

**О. В. Севериновська, О. Б. Мурзін**

## **Вплив пасивного та активного відпочинку на реципрокну взаємодію м'язів передпліччя людини**

*Применяя метод Н-рефлексометрии, исследовали влияние активного и пассивного отдыха на реципрокные взаимодействия в мышцах предплечья человека. Тестирующий стимул наносился на п. medianus через 1, 10 и 150 мс после кондиционирующего, который подавался на п. radialis. Эти интервалы были выбраны как максимумы проявления всех трёх фаз торможения. Установлено, что в начале пассивного отдыха происходит усиление реципрокного торможения, за которым следует восстановление активности мотонейронов через ослабление этого торможения. В случае активного отдыха восстановление возбудимости мотонейронов осуществляется через облегчение всех трех фаз реципрокного торможения. В статье обсуждаются возможные механизмы данного явления.*

### **Вступ**

В основі механізмів координації рухової діяльності, яка здійснюється на рівні центральної нервової системи, лежить взаємодія процесів збудження та гальмування. Таким чином, можна говорити про тісний взаємозв'язок координаційної діяльності та центрального гальмування. Вивчення процесів гальмування в спинному мозку людини може бути проведене за допомогою дослідження моносинаптичних рефлекторних відповідей м'яза (Н-відповідей) за умов стимулювання аферентів парними імпульсами [25]. Значна роль у регулюванні вільних рухів належить реципрокному гальмуванню, яке є одним із найбільш вивчених процесів у спинному мозку [2, 11, 26].

У фізіології спорту та фізіології праці важливо проблемою є стомлення. Одним із шляхів прискорення відновлювальних процесів після стомлення і використання феномена активного відпочинку за Сеченовим [9]. Після відкриття вказаного феномена його дослідженням займалося багато вчених [18, 21, 24]. Однак нейрофізіологічна основа цього явища детально не вивчена. Мета нашої роботи — з'ясування впливу активного та пасивного відпочинку на динаміку реципрокного гальмування рухових нейронів м'язів передпліччя людини. Здійснена спроба розкрити деякі механізми відновлення працездатності стомлених м'язів під впливом додаткової діяльності нестомлених.

### **Методика**

Обстежено 50 практично здорових людей віком від 18 до 25 років. Пацієнт сидів в кріслі у зручній для нього позі. Особлива увага зверталася на повне розслаблення м'язів під час усього експерименту, за виключенням періоду праці. Під час статичного навантаження обстежуваний у правій руці тримав пружинний динамометр на рівні 50 % максимального зусилля до повного

© О. В. Севериновська, О. Б. Мурзін

втомлення працюючої руки. Потім був 25-хвилинний пасивний відпочинок. У другій ситуації відпочинок втомленої руки проходив на фоні активної роботи лівої руки з силою 30 % від максимального зусилля. Під час активного та пасивного відпочинку вивчали відновлювальні процеси протягом 20 хв.

Збудливість мотонейронного пулу аналізували за допомогою методу моносинаптичного тестування [16], який впроваджено у нашій лабораторії [17]. В експериментах використовували поверхневі електроди, виготовлені зі срібла. У місцях накладання електродів шкіру протирали спиртом. Для зменшення електричного опору між електродами та шкірою застосовували спеціальну пасту. Н-рефлекс від черевця *m.flexor carpi radialis* викликали подразненням *n.medianus* у кубітальній ямці ліктьового суглоба, на який наносилося тест-подразнення. Силу стимулювання підбирали таким чином, щоб вона викликала половину максимальної Н-відповіді у флексорах при мінімальній М-відповіді. Кондиціонуюче подразнення завдавали на *n.radialis* в ділянці спіральної борозни з силою, що дорівнює 0,75 порогу. Міжстимульні інтервали були 1, 10 та 150 мс. Ці інтервали між кондиціонуючим та тестуючим стимулами як максимум проявлення реципрокного гальмування визначили на основі попередньо проведених дослідів [7].

