

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ФІЗІОЛОГІЇ ім. О.О. БОГОМОЛЬЦЯ**

КОЛОСОВА ОЛЕНА ВІКТОРІВНА

УДК 612.741+612.816+612.83+796.015.68

**МОДУЛЯЦІЙНІ ВПЛИВИ НА Н-РЕФЛЕКС У ФІЗИЧНО НЕТРЕНОВАНИХ
ТА ТРЕНОВАНИХ ЛЮДЕЙ**

03.00.13 – фізіологія людини і тварин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у відділі фізіології рухів Інституту фізіології ім. О.О.Богомольця НАН України

Науковий керівник:

доктор біологічних наук, професор

Костюков Олександр Іванович

Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України,
завідувач відділом фізіології рухів.

Офіційні опоненти:

доктор біологічних наук, професор

Макарчук Микола Юхимович

ІНЦ «Інститут біології та медицини» КНУ ім. Тараса Шевченка,
завідувач кафедри фізіології людини і тварин.

доктор медичних наук, професор

Йолтухівський Михайло Володимирович

Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова,
завідувач кафедри нормальної фізіології.

Захист відбудеться «13» квітня 2021 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.198.01 при Інституті фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України за адресою: м. Київ, вул. Богомольця, 4.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту фізіології ім. О.О.Богомольця НАН України за адресою: м. Київ, вул. Богомольця, 4 та на сайті: http://biph.kiev.ua/en/Specialized_Scientific_Council

Автореферат розісланий «02» березня 2021 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради,
кандидат біологічних наук



Любанова О.П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Відомо, що м'язове стомлення супроводжується різноманітними процесами, що відбуваються на периферії (безпосередньо у м'язі та в нервово-м'язових синапсах), а також на спінальному та супраспінальному рівнях ЦНС. Центральні та периферичні зміни у нервовій та м'язовій системах, що відбуваються під дією фізичного навантаження, що стомлює, призводять до неможливості підтримувати необхідні для реалізації тих або інших моторних феноменів рівні м'язового скорочення. Так, у спинному мозку змінюється інтенсивність аферентних впливів від рецепторного апарату м'яза, що стомлюється, та оточуючих його тканин. Модулюється також рівень кортикальних моторних команд, які забезпечують керування довільною моторною активністю, та, як наслідок, рівень активності мотонейронів (Bigland-Ritchie, & Woods, 1984; Gandevia, 2001; Enoka, & Duchateau, 2016; Taylor, Amann, Duchateau, Meeusen, & Rice, 2016; Carroll, Taylor, & Gandevia, 2017; Goodall, Howatson, & Thomas, 2018).

Очевидно, що чітка диференціація дії факторів, що можуть зумовлювати зменшення збудливості мотонейронів та зниження інтенсивності безпосередніх моторних команд (частоти еферентних розрядів цих клітин), надає можливість наблизитися до розуміння механізмів, що лежать в основі регуляції м'язової діяльності (зокрема тих, що відповідають за розвиток низки патологічних станів нервової та м'язової систем організму при професійних захворюваннях спортсменів та робітників, діяльність яких пов'язана з інтенсивною фізичною працею). Ефективним підходом у таких дослідженнях є вивчення динаміки модуляції спінальних рефлексів при розвитку стомлення за допомогою однієї з розповсюджених електроміографічних методик – реєстрації Н-рефлексу (моносинаптичної рефлексорної відповіді, обумовленої активацією аферентних волокон групи Ia, які починаються від м'язових веретен і закінчуються безпосередньо на сегментарних мотонейронах) (Hoffmann, 1910; Бадалян, & Скворцов, 1986; Команцев, 2006).

У літературі повідомлялося про пригнічення моносинаптичного рефлексу камбалоподібного м'яза (*m. soleus*) у тварин після активації цього м'яза, що викликає його стомлення (Kostyukov et al., 2005), про істотне зменшення амплітуди Н-рефлексу, що відводиться від м'язів верхньої кінцівки людини, після стомлення, обумовленого тривалим довільним м'язовим скороченням (Duchateau, & Hainaut, 1993), про зменшення амплітуди Н-рефлексу, що відводиться від *m. soleus* людини, впродовж стомлення, індукованого переривчастим довільним м'язовим скороченням невеликої інтенсивності (Walton, Kuchinad, Ivanova, & Garland, 2002), а також про зниження амплітуди Н-рефлексу *m. soleus* людини у динаміці розвитку стомлення триголового м'яза гомілки (*m. triceps surae*), яке викликали переривчастою стимуляцією рухових нервових волокон (Garland, & McComas, 1990; Avela, Kyrolainen, & Komi, 2001). Однак при цьому не було отримано детальних характеристик часового перебігу змін Н-рефлексу у відновлювальному періоді після стомлення. До того ж, уявлялося доцільним вивчення динаміки величини Н-рефлексу не в межах періоду розвитку зусилля, яке стомлює м'яз, а після закінчення такого періоду, коли припиняється дія низки чинників, пов'язаних безпосередньо зі скороченням м'яза протягом стомлення. Різними авторами також повідомлялося про

гальмування Н-рефлексу *m. soleus*, викликане стимуляцією загального малогомілкового нерва (*n. peroneus communis*) у людини в стані спокою, в умовах змін зорової аферентації та при рухах верхньої кінцівки (Руднева, & Сливко, 2000; Дрегваль, Кофан, Ляшенко, & Мурзин, 1999; Богуцкая, 2009). Була також продемонстрована наявність довготривалої гомосинаптичної постактиваційної депресії (ГПАД) Н-рефлексу людини в стані спокою при парній стимуляції великогомілкового нерва (*n. tibialis*) (Сливко, & Руднева, 1998). Однак при цьому вплив м'язового стомлення на реалізацію гальмівних процесів, які модулювали амплітудні показники Н-рефлексу, не був досліджений.

