



УДК 004.2

**REVIEW OF METHODS OF MEASUREMENT AND MAIN METROLOGICAL INDICATORS OF STIMULATION ELECTROMIGRATION**  
**ОГЛЯД МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ І ОСНОВНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СТИМУЛЯЦІЙНОЇ ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЇ**

Tykhonenko Yu.V / Тихоненко Ю.В.

4th year student / Студентка 4 курсу

***Анотація.** У роботі розглядається методика проведення стимуляційної електроміографії (ЕМГ), якісний і кількісний аналіз М-відповіді, швидкості розповсюдження збудження моторними і сенсорними волокнами, основні показники в нормі і їх зміна при патологіях, зокрема міастенії, та залежно від вікових особливостей. У результаті розгляду описаної теми визначено актуальні напрямки подальших досліджень, пов'язаних з ЕМГ.*

***Ключові слова.** Потенціал дії, ЕМГ, електрод, м'яз, М-відповідь.*

**Вступ.**

Швидкість розповсюдження нервового імпульсу не мієліновим волокном становить 0,5-5 м/с, для мієлінового волокна вона сягає 15-120 м/с, що пов'язано з особливістю будови останнього. Полягає вона в перериванні діелектричної фосфоліпідної мембрани немієліновими перехватами Ранв'є, де збудливість є вищою. Внаслідок деполаризації мембрани в перехваті Ранв'є виникає потенціал дії (ПД), що являє собою змінний струм. Він рухається по аксону «стрибками» між перехватами, забезпечуючи вищу швидкість.

При вході в м'яз аксон ділиться на терміналі, кількість яких відповідає кількості м'язових волокон, які він іннервує. Терміналь аксона забезпечує перехід потенціалу дії на м'язове волокно, що призводить до формування ПД м'язового волокна, швидкість розповсюдження якого становить 3-5 м/с. Нервово-м'язова синаптична затримка коливається від 0,5 до 1 мс [1].

ПД м'язового волокна є основою електроміографії (ЕМГ).

**Основні поняття.** Виділяють наступні методики дослідження нервово-м'язової системи шляхом реєстрації електричних потенціалів м'язів: інтерференційна (або сумарна) ЕМГ, стимуляційна міографія, декремент-тест, голкова міографія, магнітна стимуляція.

Розглянемо стимуляційну ЕМГ, так як вона є найбільш розповсюдженою і дозволяє оцінювати стан нерву на різних ділянках, виявляти характер та ступінь його ураження, визначати стан терміналей аксону, оцінювати загальний стан м'язу. При стимуляційній ЕМГ проводять дослідження [2]:

- 1) М-відповіді та швидкості розповсюдження збудження моторними волокнами (ШРЗм);
- 2) потенціалу дії (ПД) нерву та швидкості розповсюдження збудження сенсорними волокнами (ШРЗс);
- 3) пізніх нейрографічних феноменів: F-хвиля (зворотна відповідь), H-рефлекс (рефлекторна відповідь), A-хвиля (аксон-рефлекс);
- 4) миготливого рефлексу.

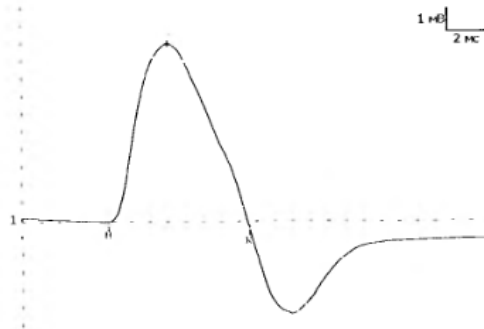
У рамках даної статті розглянемо методику проведення і метрологічні характеристики по перших двох пунктах.



**Методика та метрологія.** Дослідження за даною методикою проводять за допомогою нашкірних електродів, які попередньо знежирюють для забезпечення надійного контакту шкіра-електрод. Активний електрод накладають на моторну точку м'яза, референтний – дистальніше (на сухожилля цього м'яза або кістковий виступ). Електрод заземлення розташовують між електродом відведення і стимулюючим електродом, який накладають в проекції нерва, що іннервує даний м'яз. Імпеданс шкіри під електродами повинен бути в межах 5-10 кОм. Стимуляція проводиться прямокутними імпульсами тривалістю 0,2 мс і частотою 1 Гц. Силу струму поступово збільшують до стабілізації величини М-відповіді. Стимул, що на 25-30% перевищує отриманий в такий спосіб, називають супрамаксимальним. Саме його використовують для оцінки показників амплітуди й швидкості.

Розглянемо механізм дослідження моторної відповіді м'яза.

М-відповідь – сумарний потенціал м'язових волокон, що реєструється з м'язу при стимуляції одиничним стимулом. У нормі (рис. 1) являє собою двохфазну криву, що складається з напрямленої вгору від'ємної фази й напрямленої вниз додатної фази, і є стабільним показником [3].



