

УДК 612.766.1:577.353

О. З. Іванченко, Е. І. Сливко, І. І. Міхіна

**ЗМІНИ Н-РЕФЛЕКСУ Й ЕЛЕКТРОМІОГРАМИ
КАМБАЛОПОДІБНОГО М'ЯЗА ЛЮДИНИ
В ЛАТЕНТНОМУ ПЕРІОДІ ДОВІЛЬНИХ РУХІВ
КОНТРАЛАТЕРАЛЬНОЇ КІНЦІВКИ**

Установлено, що виконанню різноманітних довільних рухів передують певні зміни тону м'язової мускулатури, які забезпечують збереження пози тіла й підтримки його рівноваги [1, с. 345; 2, с. 119; 3, с. 7 – 11], у зв'язку з чим у науковій літературі вони отримали назву «випереджувальних постуральних перебудов» [4, с. 388; 5, с. 640; 6, с. 616]. Їхнє виникнення в латентному періоді різноманітних рухів рук, ніг, тулуба й голови було продемонстровано в численних дослідженнях, виконаних за допомогою реєстрації фонові електроміограми й тонких біомеханічних методів [4, с. 388 – 397]. Використання останніх дозволило шляхом ретельного аналізу параметрів довільних рухів охарактеризувати фізіологічну роль випереджувальних постуральних перебудов, однак з'ясування їхніх механізмів неможливо без дослідження центральних процесів, які відіграють провідну роль в організації будь-яких змін м'язової активності.

Відомо, що центральна нервова система здійснює контроль і регуляцію довільних рухів через сегментарні моносинаптичні рефлекторні дуги, активність яких у людини може бути оцінена методом Н-рефлексометрії [5, с. 67 – 80; 6, с. 1 – 6]. Н-рефлекс являє собою електричну відповідь м'яза на подразнення електричними імпульсами аферентних нервових волокон Ia, які моносинаптично активують його мотонейрони. Тому вважають, що величина Н-рефлексу служить адекватним показником збудливості спінальних нейронних ланцюгів, а застосування Н-рефлексометрії могло би сприяти визначенню центральних механізмів випереджувальних постуральних перебудов.

У свою чергу, відомо, що регуляція збудливості моносинаптичних рефлекторних дуг може здійснюватися як пресинаптично, так і постсинаптично, тобто шляхом модуляції центральних впливів на аферентні нервові волокна Ia і безпосередньо на мотонейрони [7, с. 67 – 80]. Тому більш точні дані щодо механізмів випереджувальних постуральних перебудов можна отримати шляхом порівняння даних Н-рефлексометрії і електроміографії (ЕМГ). Відомо, що електроміограма (ЕМГ) служить показником, переважно, постсинаптичних впливів на мотонейрони [8, с. 388], у зв'язку з чим характер змін її характеристик у латентному періоді довільних рухів

може бути використаний як критерій наявності або відсутності постсинаптичного механізму модуляції збудливості моносинаптичних рефлекторних дуг.

Метою нашого дослідження було шляхом аналізу змін Н-рефлексу і ЕМГ камбалоподібного м'яза в латентному періоді довільних рухів контралатеральної нижньої кінцівки з'ясувати пре- або постсинаптичний механізм постуральних перебудов, що їх випереджають, і їхнє фізіологічне значення.

Дослідження проводили, отримавши на них дозвіл комісії з біоетики університету, на 22 здорових людях-добровольцях обох статей віком 17 – 38 років.

У першій серії досліджень вивчали зміни амплітуди Н-рефлексу камбалоподібного м'яза в латентному періоді довільних рухів (кондиціонуючих) контралатеральної кінцівки – підшовного й тильного згинання стопи. Кондиціонуючі довільні рухи піддослідні здійснювали з максимальною швидкістю за світловим сигналом. З метою встановлення моменту початку руху реєстрували електроміограму м'язів: при підшовному згинанні – однієї з головок литкового м'яза (*m. gastronomies*), а при тильному згинанні – переднього великогомілкового м'яза (*m. tibialis anterior*). ЕМГ відповідних м'язів відводили за допомогою біполярних електродів діаметром 1 см з міжелектродною відстанню 1,5 см. Сигнали через підсилювач біопотенціалів УБФ-04 подавали на вхід двоканального цифрового осцилографа Handiscope HS3, від якого вони поступали в один з портів персонального комп'ютера.