Доведено, що пластичність нервової та м'язової систем організму людини базується на можливості різноманітних змін структурно-функційної та метаболічної організації під впливом різних факторів (Костюк, 2001); ця властивість задіяна у виникненні та закріпленні біологічно корисних змін (Wolpaw, & Tennissen, 2001; Tahayori, & Koseja, 2012). Відомо, наприклад, що під впливом тривалого фізичного навантаження в організмі людини відбуваються морфофункційні зміни, що забезпечують розширення його функційних можливостей, збільшення працездатності (Андриянова, & Ланская, 2014). Отже, доцільним є визначення особливостей пригнічення найпростішої моторної рефлекторної реакції (Н-рефлексу) під впливом стомлення у осіб різного рівня тренуваності. Є відомості про те, що електроміографічні показники у спортсменів, спеціалізованих щодо різних видів спорту, дещо відмінні (Ozmerdivenli, Bulut, Urat, & Ayar, 2002; Ceballos-Villegas et al., 2017). Слід, проте, визнати, що статеві та вікові особливості цих показників залишаються недостатньо вивченими. Тим часом, зміни параметрів Н-рефлексу під впливом адаптації до фізичного навантаження, а також статеві та вікові відмінності показників Н-рефлексометрії, що відображають особливості функційного стану нервово-м'язового апарата, можуть надати цінну інформацію щодо механізмів пластичності нервової та м'язової систем.

Це дало підстави вважати доцільним детальне дослідження змін амплітуди Н-рефлексу камбалоподібного м'яза людини після закінчення довільного скорочення триголового м'яза гомілки, що викликає стомлення цього м'яза. Можна також прогнозувати, що м'язове стомлення буде впливати на розвиток сегментарного гальмування в умовах кондиціонування Н-рефлексу стимуляцією іпсилатерального загального малогомілкового нерва, а також на розвиток гомосинаптичної постактиваційної депресії в умовах парної стимуляції великогомілкового нерва. Уявлялося також доцільним встановити відмінності параметрів Н-рефлексу в групах осіб різного віку та статі, а також різного рівня адаптації тестованих осіб до фізичного навантаження.

Зв'язок роботи з науковими планами, програмами, темами. Дисертаційна робота «Модуляційні впливи на Н-рефлекс у фізично нетренованих та тренуваних людей» виконувалась відповідно до загального плану науково-дослідних робіт відділу фізіології рухів Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України за темою «Дослідження центральних та периферичних механізмів рухового контролю у ссавців» (наукова робота № III-10-19, номер державної реєстрації 0118U007349), а також в рамках науково-дослідних проєктів Науково-дослідного інституту Національного університету фізичного виховання і спорту України за темами:

«Критерії оцінки функціонального потенціалу спортсменів високого класу» (2014-2016 рр., номер державної реєстрації 0114U001482), «Технологія прогнозування емоційного стресу в умовах напруженої діяльності» (2017-2018 рр., номер державної реєстрації 0117U002385), «Технологія оцінки ризику травматизму спортсменів за електронейроміографічними та психофізіологічними показниками» (2019-2020 рр., номер державної реєстрації 0119U000307).

Мета і завдання дослідження. Встановити характеристики та ймовірні фізіологічні механізми змін Н-рефлексу, відведеного від камбалоподібного м'яза людини, що обумовлені розвитком стомлення триголового м'яза гомілки, у фізично нетренованих та тренуваних осіб.

Для досягнення мети було поставлено такі **завдання**:

1. Виявити особливості обумовленої м'язовим стомленням модуляції Н-рефлексу у фізично нетренованих та тренуваних осіб.
2. Встановити особливості обумовленої м'язовим стомленням модуляції Н-рефлексу в умовах гомосинаптичної постактиваційної депресії при парній стимуляції нерва до м'язів-агоністів (великогомілкового нерва, *n. tibialis*) у фізично нетренованих та тренуваних осіб.
3. Визначити особливості обумовленої м'язовим стомленням модуляції Н-рефлексу в умовах сегментарного гальмування від Ia-аферентів нерва до м'язів-антагоністів при попередній стимуляції загального малогомілкового нерва, *n. peroneus communis*, у фізично нетренованих осіб.
4. Провести порівняльний аналіз параметрів Н-рефлексу у тренуваних осіб різного віку та статі та виявити їх можливий зв'язок з антропометричними параметрами досліджуваних.

Об'єкт дослідження: нейрофізіологічні механізми, що забезпечують гальмування Н-рефлексу у спинному мозку людини в умовах м'язового стомлення.

Предмет дослідження: зміни Н-рефлексу камбалоподібного м'яза у фізично нетренованих та тренуваних людей в умовах м'язового стомлення.

Методи дослідження: електрофізіологічний (реєстрація Н-рефлексу камбалоподібного м'яза в стані спокою та в умовах скорочення триголового м'яза гомілки, яке зумовлює стомлення цього м'яза, кондиціонування даного рефлексу при різних комбінаціях подразнень аферентних входів), антропометричні вимірювання, статистичний аналіз.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше отримані детальні кількісні характеристики змін Н-рефлексу *m. soleus* людини в умовах розвитку стомлення *m. triceps surae* після його довготривалого довільного скорочення; встановлено, що динаміка відновлення Н-рефлексу має двофазний характер та істотно відрізняється у осіб з різним рівнем тренуваності. Вперше виявлено, що пригнічення Н-рефлексу внаслідок поєднання ефектів м'язового стомлення та гомосинаптичної постактиваційної депресії більше виражене у нетренованих осіб в порівнянні з тренуваними, що може вказувати на менший ступінь втоми-залежного накопичення метаболітів в м'язовій тканині у тренуваних осіб. Вперше виявлено, що нервові шляхи сегментарного гальмування Н-рефлексу *m. soleus* від Ia-аферентів нерву до м'язів-антагоністів (*n. peroneus communis*) переважно не перекриваються зі шляхами впливу м'язового стомлення. Вперше продемонстрована наявність вікових