**Рис. 1 «М-відповідь у нормі»**

Модифікації М-відповіді, зокрема зниження амплітуди, розтягнутість, поліфазність та інверсія, потребують перевірки правильності встановлення електродів. Крім того, інвертована М-відповідь може свідчити про хибність вибору точки стимуляції. Тобто ПД може реєструватися із сусіднього м'яза, який іннервується іншим нервом.

Аналізуючи М-відповідь, розглядають такі показники: межа збудження, латентність, амплітуда, тривалість і площа негативної фази, форма М-відповіді, ШРЗм. Межа збудження – мінімальний стимул, що проковує М-відповідь. Дослід проводять при підсиленні 100мкВ і кроці до 0,1 мА. Значення у нормі становить 4-6 мА, а верхня межа норми – 10 мА. Амплітуда вимірюється по негативній фазі, яка відповідає скороченню м'язу й пов'язана з процесами деполяризації. Критичним значенням амплітуди є показник мінімально допустимого значення при стимуляції в дистальній точці (табл.1). Всі значення нижче за нього свідчать про однозначну наявність патології [3].

Зниження амплітуди М-відповіді може свідчити про ураження аксону, а разом зі зміною форми є ознакою демієлінізуючих уражень.



Таблиця 1

## Мінімально допустима амплітуда М-відповіді м'язів

Нерв-стимулятор	М'яз, з якого реєструється сигнал	Мінімально допустима амплітуда
Серединний нерв	m. abductor pollicis brevis	3,5 мВ
Ліктьовий нерв	m. abductor digiti minimi	6 мВ
Малогомілковий нерв	m. extensor digitorum brevis	3 мВ
Великогомілковий нерв	m. abductor hllucis	3 мВ
Підкрильцевий нерв	m. deltodeus	3,5 мВ
Лицевий нерв	m. facieli	1 мВ

Також простежується пряма залежність між структурними змінами в тимусі та зниженням амплітуди негативної фази М-відповіді, що свідчить про негативний вплив морфологічних порушень тимуса на нервово-м'язову передачу імпульсів. Значне зниження амплітуди негативної фази М-відповіді на фоні високих показників декремент-тесту можна вважати маркером тяжкого перебігу міастенії [4].

Декремент-тест є електрофізіологічним методом оцінки стану нервово-м'язової передачі, оснований на тому, що у відповідь на ритмічну стимуляцію нерва виявляють феномен зниження амплітуди М-відповіді [5].

Міастенія - аутоімунний нервово-м'язовий розлад, що клінічно характеризується патологічною слабкістю і стомлюваністю скелетних м'язів, пов'язаний з ушкодженням ацетилхолінових рецепторів постсинаптичної мембрани поперечно-смугастих м'язів специфічними комплементфіксуючими антитілами [6].

Варто зауважити, що зниження амплітуди М-відповіді у процесі дорослішання є нормальним явищем, так само як і збільшення її тривалості. Вікові зміни М-відповіді супроводжуються змінами й пізніх відповідей, зокрема Н-рефлексу, але на даний момент є мало дослідженими в комплексі [7].

Зміна форми М-відповіді в межах норми пов'язана зі збільшенням асинхронності потенціалів рухомих одиниць. При патологіях така зміна більш виражена. Наприклад, при демієлінізації М-відповідь стає розтягнутою і зазубреною, а при аксональному ураженні, крім зміни форми, спостерігається і різке зниження амплітуди разом зі зменшенням тривалості.

Латентність М-відповіді включає в себе два поняття: термінальна латентність (ТЛ) і резидуальна латентність (РЛ). У першому випадку мова йде про часову затримку між моментом стимуляції і виникненням М-відповіді. РЛ відображає час, за який імпульс проходить терміналами аксона. Тобто цей показник виключає з ТЛ час, поки імпульс рухається мієліновим волокном від місця стимуляції до місця контакту аксона з м'язом, де цей аксон розпадається на терміналі. Позначивши термінальну відстань (від активного електрода відведення до катоду стимулюючого електрода) через  $S$ , а швидкість проведення імпульсу в дистальному сегменті нерва через  $V$ , можемо записати формулу резидуальної латентності як  $РЛ = ТЛ - S/V$ . Серед патологій, які



супроводжуються підвищенням РЛ, поліневропатії та токсичні ураження.

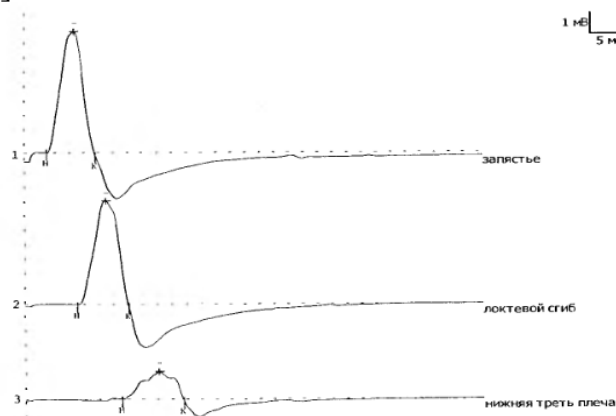
Показником нормування є максимальне допустиме значення РЛ. Зокрема, для ліктьового нерва він становить  $1,8 \pm 0,55$  мс, для серединного нерву – близько  $2,4 \pm 0,59$  мс [4]. РД визначається лише для аналізу довгих нервів, тобто таких, які можливо стимулювати в кількох точках. Для коротких нервів використовують значення ТЛ. Зокрема це стосується м'язів обличчя, де ТЛ повинна не перевищувати 3,5-4 мс.