У наших експериментах розглянуто три експериментальні випадки: у спокійному стані без фізичного навантаження (контрольна ситуація); під час пасивного та активного відпочинку. Попередніми дослідженнями [8] було встановлено, що ефект активного відпочинку найкраще виявляється під час та зразу після додаткової діяльності. Тест-пробу здійснювали на 1, 5, 12, 15 та 20-й хв. Для кожного випадку визначали амплітуду Н-відповіді в разі тестуючого стимулювання, та при спільній дії тестуючого та кондиціонуючого стимулів. Амплітуда тестуючої Н-відповіді була прийнята за 100 %. Результати обробляли статистичним методом парних порівнянь [6].

## Результати

У стані спокою максимум гальмування у першій фазі кривої відновлення спостерігали в разі інтервалу між двома стимулами 1 мс, де амплітуда Н-відповіді на другий стимул (за результатами 14 дослідів) складала в середньому  $51,8 \% \pm 5 \%$  від одиночної тестуючої відповіді (таблиця). Це значення Н-відповіді було прийнято за контрольне. Її латентність за середньостатистичними даними була 20–25 мс і не змінювалася під час усього дослідження.

Після навантаження, в стані пасивного відпочинку виявлено незначне ( $\pm 10 \%$ ) зниження амплітуди відповіді на тестуюче подразнення. Таким чином, використовуючи методику подвійного подразнення, можна говорити про реципрокне гальмування. При міжстимульному інтервалі 10 мс амплітуда Н-відповіді зразу після навантаження знизилася до  $45,0 \% \pm 3 \%$ , що може свідчити про посилення реципрокного гальмування на початку пасивного відпочинку. Надалі на першій хвилині такого відпочинку відмічалася послаблення реципрокного гальмування, і моносинаптична відповідь на другий стимул становила  $72 \% \pm 6 \%$ , тобто збільшувалася на 21,4 % порівняно зі станом спокою. Далі, вже на другій хвилині, спостерігалася послаблення реципрокного гальмування, і Н-відповідь була  $72,4 \% \pm 6 \%$ , що на 20,6 %

більше порівняно з контролем. У кінці пасивного відпочинку це значення все ще було збільшеним, становлячи  $60,4 \% \pm 7 \%$ .

Дещо інша картина спостерігалася під час активного відпочинку. При парному стимулюванні з міжстимульним інтервалом 1 мс на 1-й хвилині такого відпочинку відбувалося підкріплення моносинаптичної відповіді, амплітуда якої сягала  $107 \% \pm 6,0 \%$  ( $P < 0,005$ ) відносно тестуючого. Надалі це підкріплення слабшало, і на 20-й хв амплітуда Н-відповіді була  $65,2 \% \pm 6,0 \%$  ( $P < 0,005$ ).

Друга та третя фази реципрокного гальмування спостерігалися при міжстимульному інтервалі 5 – 50 та 50 – 1500 мс відповідно. Максимум гальмування у стані спокою за попередніми дослідженнями спостерігали на 10-й та 150-й мілісекунді.

При нанесенні тестуючого стимулу через 10 мс після кондиціонуючого в стані спокою спостерігали максимум гальмування, і амплітуда Н-відповіді по спільній дії двох стимулів становила  $45,8 \% \pm 5,0 \%$  і практично не змінювалася з часом. У разі пасивного відпочинку зразу спостерігали посилення реципрокного гальмування, і Н-відповідь становила  $38,0 \% \pm 2,1 \%$ . Але надалі вона дещо збільшувалась і становила на 1-й хв  $66 \% \pm 8,6 \%$ , що на  $10,2 \%$  більше порівняно з контролем. Найбільше послаблення (до  $70,8 \% \pm \pm 3,0 \%$ ) спостерігали на 5-й хвилині такого відпочинку. Надалі показники Н-відповіді знижувалися до контрольних значень, але залишалися підвищеними, становлячи на 20-ту хвилину  $59,6 \% \pm 4,0 \%$ . На початку активного відпочинку, який був пов'язаний з роботою лівої руки, відзначено послаблення реципрокного гальмування, і Н-відповідь була  $102 \% \pm 4,8 \%$ . Далі це послаблення ще зменшувалось, і на 20-ту хвилину амплітуда Н-відповіді була  $53,5 \% \pm 4,0 \%$ .