та статевих відмінностей параметрів Н-рефлексу у тренованих осіб; ці особливості можуть бути пов'язані з відповідними відмінностями антропометричних параметрів. Суттєво розширені уявлення про відмінності відновлення сегментарних рефлекторних реакцій після м'язового стомлення у тренованих та нетренованих осіб; встановлені межі референтних значень амплітуд Н-рефлексу та М-хвилі у різних статевих та вікових групах.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані дані щодо особливостей модуляції Н-рефлексу камбалоподібного м'яза людини, обумовленої м'язовим стомленням, сприяють поглибленню уявлень про нейрофізіологічні механізми м'язового стомлення на сегментарному рівні спинного мозку. Врахування виявлених у дисертаційному дослідженні особливостей показників Н-рефлексу сприятиме підвищенню діагностичної цінності методів оцінки функційного стану нервово-м'язового апарату осіб різного віку та статі, а також рівня тренованості спортсменів. Результати дослідження можуть бути використані у галузях спортивної медицини, фізіології праці, а також при викладанні курсу фізіології для студентів біологічних та медичних спеціальностей.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто підібрана та проаналізована наукова література, виконано дослідження, проведено аналіз та інтерпретацію одержаних результатів. Формулювання мети та постановка завдань дослідження, обговорення отриманих результатів та формулювання висновків проводилось за безпосередньої участі наукового керівника д.б.н., проф. О.І. Костюкова, д.б.н., проф. Д.А. Василенка (Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України). Підготовка апаратури для дослідження та статистичний аналіз результатів були проведені разом із співробітниками відділу фізіології рухів Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України к.б.н., с.н.с. А.В. Горковенко, пров.інж. Корнєєвим В.В. Д.б.н., проф. Е.І. Сливко, д.б.н., проф. О.М. Лисенко, к.б.н. А.В. Горковенко є співавторами спільних статей та тез.

Апробація результатів дослідження. Основні положення дисертаційної роботи були представлені на Всеукраїнській науковій конференції «Сучасні питання фізіології та медицини» (Дніпропетровськ, Україна, 2007), XVIII З'їзді Українського фізіологічного товариства (Одеса, Україна, 20-22 травня 2010), Міжнародній науковій конференції КНУ ім. Тараса Шевченка «Психофізіологічні та вісцеральні функції в нормі і патології» (Київ, Україна, 2017), Міжнародній науково-практичній конференції Київського університету ім. Бориса Грінченка «Здоров'я, фізичне виховання і спорт: перспективи та кращі практики» (Київ, Україна, 15 травня 2018) та міжнародних конгресах нейронаук (Society for Neuroscience, San Diego, CA, USA, 2018 та Chicago, IL, USA, 2019).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи викладені в тринадцяти наукових публікаціях, з яких сім статей у наукових фахових журналах, що рекомендовані МОН України, та шість тез доповідей на конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, в яких представлені огляд літератури, матеріали та методи досліджень, результати досліджень та їх обговорення й узагальнення; а також із висновків та списку використаних літературних джерел, який нараховує 210 посилань. Робота викладена на 155 сторінках, містить 24 рисунка та 7 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

У першому розділі дисертації представлений огляд сучасної літератури, що освітлює існуючі наукові уявлення про нейрофізіологічні механізми стомлення у нервовій та м'язовій системах організму людини. Цей розділ складається з чотирьох частин. Перша з них містить відомості щодо управління рухом та позою у нервово-м'язовій системі людини. У другій частині проаналізовано літературні дані про збуджуючі та гальмівні нейрофізіологічні процеси, що відбуваються в нервово-м'язовій системі організму людини. У третій частині наведені відомості про нейрофізіологічні процеси, що відбуваються в нервово-м'язовій системі організму людини під час фізичного навантаження та стомлення. У четвертій частині детально розглянутий Н-рефлекс як інструмент дослідження функційного стану сегментарного нейронного апарата спинного мозку та супрасегментарних структур нервової системи.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження було проведено на 85 здорових випробуваних обох статей, віком від 16 до 34 років, без неврологічних захворювань в анамнезі і ознак неврологічної патології на момент обстеження. Тестування виконували відповідно до міжнародних етичних норм, прийнятих при проведенні біологічних досліджень на людині. Всі учасники були ознайомлені з процедурою тестів і дали інформовану згоду.

У першій-третьій серіях досліджень випробувані особи виконували зусилля, що викликало м'язове стомлення. Випробуваний перебував у положенні сидячи, поставивши праву ступню на жорстко закріплену педаль. Вона з'єднувалася з тензометричним датчиком, який реєстрував зусилля, що розвивалося при спробі підшовного згинання ступні. Сигнали від датчика виводили на екран монітора для візуального контролю інтенсивності м'язового зусилля. Таким чином, скорочення *m. triceps surae* проходило в умовах, близьких до ізометричних. Спочатку визначали величину максимального зусилля, яке випробуваний міг розвивати при спробі довільного підшовного згинання ступні. Стомлення *m. triceps surae* обумовлювалося підтримкою довільного статичного скорочення з силою, рівною 75% максимальної, впродовж 6-9 хв до появи у обстежуваного об'єктивних ознак втоми (нездатність підтримувати необхідний стабільний рівень зусилля, тремор досліджуваного м'яза).

Використовували загальноприйняту методику відведення Н-рефлексу камбалоподібного м'яза нижньої кінцівки. Н-рефлекс викликали черезшкірною стимуляцією *n. tibialis* у підколінній ямці (поодиноким імпульсом тривалістю 1 мс). Для електроміографічного (ЕМГ) відведення Н-рефлекса та М-хвилі (прямої відповіді м'яза на подразнення моторних волокон нерва) від *m. soleus* використовували пару стандартних поверхневих електродів площею по 0,8 см², відстань між центрами яких дорівнювала 20 мм. Силу стимуляції підбирали таким чином, щоб отримати Н-рефлекс з амплітудою близько 75% від максимальної.

ЕМГ-сигнали підсилювали (ширина полоси пропускання підсилювача 10 Гц – 2 кГц) и оцифровували з використанням плати аналогово-цифрового перетворення

PCI 6071E (“National Instruments”, США) з 16–бітною розподільною здатністю при частоті дискретизації $5 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. В дослідженнях використовували пакети програм Labview 6 та Origin 8.5.

