

УДК 612.014.42:612.74

І. В. Шостаковська, Л. О. Дубицький, М. Ю. Клевець,
Б. А. Котлик, К. С. Левандовська, Л. Г. СигловаДОСЛІДЖЕННЯ СУМАРНОГО МОТОРНОГО ПОТЕНЦІАЛУ
СКЕЛЕТНИХ М'ЯЗІВ ЛЮДИНИ

Сумарний моторний потенціал (М-відповідь) виникає в результаті сумарної потенціалів дії м'язових волокон при збудженні моторних нервових волокон шляхом електричного подразнення периферичного нерва. Як електрофізіологічний тест М-відповідь може бути використана для оцінки стану міоневральної передачі збудження та збудливості нервово-м'язової системи людини, реєстрації кривої сили-часу та визначення швидкості поширення збудження.

Реєстрація М-відповіді все більше практикується в клініко-фізіологічних дослідженнях [1, 2, 3, 4, 5, 9]. Проте сьогодні залишаються ще нез'ясованими деякі питання, пов'язані з реєстрацією М-відповіді, яка в цілому нагадує методику позаклітинного відведення потенціалів дії ізольованого нервового стовбура. Як і потенціали дії нервового стовбура, М-відповідь ґрадуально залежить від сили подразнення і не підкоряється правилу «все або нічого». Водночас, із збільшенням сили подразнення зменшується латентний період виникнення М-відповіді. Цей факт послужив підставою для більш детального дослідження амплітудно-часових характеристик М-відповіді деяких м'язів людини.

Методика досліджень

Ми аналізували М-відповіді відвідного м'яза мізинця (*m. abductor digiti quinti*) і короткого відвідного м'яза великого пальця (*m. abductor pollicis brevis*) руки практично здорових людей ($n=15$). М-відповіді відводились біполярними на шкірними металевими електродами прямокутної форми і площею 50 мм^2 . Відстань між центрами електродів була постійною і становила 20 мм . Електроди фіксували в області рухових точок досліджуваних м'язів. Перед накладанням електродів шкіру обробляли етанол-ефірною сумішшю, а між електродами і шкірою встановлювали змочені фізіологічним розчином тканинні прокладки. Аналогічні електроди використовували для нанесення електричного подразнення в проксимальних (біля ліктьового згину) і дистальних (в області зап'ястка) нервових точках ліктьового і середнього нервів. М-відповіді реєстрували фотореєстратором ФОР з екрана осцилографа СІ-19Б з блоком попереднього підсилювача. Для подразнення нервів використовували прямокутні електричні імпульси тривалістю $0,5 \text{ мсек}$ і амплітудою $20-60 \text{ в}$, які подавали на об'єкт через ізолюючий трансформатор. Генератором прямокутних імпульсів служив електростимулятор ЕСЛ-2. Числові результати оброблені статистично.

Результати досліджень

Вимірювання порогів М-відповідей, яке проводилось при високій чутливості реєструючої апаратури (10 мкВ/мм), показало, що вони виникають при подразненні нервових точок імпульсами амплітудою $20-35 \text{ в}$. Виявилось проте, що порogi подразнення дистальних нервових точок ліктьового і серединного нервів вищі, ніж проксимальних. В середньому

пороги подразнення дистальних і лівої руки становлять $30,7 \pm 3,8$ і $20,3 \pm 0,9 \text{ в}$. Показники порогового потенціалу нерва мають значення.

Для одержання М-відповідей дистальних нервових точок сивнішим, ніж проксимальних, характеризуються майже с електричних імпульсів, що М-відповіді, до амплітуди п

На рис. 1 наводимо елють залежність амплітуди дразнення. Вони одержані літуду порогового електрич одиницю, а потім реєструв м'яза мізинця при подразн вої точки ліктьового нерва амплітуда яких становила вого імпульсу. Як видно і шення сили подразнення с станням амплітуди першої Подразнення імпульсами, понад 1,3 раза поріг под менш різким зростанням (рис. 2, а, б).

Рис. 1. Залежність М-відп
Пояснення

Зміни часових параметрів М-відповіді менш кидаються у в фаз, а також часу від моме фази показало, що вони за шої фази М-відповіді при му $4,73 \pm 0,28 \text{ мсек}$, то при нює $5,96 \pm 0,25 \text{ мсек}$. Трива $\pm 0,28$ і $8,32 \pm 0,55 \text{ мсек}$.