**Вплив пасивного та активного відпочинку на динаміку реципрокного гальмування флексорних моносинаптичних спинномозкових рефлекторних розрядів (за результатами 50 досліджень) ( $M \pm m, n = 50$ )**

Вид відпочинку	Інтервал між двома стимулами	Амплітуда Н-відповіді на:					
		0 хв	1 хв	5 хв	12 хв	15 хв	20 хв
Стан спокою (контроль)	1 мс	52±4,1	51,8±5	50,1±5	51,6±3	51,8±5	51,8±5
Пасивний	1 мс	45±3	72,4±6*	87,0±6*	82,5±14	70,5±8	60,4±7*
Активний	1 мс	107±6,0	108±10*	104±10	77,9±2	81±9,2	65,2±6*
Стан спокою (контроль)	10 мс	43±3,4	40±5,8	45,1±5	45,6±5	44,8±5	45,8±5
Пасивний	10 мс	38±2,1	66±8,6*	70,8±3*	70±5	74,3±4*	59,6±4*
Активний	10 мс	102±4,8	94±3,5*	81,7±4*	63±7,9	61±6,8*	53,5±4*
Стан спокою (контроль)	150 мс	35,8±2,3	35,5±4	35,5±4	35±5	35,8±5	35,5±4
Пасивний	150 мс	36±7,1	71±4,3*	69±7*	60±7,8	46±5,5*	57,2±1*
Активний	150 мс	103±2,7	104±3*	61±7*	59±7	52±9*	44,6±5*

\* Величини достовірно відрізняються від контролю,  $P < 0,05$ .

Врешті при міжстимульному інтервалі 150 мс Н-відповідь у стані спокою становила в середньому  $35,5 \% \pm 4,9 \%$ . Зразу після статичного навантаження при пасивному відпочинку моносинаптична відповідь була  $36,0 \% \pm 7,1 \%$ , що практично дорівнювало контролю. Але надалі під час перших п'яти хвилин відмічалось послаблення реципрокного гальмування (до  $69,0 \% \pm 7,4 \%$  — на 5-й хвилині). Тільки на 12-ту хвилину визначилася тенденція до нормалізації, однак моносинаптична відповідь все ж залишалася підвищеною порівняно з контролем, а на 20-ту хвилину становила  $57,2 \% \pm 3,0 \%$  ( $P < 0,005$ ). Під час і після активного відпочинку Н-відповідь на початку значно збільшувалась і складала  $103 \% \pm 2,7 \%$ , але далі це полегшення слабшало, на 20-ту хвилину її показники відповідали значенням  $44,6 \% \pm 5,0 \%$  ( $P < 0,05$ ). Середньостатистичні результати цієї групи досліджень свідчать про полегшення реципрокного гальмування в разі активного відпочинку і посилення пресинаптичного реципрокного гальмування на початку пасивного відпочинку.

## Обговорення

У результаті проведених досліджень встановлено, що існує різниця у динаміці відновлення моносинаптичної відповіді під час пасивного та активного відпочинку. Ми припустили, що в основі процесів відновлення під час цих двох видів відпочинку лежить взаємодія різних механізмів. Деякі автори [23, 27] відзначили, що під час короткочасного довільного скорочення відбувається збільшення амплітуди ЕМГ та Н-відповіді, але в тих випадках, які пов'язані з клінічними порушеннями або з довгим та сильним навантаженням м'язів [25, 27].