У першій серії досліджень брав участь 21 обстежуваний обох статей віком від 18 до 34 років (11 фізично нетренованих, середній вік $27,4 \pm 1,9$ років та 10 фізично тренованих осіб, кандидатів в майстри спорту з легкої атлетики, середній вік $21,7 \pm 0,7$ років). Проводили стимуляцію *n. tibialis* поодинокими електричними стимулами тривалістю 1 мс, а реєстрацію Н-рефлексу проводили у вихідному стані (до розвитку зусилля, що стомлює м'яз), безпосередньо після закінчення цього зусилля (0 с), через 45, 90, 135 с, а також через 5, 10, 20 і 30 хв після його закінчення.

У другій серії досліджень брали участь 20 обстежуваних обох статей віком від 18 до 34 років (10 фізично нетренованих, середній вік $25,3 \pm 1,6$ років та 10 фізично тренованих осіб, кваліфікованих спортсменів, кандидатів в майстри спорту з легкої атлетики, середній вік $20,5 \pm 0,5$ років). Проводили стимуляцію *n. tibialis* парними електричними стимулами тривалістю 1,0 мс з міжстимульним інтервалом 500 мс для отримання тестового та кондиційованого Н-рефлексів (відповіді на перший та другий стимул в парі, відповідно). Реєстрацію Н-рефлексу проводили у вихідному стані (до розвитку зусилля, що стомлює м'яз), безпосередньо після періоду цього зусилля (0 с), через 45, 90, 135, а також через 5 та 10 хв після його закінчення.

У третій серії досліджень брали участь 10 фізично нетренованих обстежуваних обох статей віком від 18 до 34 років, середній вік $26,7 \pm 1,8$ років. Проводили стимуляцію *n. tibialis* поодинокими електричними стимулами тривалістю 1,0 мс для отримання тестового Н-рефлексу, а також стимуляцію *n. peroneus communis* (точка стимуляції *n. peroneus communis* у підколінній ямці розташовувалася латерально щодо точки стимуляції *n. tibialis*) для отримання кондиційованого Н-рефлексу. При проведенні стимуляції малогомілкового нерва, що кондиціювала Н-рефлекс камбалоподібного м'яза, використовували інтенсивність подразнення, що відповідала 1,7-1,8 порогу збудження рухових волокон *n. peroneus communis* (тобто такої, що викликала перше візуально помітне скорочення переднього великогомілкового м'яза – *m. tibialis anterior*). Чергували два модуси подразнення – стимуляцію *n. tibialis* (з реєстрацією тестового Н-рефлексу) або стимуляцію *n. peroneus communis* та наступну стимуляцію *n. tibialis* з міжстимульним інтервалом 15 мс (з реєстрацією кондиційованого Н-рефлексу). Реєстрацію Н-відповідей проводили у вихідному стані, до розвитку зусилля, що викликало стомлення м'яза, безпосередньо після періоду цього зусилля (0 с), через 90 с, а також через 5, 10, 20 і 30 хв після його закінчення.

У перших трьох серіях досліджень для отримання середнього значення Н-рефлексу у відповідному стані усереднювали відповіді на 10-12 стимулів (в періоді 0-135 с включно – відповіді на 3 стимули), що подавалися з інтервалом близько 15 с. Амплітуди Н-відповідей нормували для кожного тестованого, розраховуючи у відсотках відносно індивідуальних показників у стані спокою.

У четвертій серії досліджень брали участь 44 випробуваних обох статей (22 чоловіка та 22 жінки), у віці від 16 до 30 років (середній вік $20,5 \pm 0,6$ років). Обстежувані мали високий рівень тренованості до фізичного навантаження

(кваліфіковані спортсмени-біатлоністи, кандидати в майстри спорту, майстри спорту, майстри спорту міжнародного класу). Під час дослідження випробуваний перебував у стані спокою, у положенні лежачи на животі, ступні вільно звисали з кушетки. Н-рефлекс викликали черезшкірною стимуляцією *n. tibialis* у підколінній ямці (поодиноким імпульсом тривалістю 1,0 мс). Реєстрацію ЕМГ-сигналів та стимуляцію *n. tibialis* проводили за допомогою нейродіагностичного комплексу Nicolet Biomedical Viking Select (Viasys Healthcare, США-Німеччина). Аналізували наступні електроміографічні параметри: порогові значення сили стимулюючого струму, необхідні для виникнення мінімальних Н- та М-відповідей (ПН і ПМ) та значення амплітуд максимальних Н- та М-відповідей (АН і АМ). Отримували показники для правої та лівої кінцівок та усереднювали для кожної групи тестованих. Для отримання середнього значення параметру, що відповідає певному стану, усереднювали відповіді на 3-5 стимулів. Проводили також антропометричні вимірювання, отримуючи індивідуальні показники зросту, маси та індексу маси тіла, та усереднювали їх для кожної групи тестованих.

Статистичний аналіз даних проводили за допомогою програм Origin 8.5 та SPSS Statistics 17.0.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Зміни Н-рефлексу камбалоподібного м'яза (*m. soleus*), обумовлені стомленням, викликаним тривалим довільним скороченням триголового м'яза гомілки (*m. triceps surae*), у фізично нетренованих та тренуваних осіб.

Аналіз отриманих даних показав, що в обох групах обстежуваних осіб (нетренованих, НТ та тренуваних, Т до фізичного навантаження, $n=11$ та $n=10$, відповідно) середня амплітуда Н-рефлексу знижувалася після періоду розвитку зусилля, що стомлює м'яз, в порівнянні з такою у початковому (контрольному) стані; надалі цей параметр поступово повертався до початкового рівня (рис. 1, 2А). У групі НТ амплітуда Н-відповіді безпосередньо після періоду стомлюючого зусилля дорівнювала приблизно 60%, а в групі Т – приблизно 85% від вихідної.