Отже, в цих умовах т другої—в 1,56 раза. Подр поріг понад 1,2—1,3 раза тривалостей М-відповідей

Якщо тривалість М-в разнення зростає, то три шується (рис. 2, 3). Вели разненні становить у сер 1,8 раза більшому—8,16- тентного періоду зменшуєт

Амплітудно-часові па зареєстрованих при супра дистальних нервових точк М-відповіді короткого від вання показують, що амп гої, а тривалість, навпаки,

бицький, М. Ю. Клевець,
овська, Л. Г. Сиглова

МОТОРНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВІД ЛЮДИНИ

М-відповідь) виникає в результаті
он при збудженні моторних нерво-
одразнення периферичного нерва.
відь може бути використана для
будження та збудливості нервово-
кривої сили-часу та визначення

е практикується в клініко-фізіоло-
роге сьогодні залишаються ще не-
з реєстрацією М-відповіді, яка в
ого відведення потенціалів дії ізо-
отенціали дії нервового стовбура,
сили подразнення і не підкоряєть-
із збільшенням сили подразнення
ння М-відповіді. Цей факт послу-
дослідження амплітудно-часових
ів людини.

сліджень

м'яза мізниця (m. abductor digiti quinti)
(m. abductor pollicis brevis) руки прак-
ідводились біполярними на шкірними ме-
плошею 50 мм². Відстань між центрами
Електроди фіксували в області рухових
ням електродів шкіру обробляли етанол-
ою встановлювали змочені фізіологічним
ектроди використовували для нанесення
біля ліктьового згину) і дистальних (в
і серединного нервів. М-відповіді реєст-
рографа СІ-19Б з блоком попереднього
товували прямокутні електричні імпульси
кі подавали на об'єкт через ізолюючий
ульсів служив електростимулятор ЕСЛ-2.

сліджень

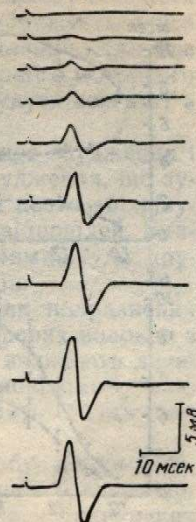
й, яке проводилось при високій
мкВ/мм), показало, що вони вини-
імпульсами амплітудою 20—35 в.
ення дистальних нервових точок
ніж проксимальних. В середньому

пороги подразнення дистальних нервових точок ліктьового нерва правої і лівої руки становлять $30,7 \pm 4,8$ і $31,6 \pm 3,5$ в, а проксимальних — $24,2 \pm 3,8$ і $20,3 \pm 0,9$ в. Показники порогів подразнення нервових точок серединного нерва мають значення, близькі до наведених.

Для одержання М-відповідей максимальної амплітуди подразнення дистальних нервових точок згаданих нервів повинно бути також інтенсивнішим, ніж проксимальних. І проксимальні, і дистальні нервові точки характеризуються майже однаковим відношенням (1,7—1,9) амплітуди електричних імпульсів, що викликають максимальні М-відповіді, до амплітуди порогових імпульсів.

На рис. 1 наводимо електрограми, що демонструють залежність амплітуди М-відповідей від сили подразнення. Вони одержані в такій послідовності. Амплітуду порогового електричного імпульсу приймали за одиницю, а потім реєстрували М-відповіді відвідного м'яза мізниця при подразненні проксимальної нервової точки ліктьового нерва електричними імпульсами, амплітуда яких становила 0,9—1,7 амплітуди порогового імпульсу. Як видно із згаданого рисунка, збільшення сили подразнення супроводжується чітким зростанням амплітуди першої і другої фаз М-відповідей. Подразнення імпульсами, амплітуда яких перевищує понад 1,3 раза поріг подразнення, супроводжується менш різким зростанням амплітуди М-відповідей (рис. 2, а, б).

Рис. 1. Залежність М-відповіді від сили подразнення.
Пояснення в тексті.