Н-рефлексометрію проводили за загальноприйнятою методикою. Обстежувані знаходилися в положенні лежачи на кушетці з вільно звисаючими стопами. Н-рефлекс камбалоподібного м'яза викликали нанесенням на великогомілковий нерв у підколінній ямці через поверхневий уніполярний срібний електрод від електронейростимулятора ЕНС-01 поодиноким прямокутним електричним імпульсом (тестуючий стимул) тривалістю 1 мс. Силу подразнення підбирали індивідуально так, щоб стимул викликав Н-рефлекс, амплітуда якого складала 70 – 80% максимально можливої його величини без прояву М-відповіді м'яза. Відведення рефлекторної відповіді м'яза здійснювали біполярними срібними електродами таким самим способом, який був описаний вище для ЕМГ.

Аналізували зміни амплітуди Н-рефлексу камбалоподібного м'яза, яку визначали «від піка до піка», в умовах кондиціонуючих рухів контралатеральної кінцівки відносно середньої амплітуди контрольного Н-рефлексу (за відсутності світлового сигналу і руху), який реєстрували після кожних 3 – 4 проб. Інтервали між кондиціонуючим рухом і

тестуючим стимулом складали від – 200 мс (Н-рефлекс передував руху) до 30 мс (Н-рефлекс викликали після початку руху).

У другій серії дослідів замість Н-рефлексів камбалоподібного м'яза за допомогою біполярних електродів реєстрували ЕМГ до початку руху (за 200 мс) і на тлі згинань стопи контралатеральної кінцівки. Для визначення змін амплітудних характеристик ЕМГ її осциляції підлягали двополуперіодному випрямленню та низькочастотній фільтрації в режимі off-line. Інтенсивність ЕМГ камбалоподібного м'яза визначали як площу під кривою, яка огинає ЕМГ, за допомогою «Origin 8,6».

Проводили загальноприйнятну статистичну обробку результатів досліджень: розраховували середні величини та їхні стандартні помилки. Математичні розрахунки й побудову графіків здійснювали на персональному комп'ютері, використовуючи «Statistica for Windows» і «Excel 97».

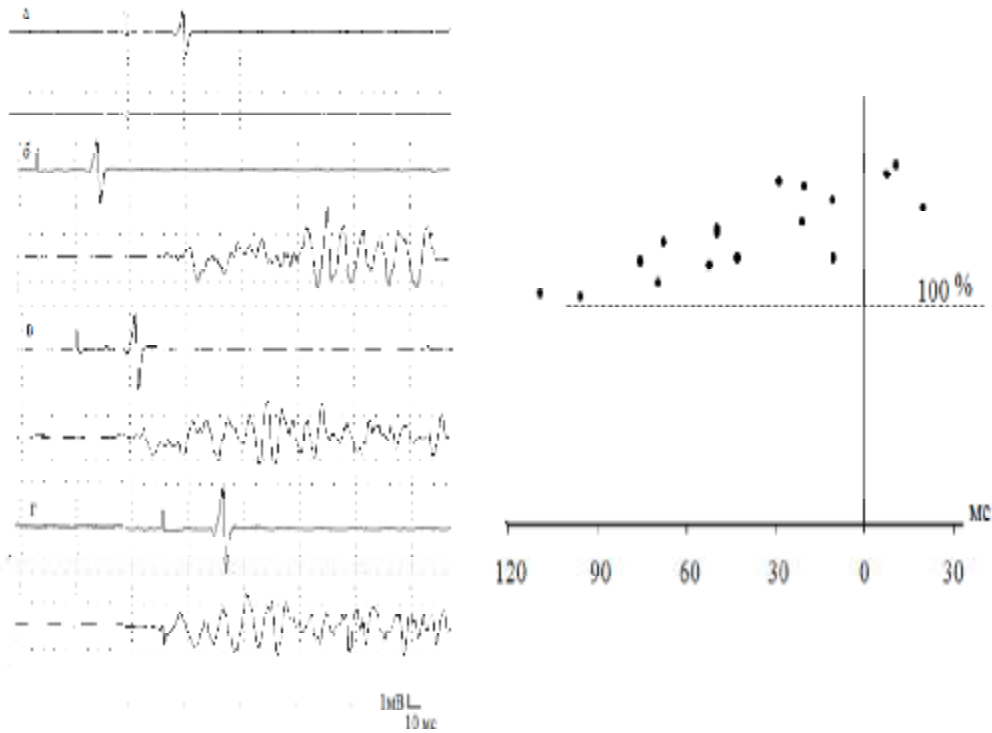
Результати проведених нами досліджень показали, що зміни амплітуди тестованого Н-рефлексу камбалоподібного м'яза спостерігалися вже в латентному періоді кондиціонуючих рухів контралатеральної кінцівки, тобто ще до їхнього початку, а на їхньому тлі – посилювалися (рис. 1).