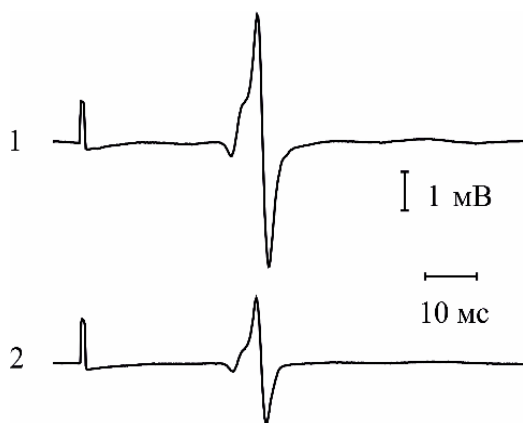


Рис. 1. Репрезентативні реєстрації Н-рефлексу в контролі (1) та одразу після припинення стомлюючого зусилля (2).

Проводили апроксимацію залежності амплітуди Н-рефлексу від часу в інтервалі від 0 с до 30 хв після закінчення періоду зусилля, що стомлювало м'яз. Як виявилося, таку залежність найкращим чином можна представити двофазною експоненціальною функцією (рис. 2Б). Для групи НТ можна виділити дві фази

відновлення амплітуди до початкового рівня: першу, «швидку» фазу (постійна часу: 67 с), тривалістю близько 200 с, і другу, «повільну» фазу (постійна часу: 2325 с), тривалість якої, оцінена методом екстраполяції, складає близько 2 год. У групі Т амплітуда Н-рефлексу досягала відмітки 100% вихідної вже в межах першої фази (постійна часу: 104 с), приблизно через 100 с.

Таким чином, на відміну від групи НТ, у групі Т пригнічення Н-рефлексу під впливом стомлення було меншим і за амплітудою, і за часом. Перша фаза характеризувалася меншою глибиною і тривалістю, а друга фаза була практично відсутньою (рис. 2).

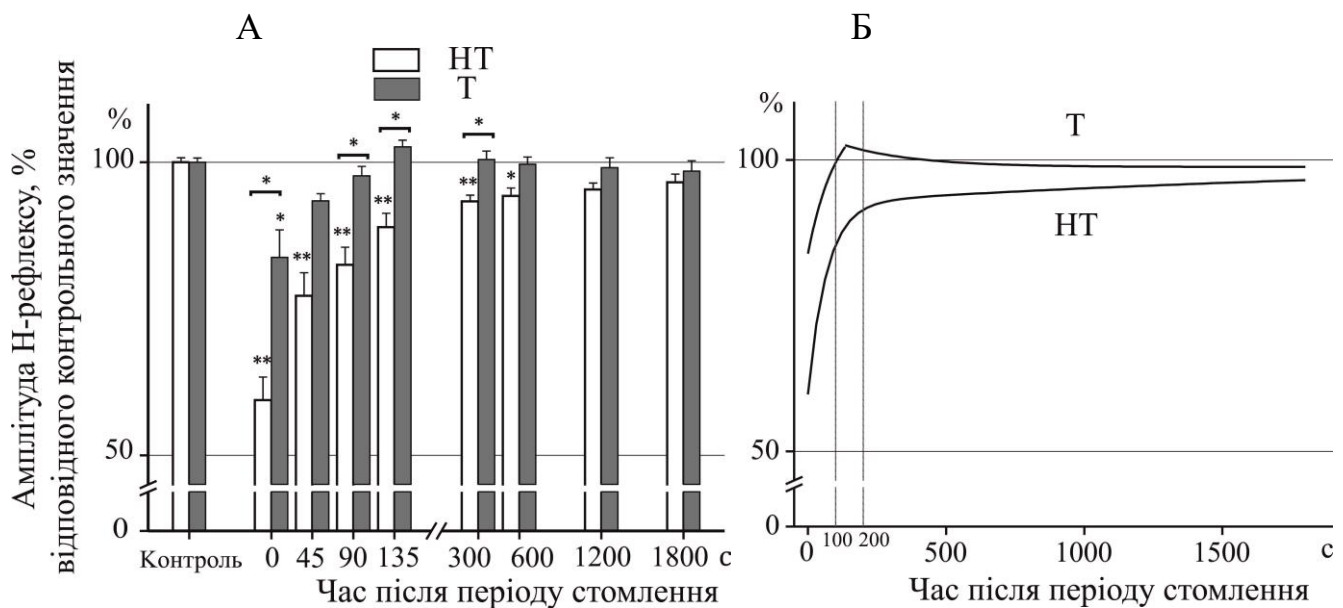


Рис. 2. Зміни амплітуди Н-рефлексу *m. soleus* після м'язового стомлення.

А. Діаграма нормованих значень амплітуди Н-рефлексу до та після періоду зусилля, що стомлює м'яз. Статистична значущість різниць: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ у порівнянні зі значеннями у контролі (до стомлення) або при порівнянні поточних значень Н-рефлексу в групах НТ та Т (зірочки з дужкою).

Б. Апроксимація залежності амплітуди Н-рефлексу від часу в межах періоду відновлення.

Для оцінки впливу умов тесту на досліджувані показники (амплітуду Н-відповіді) проводили двофакторний дисперсійний аналіз з повторними вибірками (внутрішньогруповий фактор $F1$ – час реєстрації, що відображав вплив стомлення, міжгруповий фактор $F2$ – тренуваність). Було виявлено, що стомлення статистично значущо впливало на вищевказані показники ($F1=7,031$, $p=0,000$); тренуваність також значущо впливала на ці показники ($F2=35,007$, $p=0,000$). Взаємодія факторів стомлення та тренуваності була близька до статистично значущої ($F1 \cdot F2=1,590$, $p=0,057$).

Зміни Н-рефлексу камбалоподібного м'яза, кондиційованого парною стимуляцією нерва до м'язів-агоністів (великогомілкового нерва, *n.tibialis*), в умовах стомлення, обумовленого тривалим довільним скороченням триголового м'яза гомілки, у фізично нетренованих та тренуваних осіб.