Зміни часових параметрів М-відповідей залежно від сили подразнення менш кидаються у вічі. Вимірювання тривалостей першої і другої фаз, а також часу від моменту нанесення подразнення до початку першої фази показало, що вони зазнають деяких змін. Так, якщо тривалість першої фази М-відповіді при пороговому подразненні становить у середньому $4,73 \pm 0,28$ мсек, то при подразненні в 1,8 раза більшому вона дорівнює $5,96 \pm 0,25$ мсек. Тривалість другої фази відповідно становить $5,33 \pm 0,28$ і $8,32 \pm 0,55$ мсек.

Отже, в цих умовах тривалість першої фази збільшується в 1,26, а другої—в 1,56 раза. Подразнення імпульсами, амплітуда яких перевищує поріг понад 1,2—1,3 раза, супроводжується менш різким збільшенням тривалостей М-відповідей та їх перших фаз (рис. 2, 1, 2).

Якщо тривалість М-відповідей та їх фаз із збільшенням сили подразнення зростає, то тривалість латентного періоду, навпаки, зменшується (рис. 2, 3). Величина латентного періоду при пороговому подразненні становить у середньому $9,27 \pm 0,29$ мсек, а при подразненні в 1,8 раза більшому — $8,16 \pm 0,14$ мсек. Отже, в цих умовах величина латентного періоду зменшується в 1,13 раза.

Амплітудно-часові параметри М-відповідей досліджуваних м'язів, зареєстрованих при супрамаксимальному подразненні проксимальних і дистальних нервових точок, наведені в таблиці, а на рис. 3 зображені М-відповіді короткого відвідного м'яза великого пальця руки. Вимірювання показують, що амплітуда першої фази завжди більша, ніж другої, а тривалість, навпаки, менша.

При подразненні нервів у проксимальних нервових точках М-відповідь завжди виникає з більшим латентним періодом (рис. 3, Б), ніж при подразненні їх у дистальних нервових точках (рис. 3, А). Знаючи відстань між точками подразнення і різницю між латентними періодами, можна розрахувати швидкість поширення збудження по моторних нервових волокнах.

Розрахунки показали, що швидкість поширення збудження по моторних волокнах ліктьового нерва правої і лівої руки коливається в ме-

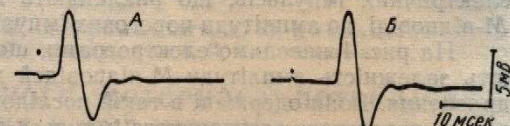
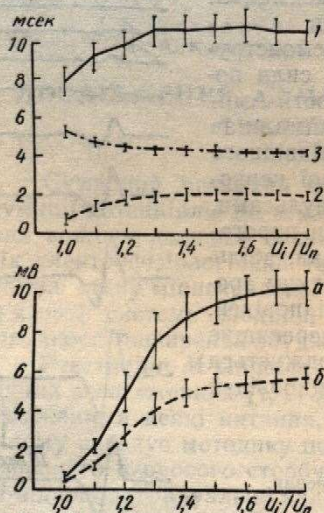


Рис. 3. М-відповіді при подразненні дистальної (А) і проксимальної (Б) нервових точок.

Рис. 2. Зміни параметрів М-відповіді залежно від сили подразнення.

U_1/U_0 — відношення величини подразних імпульсів до порогових, 1 — тривалість М-відповіді, 2 — тривалість першої фази, 3 — латентний період, а — амплітуда М-відповіді, б — амплітуда першої фази.

жах від 44,1 до 58,4 м/сек. Середня швидкість поширення збудження по моторних волокнах ліктьового нерва правої руки виявилась рівною $50,5 \pm 1,3$ м/сек, а лівої — $51,4 \pm 0,8$ м/сек. Швидкість поширення збудження по моторних волокнах серединного нерва перебуває в межах від 46,0 до 65,9 м/сек. В середньому вона становить $56,8 \pm 1,5$ м/сек для моторних волокон серединного нерва правої і $56,2 \pm 1,2$ м/сек — лівої руки.