Представлені на рис. 1 дані свідчать, що амплітуда Н-відповіді камбалоподібного м'яза, зареєстрованої за 75 мс до початку осциляцій ЕМГ м'яза контралатеральної кінцівки, збільшилася на 46% (б) контрольної величини (а), за 35 мс до початку руху – на 78% (в). На тлі кондиціонуючого руху амплітуда Н-рефлексу м'яза продовжувала зростати – у представлений пробі до 199% контролю (г).

Середньостатистичні результати дослідження змін величини Н-рефлексу камбалоподібного м'яза, а також інтенсивності його ЕМГ у латентному періоді тильного і підшовного згинання стопи контралатеральної кінцівки подано на рис. 2.

Видно, що обидва кондиціонувчі рухи викликали однотипні зміни тестованого Н-рефлексу (темні стовпчики), а саме його полегшення (зростання амплітуди відносно контролю). Воно спостерігалось вже за 120 – 90 мс до початку рухів: в умовах тильного згинання стопи амплітуда Н-рефлексу становила $110 \pm 6\%$, а підшовного згинання – $111 \pm 3\%$. При подальшому зменшенні інтервалу між викликом Н-рефлексу й кондиціонуючими рухами вказане явище посилювалося. Так, за 60 – 90 мс до початку тильного й підшовного згинання стопи амплітуда Н-рефлексу камбалоподібного м'яза збільшилась до $133 \pm 10\%$ контролю, за 30 – 60 мс до кондиціонуючого руху вона складала $154 \pm 10\%$, а в інтервалі, меншому, ніж 30 мс, – $169 \pm 9\%$. Зростання амплітуди Н-рефлексу камбалоподібного м'яза при підшовному згинанні стопи було дещо слабшим, ніж при тильному згинанні: збільшення величини тестованої рефлекторної відповіді в такому

випадку сягало $114 \pm 8\%$ контролю за 60 – 90 мс до руху, $130 \pm 7\%$ – за 30 – 60 мс і $143 \pm 9\%$ в інтервалах, менших, ніж за 30 мс до початку руху. Збільшення амплітуди тестованого Н-рефлексу спостерігалось й на тлі кондиціонуючих рухів: при тильному згинанні стопи – до $187 \pm 13\%$ контролю, при підшовному згинанні – до $160 \pm 8\%$.



А.

Б.

Рис. 1. Зміни амплітуди Н-рефлексу камбалоподібного м'яза в латентному періоді тильного згинання стопи контралатеральної кінцівки: А – осцилограми чотирьох проб, зроблених за відсутності кондиціонуючого руху (а), за 75 мс (б) і 35 мс (в) до нього, на тлі тильного згинання стопи (г). Верхні криві кожної проби – записи Н-рефлексу камбалоподібного м'яза, нижні – осцилограми ЕМГ переднього великогомілкового м'яза контралатеральної кінцівки, які служать показником початку руху. Б – результати всіх проб представлено дослідю.

По горизонталі – інтервал між початком кондиціонуючого руху й тестуючим стимулом, мс. По вертикалі – величина Н-рефлексу при виконанні кондиціонуючого руху, нормована відносно контролю, прийнятого за 100%

Аналіз динаміки інтенсивності ЕМГ камбалоподібного м'яза в латентному періоді тильного й підошовного згинання стопи контралатеральної кінцівки (світлі стовпчики рис. 2 – А и Б) показав, що величина аналізованого показника майже не змінювалася. Так, за 120 – 90 мс до початку тильного згинання вказана інтенсивність склала $101 \pm 4\%$, за 90 – 60 мс – $98 \pm 4\%$, в інтервалі 60 – 30 мс – $100 \pm 5\%$, а за 30 мс – $108 \pm 6\%$ контрольної величини. На тлі рухової реакції інтенсивність ЕМГ камбалоподібного м'яза дещо зростала – до $115 \pm 8\%$ контролю.