Було проведено детальне дослідження впливу парної стимуляції *n. tibialis* (міжстимульний інтервал 500 мс) на динаміку Н-рефлексу *m. soleus* людини в стані спокою та після тривалого довільного стомлюючого скорочення цього м'яза в групах НТ та Т ($n=10$ та $n=10$, відповідно) (рис. 3). Як відомо, такий протокол стимуляції виявляє феномен гомосинаптичної депресії, що розвивається після першого стимула в синапсах первинних аферентів на мотонейронах тестованого м'яза. У стані спокою, до періоду розвитку зусилля, що стомлювало м'яз, амплітуда кондиційованого Н-рефлексу в середньому по групі становила $44,0 \pm 2,1$ % (mean \pm s.e.m.) амплітуди тестового Н-рефлексу в групі НТ та $48,5 \pm 2,7$ % в групі Т, тобто гомосинаптична постактиваційна депресія у стані спокою викликала пригнічення Н-рефлексу *m. soleus* приблизно на 56% та на 51% в групах НТ та Т, відповідно. Після періоду розвитку зусилля, що стомлювало м'яз, амплітуда як тестового, так і кондиційованого Н-рефлексу знижувалася у порівнянні з відповідним показником у вихідному стані, а надалі поступово поверталася до початкового рівня (рис.4).

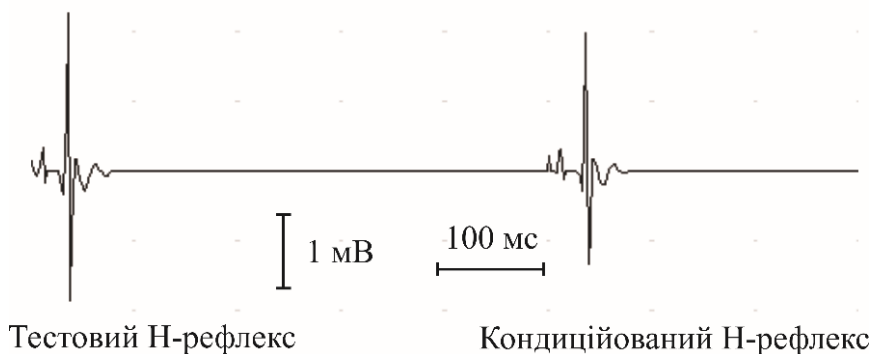


Рис. 3.
Репрезентативні реєстрації
Н-рефлексу в умовах
парної стимуляції
n. tibialis.

Для того, щоб оцінити гальмівні впливи стомлення та ГПАД на Н-рефлекс *m. soleus*, амплітуди як тестового, так і кондиційованого Н-рефлексу були нормовані (%) щодо контрольної амплітуди тест-Н-рефлексу в стані спокою, до періоду розвитку зусилля, що стомлювало м'яз (рис. 4). Для оцінки впливу умов тесту на досліджувані показники (амплітуду тестової та кондиційованої Н-відповіді) проводили трифакторний дисперсійний аналіз з повторними вибірками (внутрішньогруповий фактор $F1$ – час реєстрації, що відображав вплив стомлення, внутрішньогруповий фактор $F2$ – кондиціонування, що відображав вплив ГПАД, міжгруповий фактор $F3$ – тренуваність).

Було виявлено, що як стомлення, так і ГПАД статистично значущо впливали на вказані показники ($F1=55,705$, $p=0,000$; $F2=261,232$, $p=0,000$). Взаємодія факторів часу та кондиціонування була також статистично значущою ($F1 \cdot F2=88,111$, $p=0,000$). Значення міжгрупового фактора $F3=1,736$, $p=0,195$, тобто тренуваність не мала

статистично значущого впливу на досліджувані показники, хоча взаємодія факторів часу та тренуваності, а також часу, кондиціювання та тренуваності були статистично значущими ($F1 \cdot F3 = 791,723$, $p = 0,026$; $F1 \cdot F2 \cdot F3 = 1186,791$, $p = 0,008$).

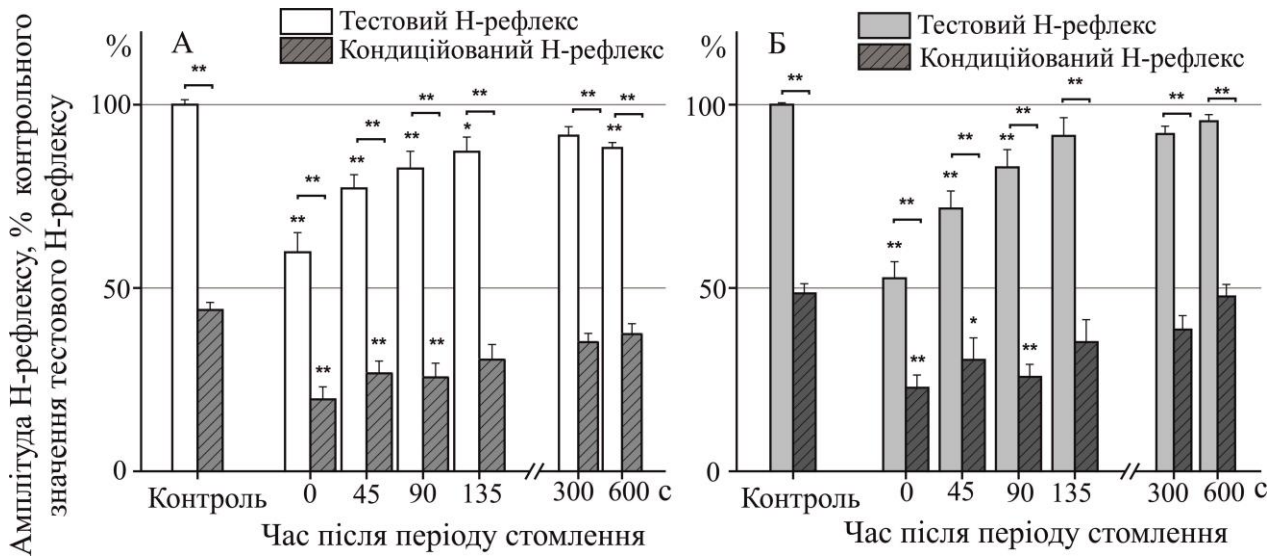


Рис. 4. Зміни амплітуд тестового та кондиційованого Н-рефлексів *m. soleus* в умовах парної стимуляції *n. tibialis* після м'язового стомлення.