Амплітудно-часові параметри М-відповідей досліджуваних м'язів

Назва м'язів	Назва параметрів	Права рука		Ліва рука	
		Дистальна точка подразнення	Проксимальна точка подразнення	Дистальна точка подразнення	Проксимальна точка подразнення
Відвідний м'яз мізинця	Амплітуда I фази (мВ)	$6,8 \pm 0,6$	$6,6 \pm 0,7$	$6,7 \pm 0,8$	$6,4 \pm 0,7$
	Амплітуда II фази (мВ)	$5,1 \pm 0,5$	$4,6 \pm 0,5$	$4,9 \pm 0,6$	$4,8 \pm 0,5$
	Тривалість I фази (мсек)	$5,6 \pm 0,3$	$6,0 \pm 0,2$	$5,5 \pm 0,2$	$5,8 \pm 0,2$
	Тривалість II фази (мсек)	$8,6 \pm 0,4$	$8,1 \pm 0,4$	$7,8 \pm 0,4$	$7,6 \pm 0,4$
Короткий відвідний м'яз великого пальця	Амплітуда I фази (мВ)	$7,0 \pm 0,8$	$6,6 \pm 0,8$	$6,6 \pm 0,8$	$6,3 \pm 0,9$
	Амплітуда II фази (мВ)	$4,7 \pm 0,5$	$4,4 \pm 0,6$	$4,4 \pm 0,5$	$4,0 \pm 0,6$
	Тривалість I фази (мсек)	$4,9 \pm 0,2$	$5,0 \pm 0,2$	$5,2 \pm 0,2$	$5,1 \pm 0,2$
	Тривалість II фази (мсек)	$7,2 \pm 0,7$	$7,0 \pm 0,6$	$8,1 \pm 0,4$	$7,3 \pm 0,5$

Високі порогові вики нервів через шкіру. Ниточки пов'язані з більш

Амплітуда М-відповіді, що й амплітуда сили подразнення збуджених нервових волокон, м'язових волокон. Із збільшення кількості нервів більша кількість м'язових потенціалів зростає до процесу збудження.

Із збільшенням сили нервів волокна з меншою зростає розширення тривалість першої фази розсіювання швидкої фази М-відповідей.

Зменшення латентного періоду могло б свідчити про збільшення швидкості поширення збудження, автори [7, 10]. Таке пояснюється вищою збудливістю швидше.

Зменшення латентного періоду відвідних електродів могло б лежати в основі збудження в нервових імпульсах. Але подання 0,5 мсек, а латентний період зв'язку з чим ця можливість.

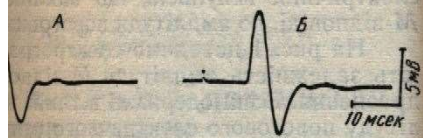
Нарешті, до зменшення нерва в умовах струмів місце виникнення до відвідних електродів роль у феномені зменшення сили подразнення.

Амплітудно-часові параметри прамаксимального потенціалу [8, 9, 11, 12]. Параметри м'язів правої і лівої руки різняться між собою [13] швидкості поширення збудження по моторних нервах правої і лівої

1. Байкушев Ст., Математична діагностика і електрокардіографія. 1974.
2. Гехт Б. М., Коломєтський В. М. Характеристика нервово-м'язової системи. 1974.
3. Глинская Н. Ю. — Глиниченко В. В. 31.

имальних нервових точках М-відповідним періодом (рис. 3, Б), ніж при цих точках (рис. 3, А). Знаючи відношення між латентними періодами, прискорення збудження по моторних нер-

в, швидкість поширення збудження по моторній і лівій руці коливається в ме-



М-відповіді при подразненні дистальної (А) і проксимальної (Б) нервових точок.

Зміни параметрів М-відповіді залежно від сили подразнення.

Відношення величини подразних імпульсів до часу, 1 — тривалість М-відповіді, 2 — тривалість фази, 3 — латентний період, а — амплітуда М-відповіді, б — амплітуда першої фази.

швидкість поширення збудження по правій руці виявилась рівною $50,5 \pm 1,5$ м/сек. Швидкість поширення збудження перша перебуває в межах від 46,0 до 56,8 $\pm 1,5$ м/сек для моторних нервових волокон, 56,2 $\pm 1,2$ м/сек — лівій руці.