Спробуємо розібратися в причинах зниження амплітуди Н-відповіді в результаті статичної напруги. Під час статичного навантаження відбувається стомлення працюючого м'яза. У нашому випадку стомлення має локальний характер, оскільки активною є лише одна група м'язів. Як відзначено багатьма авторами, серед причин такого стомлення на перше місце виступають периферичні фактори, тобто процеси, що проходять у самому м'язі. При стомленні в м'язах порушується кислотно-лужний баланс, накопичуються фосфорна, молочна та інші кислоти, збільшується вміст вуглекислого газу [1], відбувається виснаження енергетичних запасів. Але цілком імовірно, що зниження амплітуди Н-відповіді під час перших хвилин пасивного відпочинку пов'язано з центральними процесами, а саме зі стомленням, яке розвивається на рівні мотонейронів під час статичного навантаження. Таким чином, зменшення амплітуди Н-відповіді є доведенням припущення І.М.Сеченова, що стомлення розвивається насамперед у нервових центрах.

Аналіз літератури [13, 21] показав, що використовувати нечисленні дані для пояснення феномену І.М.Сеченова треба з великою обережністю. Однак є роботи, в яких детально розглядаються зміни амплітуди Н-рефлексу під час локомоції [15].

Як показник стану збудливості сегментарного апарату спинного мозку використовують криву відновлення рефлексу після кондиціонуючого подразнення [12]. За цією кривою у практично здорових людей розрізняють три фази гальмування. Початок і довжина кожної фази можуть коливатися

у досить широких межах, й існує пряма залежність від інтенсивності подразника. Першу фазу гальмування пов'язують з постсинаптичним 1а реципрокним гальмуванням флексорних мотонейронів при аферентних входах від екстензорних м'язів [27]. Вона чітко виражена при інтервалі між двома стимулами, який дорівнює 1–5 мс. Максимум гальмування в першій фазі спостерігають при міжстимульному інтервалі 0,5–1 мс. Друга фаза з інтервалом від 5 до 50 мс спостерігається під час активації аферентів групи 1а екстензорів, які здійснюють вплив на Н-рефлекс на рівні інтернейронів. Максимум гальмування в другій фазі відмічають при інтервалі 10–20 мс. Третя фаза починається з 50 мс, і максимум припадає на інтервал в 150–300 мс. Друга і третя фази формуються завдяки виникненню імпульсів у полісинаптичних рефлекторних шляхах, їх пов'язують зі впливом зворотного та пресинаптичного гальмування, з гальмуванням від сухожильних рецепторів скороченого м'яза [20].

Було встановлено, що довільне напруження м'язів впливає на відновлення рефлексу. В наших експериментах статичне напруження флексорів викликає активацію різних систем, що призводять до послаблення всіх трьох фаз гальмування, а інколи до деякого підкріплення процесів збудливості, що спостерігалось у разі активного відпочинку. Полегшення пов'язане зі взаємодією різних механізмів, в яких провідне значення мають супраспінальні та сегментарні впливи. Як відомо, кортико-спінальний тракт виявляє збуджувальний вплив на флексори і гальмівний — на екстензори. Подібний вплив можуть здійснювати рубро-спінальний та латеральний ретикуло-спінальний тракти [13, 28]. Система аферентного флексорного рефлексу має збуджувальні та гальмівні шляхи до мотонейронів іпсі- і контралатеральних сторін [5, 26]. Контралатеральні шляхи АФР, включаючи інтернейрони іпсілатеральних систем, можливо також полегшують реципрокне гальмування, особливо виражене під час активного відпочинку. Таким чином, існують складні взаємодії різних входів на інтернейронах спинного мозку, і вибір відповідної реакції здійснюється на рівні мотонейронів.

Окрім цього, на реципрокне гальмування впливає цілий комплекс інших процесів, зокрема зворотне гальмування, яке здійснюється через клітини Реншоу [5]. В нашому випадку, особливо при інтервалі в 10 мс, зворотне гальмування, можливо, впливає на послаблення реципрокного.

