 Mar;106(3):519-20; author reply 520. doi: 10.3171/jns.2007.106.3.519. PMID: 17367086.
36. Deletis V, Fernández-Conejero I. Intraoperative Monitoring and Mapping of the Functional Integrity of the Brainstem. *J Clin Neurol*. 2016 Jul;12(3):262-73. doi: 10.3988/jcn.2016.12.3.262. PMID: 27449909; PMCID: PMC4960209.
37. Rothwell J, Burke D, Hicks R, Stephen J, Woodforth I, Crawford M. Transcranial electrical stimulation of the motor cortex in man: further evidence for the site of activation. *J Physiol*. 1994 Nov 15;481 (Pt 1)(Pt 1):243-50. doi: 10.1113/jphysiol.1994.sp020435. PMID: 7853247; PMCID: PMC1155882.
38. Fukuda M, Oishi M, Takao T, Saito A, Fujii Y. Facial nerve motor-evoked potential monitoring during skull base surgery predicts facial nerve outcome. *J Neurosurg Psychiatry*. 2008 Sep;79(9):1066-70. doi: 10.1136/jnnp.2007.130500. PMID: 18245141.
39. Acioly MA, Liebsch M, Carvalho CH, Gharabaghi A, Tatagiba M. Transcranial electrocortical stimulation to monitor the facial nerve motor function during cerebellopontine angle surgery. *Neurosurgery*. 2010 Jun;66(6 Suppl Operative):354-61; discussion 362. doi: 10.1227/01.neu.0000369654.41677.b7. PMID: 20514692.
40. Matthies C, Raslan F, Schweitzer T, Hagen R, Roosen K, Reiners K. Facial motor evoked potentials in cerebellopontine angle surgery: technique, pitfalls and predictive value. *Clin Neurol Neurosurg*. 2011 Dec;113(10):872-9. doi: 10.1016/j.clineuro.2011.06.011. PMID: 21798660.
41. Liu BY, Tian YJ, Liu W, Liu SL, Qiao H, Zhang JT, Jia GJ. Intraoperative facial motor evoked potentials monitoring with transcranial electrical stimulation for preservation of facial nerve function in patients with large acoustic neuroma. *Chin Med J (Engl)*. 2007 Feb 20;120(4):323-5. doi: 10.1097/00029330-200702020-00013. PMID: 17374285.
42. 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? *Neurophysiol Clin*. 2007 Dec;37(6):399-406. doi: 10.1016/j.neucli.2007.09.013. PMID: 18083495.
43. Deletis V, Fernández-Conejero I, Ulkatan S, Rogić M, Carbó EL, Hiltzik D. Methodology for intra-operative recording of the corticobulbar motor evoked potentials from cricothyroid muscles. *Clin Neurophysiol*. 2011 Sep;122(9):1883-9. doi: 10.1016/j.clinph.2011.02.018. PMID: 21440494.
44. Deletis V, Fernandez-Conejero I, Ulkatan S, Costantino P. Methodology for intraoperatively eliciting motor evoked potentials in the vocal muscles by electrical stimulation of the corticobulbar tract. *Clin Neurophysiol*. 2009 Feb;120(2):336-41. doi: 10.1016/j.clinph.2008.11.013. PMID: 19136297.
45. Ito E, Ichikawa M, Itakura T, Ando H, Matsumoto Y, Oda K, Sato T, Watanabe T, Sakuma J, Saito K. Motor evoked potential monitoring of the vagus nerve with transcranial electrical stimulation during skull base surgeries. *J Neurosurg*. 2013 Jan;118(1):195-201. doi:10.3171/2012.10.JNS12383. PMID: 23121435
46. Hariharan P, Balzer JR, Anetakis K, Crammond DJ, Thirumala PD. Electrophysiology of Extraocular Cranial Nerves: Oculomotor, Trochlear, and Abducens Nerve. *Journal of Clinical Neurophysiology : Official Publication of the American Electroencephalographic Society*. 2018 Jan;35(1):11-15. doi: 10.1097/wnp.0000000000000417. PMID: 29298208
47. Kim SY, Im HW, Choi YD, Kim K, Kim JW, Kim YH, Seo HG. Intraoperative Monitoring of Hypoglossal Nerve Using Hypoglossal Motor Evoked Potential in Infratentorial Tumor Surgery: A Report of Two Cases. *Ann Rehabil Med*. 2018 Apr;42(2):352-357. doi: 10.5535/arm.2018.42.2.352. PMID: 29765890; PMCID: PMC5940613.
48. Sala F, Gallo P, Tramontano V, Gerosa M. Intraoperative Neurophysiological Monitoring in Posterior Fossa Surgery. In: Özek M, Cinalli G, Maixner W, Sainte-Rose C. (eds) *Posterior Fossa Tumors in Children*. Springer, Cham; 2015. P. 239-262. doi:10.1007/978-3-319-11274-9\_13.