М-відповідей досліджуваних м'язів

Права рука		Ліва рука	
точка ення	Проксимальна точка подраз- нення	Дистальна точ- ка подразнення	Проксимальна точка подраз- нення
6	$6,6 \pm 0,7$	$6,7 \pm 0,8$	$6,4 \pm 0,7$
5	$4,6 \pm 0,5$	$4,9 \pm 0,6$	$4,8 \pm 0,5$
3	$6,0 \pm 0,2$	$5,5 \pm 0,2$	$5,8 \pm 0,2$
4	$8,1 \pm 0,4$	$7,8 \pm 0,4$	$7,6 \pm 0,4$
8	$6,6 \pm 0,8$	$6,6 \pm 0,8$	$6,3 \pm 0,9$
5	$4,4 \pm 0,6$	$4,4 \pm 0,5$	$4,0 \pm 0,6$
2	$5,0 \pm 0,2$	$5,2 \pm 0,2$	$5,1 \pm 0,2$
7	$7,0 \pm 0,6$	$8,1 \pm 0,4$	$7,3 \pm 0,5$

Обговорення результатів досліджень

Високі пороги виникнення М-відповідей є наслідком подразнення нервів через шкіру. Нижчі пороги подразнення проксимальних нервових точок пов'язані з більш поверхневим проходженням тут нервів.

Амплітуда М-відповідей залежить від сили подразнення з тих же причин, що й амплітуда потенціалів дії ізольованого нерва. При малій силі подразнення збудження виникає в найбільш збудливих і поверхневих нервових волокнах, які приводять у діяльний стан незначну кількість м'язових волокон. Із збільшенням сили подразнення збуджується все більша кількість нервових волокон, приводиться в діяльний стан все більша кількість м'язових волокон, тому амплітуда сумарного моторного потенціалу зростає доти, поки всі м'язові волокна не будуть втягнуті в процес збудження.

Із збільшенням сили подразнення втягуються в процес збудження і нервові волокна з меншими швидкостями проведення збудження, що зумовлює зростання розсіювання швидкостей. За рахунок цього збільшується тривалість першої і в більшій мірі другої фази М-відповідей. Внаслідок розсіювання швидкостей поширення збудження амплітуди другої фази М-відповідей завжди менша, а тривалість більша.

Зменшення латентного періоду із збільшенням сили подразнення могло б свідчити про втягнення в процес збудження нервових волокон з більшими швидкостями проведення збудження, як це і вважають деякі автори [7, 10]. Таке пояснення суперечить, проте, загальновідомому факту вищої збудливості нервових волокон, які проводять збудження швидше.

Зменшення латентного періоду свідчить про те, що збудження досягає відвідних електродів за короткий час. В основі зменшення латентного періоду могла б лежати закономірність зменшення часу виникнення збудження в нервових волокнах із збільшенням інтенсивності подразних імпульсів. Але подразнення здійснювалось імпульсами тривалістю 0,5 мсек, а латентний період зменшується в середньому на 1,11 мсек, в зв'язку з чим ця можливість виключається.

Нарешті, до зменшення латентного періоду може призвести подразнення нерва в умовах об'ємного провідника, коли за рахунок галузження струмів місце виникнення збудження зміщується від катода в напрямку до відвідних електродів. Слід гадати, що ця обставина відіграє основну роль у феномені зменшення латентного періоду М-відповідей із збільшенням сили подразнення.

Амплітудно-часові параметри М-відповідей, зареєстрованих при супрамаксимальному подразненні нервів, узгоджуються з даними літератури [8, 9, 11, 12]. Порівняння параметрів М-відповідей однойменних м'язів правої і лівої руки не показало достовірних відмінностей. Не відрізняються між собою і відповідають літературним нормам [6, 8, 9, 12, 13] швидкості поширення збудження по моторних волокнах однойменних нервів правої і лівої руки.

Література

1. Байкушев Ст., Манович З. Х., Новикова В. П. — Стимуляционная электромиография и электронейрография в клинике нервных болезней, М., «Медицина», 1974.
2. Гехт Б. М., Коломенская Е. А., Строков И. А. — Электромиографические характеристики нервно-мышечной передачи у человека, М., «Наука», 1974.
3. Глинская Н. Ю. — Нарушение проведения по моторным волокнам при вегетативном полиневрите. В кн.: Вопросы клинической электромиографии, Вильнюс, 1973, 31.