Підсумовуючи результати, хотілося б звернути увагу на те, що нині існують дві точки зору відносно процесів у нервових центрах під час активного відпочинку. Маршак, Попов, Сеченов, Бернштейн [4, 9] вказують на те, що відновлювальна дія активного відпочинку пов'язана з підвищенням збудливості, з розгальмуванням нервових центрів під впливом додаткового подразнення під час відпочинку. Це підтверджено літературними даними [22]. Але Фольборт [10] підтримує думку, що в основі феномена Сеченова лежить підсилення гальмування, викликане діяльністю другої сторони. Наші результати свідчать про те, що в разі активного відпочинку відновлення збудливості мотонейронів здійснюється через полегшення усіх трьох фаз реципрокного гальмування.

**E. Severinovskaya, A. Murzin**

**INFLUENCE OF PASSIVE AND ACTIVE REST ON THE  
RECIPROCAL INTERACTION IN THE HUMAN FOREARM**

The reciprocal interaction in the forearm flexor in the human subjects were determined in the time of passive and active rest, using H-reflex testing.

H-reflex was evoked by stimulation of n.medianus after 1,10 and 150 ms after conditioned stimulus. The maximum of resiprocal inhibition was found on the begining of passive rest; however, recover motoneurones activity concided in the supression of this inhibition. The recovery of motoneurones' responses during active rest was realized through increase of thre phases of reciprocal inhibition. The possible mechanisms of the studied phenomenon were discussed.

*Dnipropetrovsky University of Educotion of Ukraine*

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. *Красников Н.П., Найдич С.И.* Роль активного отдыха в условиях восстановления кислотно-основного состояния и функций внешнего дыхания при утомлении // Физиология человека. — 1987. — N 1. — С. 50-57.
2. *Ляшенко В.П., Мурзин А.Б., Матиенко М.В.* Исследование длительного торможения в реципрокном взаимодействии мышц предплечья человека // Вестник Днепропетровск.ун-та: Биология — экология. — 1997. — Вып.3. — С.13-19.
3. *Мурзин А.Б., Ляшенко В.П., Мельникова О.З.* Влияние охлаждения и нагревания на реципрокное 1а торможение у человека. — В кн.: Актуальные вопросы современной биологии и медицины: Днепропетровск. — 1997. — С.65-69.
4. *Маршак М.Е.* Влияние активного отдыха на работоспособность человека // Физкультура и соц. строительство. — 1932. — N 10, 11. — С.52.
5. *Плещинский И.Н., Алексеева Н.Л.* Спинальный мозг: афферентные взаимодействия // Физиология человека. — 1996. — 22, N 1. — С.123-130.
6. *Плюхинский Н.А.* Биометрия. — М.: Изд-во Моск. ун-та. — 1970. — 367с.
7. *Севериновская Е.В., Мурзин А.Б.* Влияние активного отдыха на реципрокные взаимодействия мышц предплечья человека. — В кн.: Актуальные вопросы современной биологии и медицины. — Днепропетровск. — 1997. — С.89-93.
8. *Севериновская Е.В., Мурзин А.Б.* Исследование динамики восстановления Н-рефлекса m.flexor carpi radialis в условиях пассивного и активного отдыха // Вестник Днепропетровск. ун-та: Биология и экология. — 1997. — С.10-16.
9. *Сеченов И.М.* К вопросу о влиянии чувственных нервов на мышечную работу человека (1903-1904). — В кн.: Физиология нервной системы. — 1952. — Т.3. Кн. 17. — С. 155-166.
10. *Фольбогт Г.Р.* Взаимоотношение между процессами истощения и восстановления в процессе возбуждения и торможения. — В кн.: Тр. Укр.психоневр. ин-та. — 1946. — Т.18. — С.32.
11. *Baldissera F., Cfoallari H., Pierrot-Desselligny E., Schindo M* Evidense for mutual inhibition of opposite 1a interneurons in the human upper limb // Exp. Brain Res. — 1987. — 66 (1). — P.106-114.
12. *Berardelli A., Day B.L., Marsden C.D., Rothwell J.C.* Evidence favouring presynaptic inhibition between antagonist muscle afferents in the human forearm // J .Physiol. (Lond.) — 1987. — Oct. — 391. — P.71-83.
13. *Burke D. et al.* Convergence of desanding anderious peripheral inpuls of common popriospinal-like neurones in man // Ibid. — 1992. — 449. — P.655-671.
14. *Burke D., Yracies J.M., Mazevet D. et al.* Convergence of descending and various peripheral inputs onto common propriospinal-like neurones in man // Ibid. — P.655-671.