Вікова особливість латентного періоду М-відповіді полягає в тому, що різке його збільшення вперше спостерігається в підлітковому віці (14-15 років) з подальшим незначним зменшенням, а потім знову підвищується після завершення формування організму (з 22-х років) [7].

Швидкість розповсюдження збудження по моторних волокнах можна розрахувати за формулою:  $\text{ШРЗм} = L / (T_p - T_d)$ , де  $L$  – відстань між точками стимуляції,  $T_p$  і  $T_d$  – латентність при проксимальній і дистальній стимуляції. Причому  $L \geq 9$  см. Крім того, ШРЗм прямопропорційно залежить від ступеню мієлінізації та товщини аксону. Мінімально допустиме значення ШРЗм становить: для периферичних нервів рук – 50 м/с, ніг – 40 м/с [8]. Зниження температури тіла на один градус призводить до зниження ШРЗм на 2-5 м/с.

Для кількісної оцінки динаміки використовують проксимально-дистальний коефіцієнт (ПДК). Його значення в нормі лежить у межах 1,2-0,98.

Зниження ШРЗм і амплітуди М-відповіді разом зі зменшенням площі негативної фази за умови стимуляції вище межі ураження при обмежених патологічних процесах (наприклад, тунельний синдром) називаються блоком проведення (рис. 2). [4]



**Рис. 2 «Блок проведення (крива 3)»**

Дослідження ПД нерва і швидкості проведення хвилі збудження сенсорними волокнами (ШРЗс) проводять при частоті стимуляції 3-4 Гц. Імпеданс під електродами має становити від 2 до 6 кОм, при цьому різниця імпедансу між активним і референтним електродами не перевищує 3 кОм.

За показниками швидкості розповсюдження збудження визначають мотосенсорний коефіцієнт:  $K_{M/c} = (\text{ШРЗм} / \text{ШРЗс}) * 100$ . У нормі він становить 90-100 %. Відповідно, збільшення цього показника свідчить про дисоційоване зниження ШРЗс, а зниження  $K_{M/c}$  супроводжує моторне ураження [4].



## Висновки.

Розглянуті метрологічні показники при стимуляційному методі ЕМГ досліджень не є однозначно достовірними і коригуються щонайменше віковим фактором. Оскільки в літературі обмежена інформація щодо вікових і статевих особливостей аналізу ЕМГ, то доцільним є проведення різнобічних досліджень впливу цих факторів на значення основних показників. Крім того, виявлена залежність між моторною відповіддю м'яза і нейрофізіологічними особливостями міастенії в залежності від структурних змін тимуса спонукає до досліджень факторного впливу окремих структур організму на перебіг і ступінь складності міастеній різного типу.

## Література:

- 1) Покровский В.М. Физиология человека / В.М. Покровский, Г.Ф. Коротько. – Москва: Медицина, 2003 – 656 с.
- 2) Бадалян Л.О., Скворцов И.А. Клиническая электронейромиография. – М.: Медицина, 1986. – 368 с.
- 3) Николаев С.Г. Практикум по клинической электромиографии / С.Г. Николаев. — Иваново: Ивановская государственная медицинская академия, 2003. — 264 с.
- 4) Товажнянська О.Л., Самойлова Г.П. Клініко-нейрофізіологічні особливості у хворих на міастенію залежно від структурних змін тимуса // Міжнародний неврологічний журнал. - №4 (82). – с.49-52
- 5) Неврология. Национальное руководство / И.Е.Гусев, А.Н.Коновалов, В.И.Скворцова, А.Б.Гехт. – М.: «Гэотар-медиа», 2010. – 1030 с.
- 6) Миастения. Диагностика и лечение / С.В. Лобзин. - Санкт-Петербург: СпецЛит, 2017
- 7) Челноков А.А. Функциональные особенности рефлекторных и моторных ответов скелетных мышц в покое у лиц разного возраста// Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2012. – №7(103). – С. 40-44.
- 8) Гехт Б.М. Теоретическая и клиническая электромиография. - Л. : Наука : Ленингр. отд-ние, 1990, 228 с.

**Abstract.** *The method of carrying out stimulation electromyography (EMG), qualitative and quantitative analysis of the M-response, the rate of propagation of excitation by motor and sensory fibers, the basic indices in the norm and their change in pathologies, in particular myasthenia, and in terms of age-specific features are considered in the work. As a result the actual directions of further research related to EMG are identified.*

**Keywords.** *Potential of action, EMG, electrode, muscle, M-response.*