А і Б – в групах НТ та Т, відповідно. Статистична значущість різниць: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ у порівнянні зі значеннями тест-Н-рефлексу у контролі (до стомлення) або при порівнянні поточних значень Н-рефлексу в групах НТ та Т (зірочки з дужкою).

Для оцінки ступеня гальмування Н-рефлексу під впливом ГПАД обчислювали коефіцієнт інтенсивності такого гальмування, $K_i = (H_T - H_K) / H_T$, де H_T і H_K – значення амплітуд тестового і кондиційованого Н-рефлексів, відповідно. Показники K_i в різні моменти часу нормували щодо його контрольного значення в стані спокою (рис. 5).

Проводили двофакторний дисперсійний аналіз з повторними вибірками (внутрішньогруповий фактор $F1$ – час реєстрації; міжгруповий фактор $F2$ – тренуваність). Як виявилось, інтенсивність гальмування під впливом ГПАД статистично значуще змінювалася у часі ($F1 = 2,738$, $p = 0,001$). Значення міжгрупового фактора $F2 = 2,805$, $p = 0,103$, тобто тренуваність не мала значущого впливу на інтенсивність ГПАД, проте взаємодія факторів часу та тренуваності була статистично значущою ($F1 \cdot F2 = 1,976$, $p = 0,025$). Отже, інтенсивність гальмування Н-рефлексу під впливом ГПАД мала тенденцію до зростання після зусилля, що стомлювало м'яз, а потім поверталася до вихідних значень. Різниця значень K_i через 90 с після періоду стомлення відносно контрольного показника була статистично значущою у групі НТ ($p = 0,020$) та близькою до значущості у групі Т ($p = 0,087$) за критерієм Dunnett. Окрім цього, безпосередньо після закінчення періоду стомлюючого зусилля величина K_i в групі НТ була статистично значуще більше, ніж у тренуваних ($p < 0,05$).

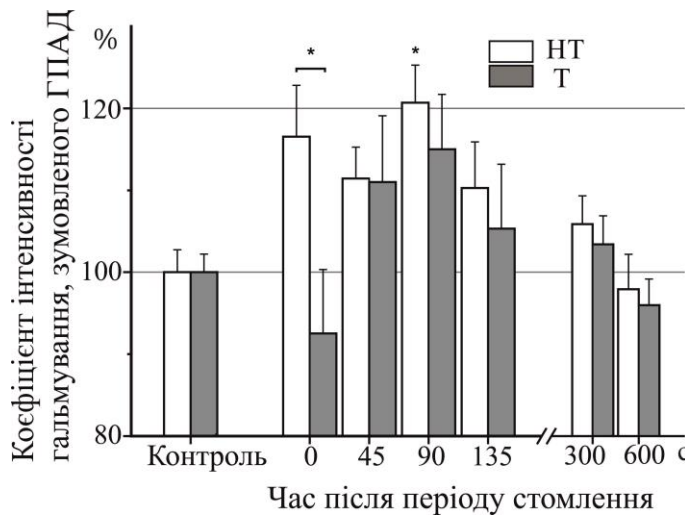


Рис. 5. Зміни коефіцієнту інтенсивності гальмування Н-рефлексу *m.soleus*, обумовленого гомосинаптичною постактиваційною депресією, в умовах стомлення.

Статистична значущість різниць: * $p < 0,05$ у порівнянні з відповідним значенням K_i у контролі (до стомлення) або поточних значень K_i в групах NT та T.

Зміни сегментарного гальмування Н-рефлексу камбалоподібного м'яза людини, обумовленого стимуляцією нерва до м'язів-антагоністів (іпсилатерального малогомілкового нерва, *n. peroneus communis*) в умовах стомлення, викликаного тривалим довільним скороченням триголового м'яза гомілки, у фізично нетренованих осіб.

Було досліджено динаміку величини Н-рефлексу *m.soleus* людини в стані спокою та після стомлюючого зусилля, розвинутого цим м'язом, в умовах розвитку сегментарного гальмування цього рефлексу. Таке гальмування викликалося стимуляцією іпсилатерального *n. peroneus communis*, тобто нерва до м'язів-антагоністів (рис. 6), в групі NT ($n=10$).

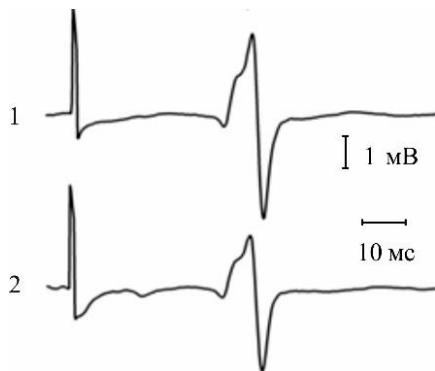


Рис. 6. Репрезентативні реєстрації Н-рефлексу при стимуляції *n. tibialis* (1) та при попередній стимуляції *n. peroneus communis* та стимуляції *n. tibialis* (2).

У стані спокою, до періоду розвитку зусилля, що стомлювало м'яз, амплітуда кондиційованою такою стимуляцією Н-рефлексу в середньому становила $75,6 \pm 1,3\%$ амплітуди тестового Н-рефлексу, тобто стимуляція *n. peroneus communis*, яка передувала стимуляції *n. tibialis*, викликала гальмування Н-рефлексу приблизно на 24%. Після періоду розвитку зусилля, що стомлювало м'яз, амплітуда як тестового, так і кондиційованого Н-рефлексу знижувалася в порівнянні з відповідним показником у вихідному стані, а надалі поступово поверталася до початкового рівня (рис. 7А). Амплітуда тест-Н-рефлексу знижувалася в середньому по групі до $65,4 \pm 4,0\%$ вихідної ($p < 0,01$), а середня амплітуда кондиційованого Н-рефлексу – до $48,2 \pm 4,5\%$ контрольованого значення тест-Н-рефлексу.