15. *Capaday, Stein R.B.* Amplitude modulation of the soleus H-reflex in the human during walking and standing // *J. Neurosci.* — 1986. — **6**(5). — P.1308-1313.
16. *Day B.L. et al.* Reciprocal inhibition between the muscle of the human // *J. Physiol.* — 1984. — **349**. — P.519-534.
17. *Day B.L., Marsden C.G., Moore M.A., Russel A.G.* Changes in human alpha-motoneuron excitability during sustained maximum isometric contractions // *Neurosci. Lett.* — Aug.4 — **68**(3). — P.327-333.
18. *Heimer S., Tonkovic-Lojovik M.* Active rest during work periods / Fakultet za fizicku kulturu. Sveucillista u Zagrebu. — 1994. — Dec. — **45**(4). — P.353-359.
19. *Hoffman P.* Untersuchungen uber die refraktare periode des menschlichen rucken markes // *Z. Biol.* — 1924. — **81**. — P.37-48.
20. *Katz R., Penicaud A., Rossi A.* Reciprocal 1a inhibition between elbow flexors and extensors in the human // *J. Physiol. (Lond.)* — 1991. — Jun. — **437**. — P.269-286.
21. *Kasai T., Komiyama T.* Antagonist inhibition during rest and precontraction // *Electroencephalogr. — Clin. Neurophysiol.* — 1991. — Dec. — **81** (6).
22. *Koceja D.M., Kemen G.* Contralateral influence on triceps surae motoneuron excitability // *Electroencephalogr. — Clin. Neurophysiol.* — 1992. — Jun. — **85**(3). — P.177-182.
23. *Kukulka C.G., Moore M.A., Russel A.G.* Changes in human alpha-motoneuron excitability during sustained maximum isometric contractions // *Neurosci. Lett.* — Aug.4. — **68**(3). — P.327-333.
24. *Miles C.A., Fougerson M.G., Craham H.* Effect of active time components recovery on cardiac time components // *J. Sports Med. and Phys. Fitness.* — 1982. — **22**. — N 22. — P.147-153.
25. *Piliavskii A.I., Jakhnitsa I.A., Potekhin L.D., Shpuntov A.E.* Descending modulation of the reflex reaction of the spinal motoneurons in human spinal cord damages // *Neurifisiologia.* — 1988. — **20** (1). — P.105-113.
26. *Roby-Brami A., Bussel B.* Inhibitory effects on flexor reflexes in patients with a complete spinal cord lesion // *Exp. Brain Res.* — 1992. — **90**(1). — P.201-108.
27. *Romano C., Schiepati M.* Reflex excitability of human soleus motoneurons during voluntary shorteing of lengthening contractions // *J. Physiol. (Lond.)* — 1987. — Sept. — **390**. — P.271-284.
28. *Van-der-Linder C., Bruggeman R.* Multiple descending corticospinal volleys demonstrated by changes of the wrist flexor H-reflex to magnetic motor cortex stimulation in intact human subjects / *Muscle-Nerve.* — 1993. — Apr. — **16**(4). — P.374-378.

*Дніпропетров. ун-т  
М-ва освіти України*

*Матеріал надійшов  
до редакції 04.08.98*