В умовах підошовного згинання стопи контралатеральної кінцівки інтенсивність ЕМГ камбалоподібного м'яза була зменшеною як у латентному періоді, так і на тлі кондиціонуючого руху. В інтервалі 90 – 120 мс до його початку значення аналізованого показника складало $93 \pm 3\%$, за 90 – 60 мс – $90 \pm 3\%$, за 60 – 30 мс – $87 \pm 3\%$, на тлі руху – $94 \pm 8\%$ контрольної величини. Звертає на себе увагу той факт, що при підошовному згинанні контралатеральної стопи зміни інтенсивності ЕМГ і Н-рефлексу камбалоподібного м'яза були різноспрямованими.

Таким чином, результати наших досліджень показали, що в латентному періоді довільних рухів контралатеральної кінцівки виникало полегшення Н-рефлексу камбалоподібного м'яза, що свідчило про зростання збудливості його моносинаптичної рефлекторної дуги. Указане полегшення виникало за 60 – 90 мс до початку кондиціонуючих рухів, посилювалося в міру зменшення інтервалу між ними й тестованим рефлексом, досягаючи максимуму в початковій стадії рухового акту.

Полегшення Н-рефлексу могло мати дві причини: воно могло виникати внаслідок підвищення центральними моторними командами безпосередньо збудливості пулу мотонейронів тестованого м'яза (постсинаптичний механізм) або модуляції впливу на мотонейрони аферентних волокон Ia, що входять до складу дуги Н-рефлексу (пресинаптичний механізм). Результати представленого дослідження свідчать на користь останнього.

Так, інтенсивність фонові ЕМГ м'яза в латентному періоді кондиціонуючих рухів не збільшувалася й навіть дещо зменшувалася при підошовному згинанні стопи. Це вказувало на те, що збудливість безпосередньо мотонейронів камбалоподібного м'яза не зростала, а полегшення Н-рефлексу, яке передувало довільним рухам контралатеральної кінцівки, було наслідком процесів, які відбувалися в пресинаптичній частині його рефлекторної дуги. Можна припустити, що воно виникало в результаті послаблення під дією центральних команд фонового пресинаптичного гальмування терміналей аферентних волокон Ia перед початком довільного руху [8, с. 6 – 10]. Такий висновок був зроблений нами раніше при дослідженні полегшення Н-рефлексу камбалоподібного м'яза, яке передувало довільному руху

іпсилатеральної нижньої кінцівки [9, с. 90]. Результати представленої роботи свідчать про те, що послаблення пресинаптичного гальмування в латентному періоді довільних рухів має більш генералізований характер.

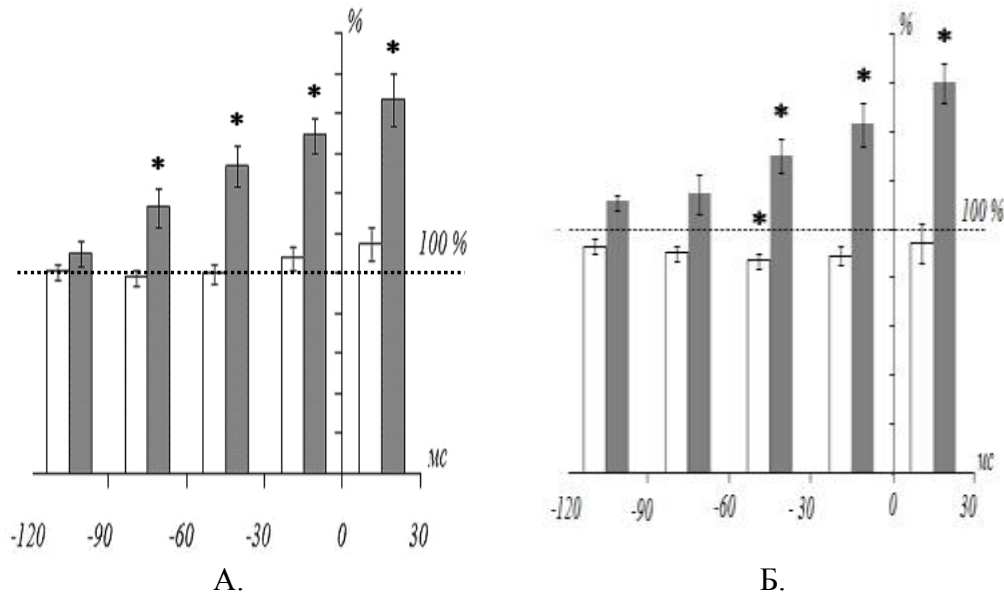


Рис. 2. Динаміка амплітуди Н-рефлексу камбалоподібного м'яза й інтенсивності його фоновій ЕМГ у латентному періоді тильного (А) й підшовного (Б) згинання стопи контралатеральної кінцівки.