4. Манович З. Х.— О некоторых методологических положениях применения стимуляционной электромиографии в клинике. В кн.: Параклинические методы исследования в неврологической клинике, М., 1969, 169.
5. Строков И. А.— Электромиография в диагностике двигательных нарушений миастенического типа. В кн.: Вопросы клинической электромиографии, Вильнюс, 1973, 129.
6. Bergmans G.— On the variability of conduction velocity measurements on repeated examinations. Electromyography, 1971, 11, 2, 143.
7. Hausmanowa-Petrusewicz L., Kopec J.— Motor nerve conduction velocity and stimulation threshold in man. Electromyography, 1968, 8, 159.
8. Henriksen J. D.— Conduction velocity of motor nerves in normal subjects and in patients with neuromuscular disorders. Thesis, Graduate School, Univ. of Minnesota, 1956.
9. Hodes R., Larrabee M. G., German W.— The human electromyogram in response to nerve stimulation and the conduction velocity of motor axons. Studies on normal and on injured peripheral nerves. Arch. Neurol. Psychiat. (Chic.), 1948, 60, 340.
10. Hodes R., Cribetz I., Moskowitz J. A., Wagman I. H.— Low threshold associated with slow conduction velocity. Arch. Neur., 1965, 12, 510.
11. Ludin H. P.— Electromyographische Untersuchungen über die funktionelle Gliederung motorischer Einheiten. Fortschr., Neurol., Psychiat., 1961, 8, 429.
12. Maglader J. W., Mc Dougall D. B., Stoll J.— Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man. II The effect of peripheral ischemia. Bull. Johns. Hopk. Hosp., 1950, 86, 291.
13. Mulder D. V., Lambert E. A., Bastron J. A., Sprague R. C.— The neuropathies associated with diabetes mellitus. Neurology (Minneapolis), 1961, 11, 275.

Кафедра фізіології людини і тварин
Львівського університету;
лабораторія електроміографії Всесоюзного інституту
радіоелектронної медичної апаратури, Львів

Надійшла до редакції
17.III 1975 р.

I. V. Shostakovskaja, L. A. Dubitskij, M. Ju. Klevets,
B. A. Kotlik, K. S. Levandovskaja, L. G. Siglova

STUDIES OF TOTAL MOTOR POTENTIAL OF HUMAN SKELETAL MUSCLES

Summary

The total motor potential (M-wave) of m. abductor digiti quinti and m. abductor pollicis brevis was registered in response to stimulation of n. ulnaris and n. medianus. When intensity of the stimuli increases, the amplitude of M-waves, duration of their first and second phase increase and latency of the response decreases. The increase in the amplitude of the M-waves evidences for excitation of ever-growing number of the nerve and muscle fibers. The increase in duration of M-waves shows that they involve into the process of excitation the nerve fibres with a low conduction velocity. The decrease in the response latency is connected with displacement of the place of excitation onset from beneath the cathode along the way of excitation conduction due to the branching of the stimulating current in the volumetric conductor.

Department of Human and Animal Physiology,
State University, Lvov; Electromyography Laboratory,
All-Union Research and Design Institute
of Radioelectronic Medical Apparatuses

УДК 612.014.32—015.36

ДИНАМІКА ВІД ТА ВІДНО ПРИ СТОМЛЕННІ

Відомо, що явною ознакою стомлення м'язів є тривала теплопродукція періоду [5, 7]. Це теплопродукція аеробних феноменів і динаміка поглинання кисню [8]. Такі спостереження можна судити про скорочення. При цьому ступінь приросту виконаної роботи буде тим більший, чим більше процеси в період відпочинку м'язів таким методом дослідження при цьому. Тим, як при стомленні м'язів зменшення працездатності для відновлення працездатності.

Досліди проводили в осенні місяці, вагою 80—120 кг. Після проведення вимірювань розчиняли в оксигенований розчин.

Пряме подразнення м'язів виконували імпульсами. Тривалість імпульсів працювала в ізотонічному режимі графічно на кімографі. Теплопродукція [4] і реєстрували електронним способом підсилювачем І-37 сигнал термоелемента $3,93 \times 10^{-3}$ Дж/см² діагностичної системи.

Після періоду інкубації в реакційній камері об'ємом 4 см³. На дно камери розташовували так, щоб він знаходився в середній частині і в такому вигляді. Аеробні умови створювали продуванням O_2 і CO_2 (95 і 5% за об'ємом), а через який проходила нитка міографічного м'язу починали через 40—45 хв після початку.

У першій серії контрольний і глибокий стомлення (зниження) подразнення дослідного м'язу при цьому впрацьовування—60 скорочень; ІІ—фаза стійкої працездатності; ІІІ—фаза стомлення.