По горизонталі – інтервал між тестуючим стимулом, що викликає Н-рефлекс, і початком кондиціонуючого руху, мс; по вертикалі – усереднені нормовані інтенсивності фоновій ЕМГ (світлі стовпчики) й амплітуди Н-рефлексу камбалоподібного м'яза (світлі стовпчики). Вертикальні рисочки на стовпчиках – похибки середніх, зірочки – достовірні зміни аналізованих показників

Щодо фізіологічної ролі вказаного явища можна припустити, що вона стосується саме сенсорної сфери контролю й регуляції м'язової активності в латентному періоді й під час виконання довільних рухів. Підтвердженням такого припущення в наших дослідженнях був незмінний тонус камбалоподібного м'яза (інтенсивність його фоновій ЕМГ не змінювалася) на тлі зростання величини Н-рефлексу. Зменшення пресинаптичного гальмування може покращувати умови надходження аферентних сигналів з пропріорецепторів м'язів через нервові волокна 1а у центральну нервову систему, що, як свідчать дані робіт [5, с. 644 – 646; 6, с. 618], відіграє істотну роль у регуляції за типом «он-лайн» тих

моторних команд, які визначають характер постуральних перебудов, що передують довільним рухам і здійснюються на їхньому тлі.

Список використаної літератури

- 1. Bouisset S.** Posture, dynamic stability, and voluntary movement / S. Bouisset, M. C. Do // *Neurophysiol. Clin.* – 2008. – Vol. 38, No. 6. – P. 345 – 362.
- 2. Postural synergies and their development** / M. L. Latash, V. Krishnamoorthy, J. P. Scholz et al. // *Neural Plast.* – 2005. – Vol. 12, No. 2 – 3. – P. 119 – 130.
- 3. Horak F. B.** Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? / F. B. Horak // *Age Ageing.* – 2006. – No. 35, Suppl. 2. – P. 7 – 11.
- 4. Santos M. J.** The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture: 1. Electromyographic analysis // M. J. Santos, N. Kanekar, A. S. Aruin // *Electromyogr. Kinesiol.* – 2010. – Vol. 20, No. 3. – P. 388 – 397.
- 5. Can prepared** anticipatory postural adjustments be updated by proprioception / H. Ruget, J. Blouin, N. Teasdale et al. // *Neurosci.* – 2008. – Vol. 155, No. 3. – P. 640 – 648.
- 6. Online** control of anticipated postural adjustments in step initiation: evidence from behavioral and computational approaches / L. Mouchnino, G. Robert, H. Ruget et al. // *Gait Posture.* – 2012. – Vol. 35, No. 4. – P. 616 – 620.
- 7. Pierrot-Deseilligny E.** The monosynaptic reflex: a tool to investigate motor control in humans. Interest and limits / E. Pierrot-Deseilligny, D. Mazevet // *Neurophysiol. Clin.* – 2000. – Vol. 30, No. 2. – P. 67 – 80.
- 8. Knikou M.** The H-reflex as a probe: Pathways and pitfalls / M. Knikou // *J. Neurosci. Methods.* – 2008. – Vol. 171, No. 1. – P. 1 – 12.
- 9. Іванченко О. З.** Випереджуючі зміни Н-рефлексів нижньої кінцівки людини при довільних контралатеральних рухах / О. З. Іванченко // *Уч. зап. Тавр. нац. ун-та ім. В. И. Вернадського, Серія «Биология, химия».* – 2012. – Т. 25, № 64. – С. 84 – 91.

Іванченко О. З., Сливко Е. І., Міхіна І. І. Зміни Н-рефлексу й електроміограми камбалоподібного м'яза людини в латентному періоді довільних рухів контралатеральної кінцівки

Показано, що в латентному періоді довільних рухів стопи відбувалося полегшення Н-рефлексу камбалоподібного м'яза контралатеральної кінцівки без змін інтенсивності його фонові ЕМГ. Це свідчило, що збудливість моносинаптичної рефлекторної дуги збільшувалася внаслідок послаблення пресинаптичного гальмування нервових волокон 1а. Припускається, що це забезпечує полегшення надходження в центральну нервову систему інформації від

проприорецепторів м'язів, яке сприятиме регуляції постуральних перебудов.

Ключові слова: Н-рефлекс, електроміограма, постуральні перебудови, довільний рух.

Иванченко Е. З., Сливко Э. И., Михина И. И. Изменения Н-рефлекса и электромиограммы камбаловидной мышцы человека в латентном периоде произвольных движений контралатеральной конечности

Показано, что в латентном периоде произвольных движений стопы происходило облегчение Н-рефлекса камбаловидной мышцы контралатеральной конечности без изменений интенсивности фоновой ЭМГ мышцы. Это свидетельствовало, что возбудимость моносинаптической рефлекторной дуги увеличивалась вследствие ослабления пресинаптического торможения афферентных нервных волокон 1а. Предполагается, что это обеспечивает облегчение поступления в центральную нервную систему информации от проприорецепторов мышц, что может способствовать регуляции постуральных перестроек, предваряющих произвольные движения, в режиме on-line.

Ключевые слова: Н-рефлекс, электромиограма, постуральные перестройки, произвольное движение.

Ivanchenko E. Z., Slivko E. I., Mihina I. I. The Changes of Soleus H-reflex and Electromyogram in Latency of Voluntary Movements of Contralateral Extremity

The mechanism and physiological role of anticipatory postural adjustments were investigated by comparing the changes in the characteristics of the human soleus H-reflex and the soleus electromyogram (EMG) in latency of voluntary contralateral extremities flexions.

It shown that for the 90 – 120 ms before these movements the amplitude of investigated reflex response increased, and these changes enhanced with decreasing the interval between the electrical stimulus, which called H-reflex, and the beginning of flexions and reached a maximum in their background. The intensity of the soleus EMG in latency of voluntary movements of the contralateral extremity was not significantly changed, that indicated no changes of muscle tone and pointed to a presynaptic mechanism of soleus H-reflex facilitation. It is assumed that the activation of supraspinal structures before the voluntary movements reduces presynaptic inhibition of nerve fibers 1a in the spinal monosynaptic reflex arcs. The physiological role of these phenomena may be in facilitating of information admission from the muscles proprioceptors to the central nervous system. This facilitating may

play significant role in the organization of anticipatory postural adjustments and their regulation in a mode online.

Key words: H-reflex, electromyogram, postural adjustments, voluntary movement.

Стаття надійшла до редакції 17.04.2013 р.

Прийнято до друку 26.06.2013 р.

Рецензент – д. б. н., проф. І. О. Іванюра.

УДК 612.017: 612.8

О. М. Клейменова

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКИ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ СИСТЕМНОГО ІМУНІТЕТУ ТА ТИПОМ ВИЩОЇ НЕРВОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

У цей час встановлено значну структурну й функціональну схожість імунної та нервової систем, а також наявність зв'язків між цими регуляторними системами [1 – 3]. Зазначені зв'язки мають двонаправлений характер, що дозволяє їм взаємодіяти як в інтактному організмі, так і в процесі формування імунної відповіді [1].

Разом з тим відомо: базисними показниками функціонування нервової системи, що визначають індивідуальність людини, є параметри вищої нервової діяльності (типологічні особливості нервової системи, пам'ять й інтелектуальна діяльність); мозок має білатерально-асиметричну будову; особливості ВНД визначаються вказаною будовою [1; 4; 5].

Розкриваються нові механізми взаємодії імунної і нервової систем, завдяки дослідженням у галузі фізіології, біохімії, імунології [6]. Можливо, є залежність типу вищої нервової діяльності (сили, рухливості) від імунологічних параметрів.

При аналізі подібності в організації нервової й імунної систем привертає увагу той факт, що обидві системи складаються з великої кількості фенотипічних клітин, що різняться, організованих у складні системи. У межах такої мережі клітини взаємозалежні й функціонують за принципом зворотного зв'язку, коли пусковим сигналом служить адекватний подразник, а кінцева відповідь спрямована на забезпечення корисного результату. Відмінність полягає в тому, що в нервовій системі клітини відносно фіксовані в просторі, тоді як в імунній вони динамічні й лише короткочасно взаємодіють одна з одною [7].