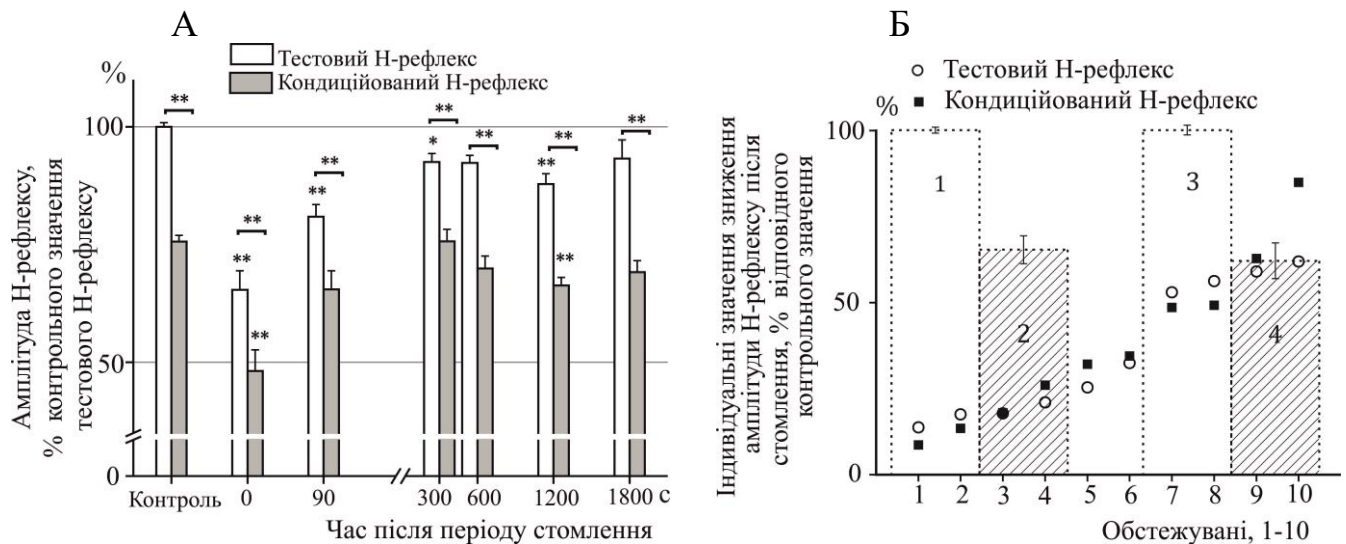


Рис. 7.А. Зміни амплітуд тестового Н-рефлексу *m. soleus* та Н-рефлексу, кондиційованого стимуляцією *n. peroneus communis*, після м'язового стомлення.

Показники (амплітуди Н-рефлексу) нормовані, %, щодо контрольного показника тестового Н-рефлексу. Статистична значущість різниць: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ у порівнянні зі значеннями тест-Н-рефлексу у контролі (до стомлення) або при порівнянні поточних значень Н-рефлексу в групах НТ та Т (зірочки з дужкою).

Рис. 7.Б. Пригнічення тестового та кондиційованого Н-рефлексу безпосередньо після довготривалого зусилля, що стомлювало м'яз.

Індивідуальні (кружки та квадрати) та середні по групі (стовпчики) показники (амплітуди Н-рефлексу, нормовані, %, щодо відповідного контрольного показника). 1, 2 – тестовий Н-рефлекс, 3, 4 – кондиційований Н-рефлекс. 1, 3 – контроль, 2, 4 – безпосередньо після стомлення.

Для того, щоб оцінити гальмівні впливи стомлення та стимуляції малогомілкового нерва на Н-рефлекс *m. soleus*, амплітуди як тестового, так і кондиційованого Н-рефлексу були нормовані (%) щодо контрольної амплітуди тестового Н-рефлексу в стані спокою, до періоду розвитку зусилля, що стомлювало м'яз (рис. 7А). Результати двофакторного дисперсійного аналізу з повторними виборками (внутрішньогруповий фактор $F1$ – час реєстрації, що відображав вплив стомлення, внутрішньогруповий фактор $F2$ – кондиціонування, що відображав вплив стимуляції *n. peroneus communis*) показали, що стомлення статистично значущо впливало на вищевказані показники ($F1=15,634$, $p=0,000$), кондиціонування також мало значущий вплив ($F2=306,586$, $p=0,000$). Взаємодія факторів стомлення та кондиціонування була також статистично значущою ($F1 \cdot F2=2,237$, $p=0,016$).

Динаміка амплітуд тестового і загальмованого Н-рефлексу виявилася подібною. Зменшення амплітуди кондиційованого Н-рефлексу протягом всього періоду відновлення після стомлення було пропорційним зменшенню тестового Н-рефлексу (в середньому по групі); зменшення ж амплітуди кондиційованого Н-рефлексу безпосередньо після періоду розвитку зусилля, що стомлювало м'яз, було пропорційним зменшенню тестового Н-рефлексу як для середніх по групі, так і для індивідуальних показників (рис. 7Б).

Статеві та вікові особливості параметрів Н-рефлексометрії камбалоподібного м'яза та антропометричних показників у тренуваних осіб з високим рівнем адаптації до фізичного навантаження.

У групі здорових тренуваних людей (44 особи, кваліфіковані спортсмени) досліджували залежні від віку та статі особливості параметрів Н-рефлексометрії *m.soleus*. Аналізували наступні параметри: пороги виникнення Н- та М-відповідей (ПН та ПМ), амплітуди максимальних Н- та М-відповідей (АН та АМ). Для оцінки залежності досліджуваних величин від статі та віку учасників з урахуванням сторони тіла, на якій відводили ЕМГ-сигнали, використовували трифакторний дисперсійний аналіз. При цьому міжгруповими факторами виступали стать (дві категорії – жінки та чоловіки) і вік (дві категорії – юніори та дорослі). До груп юніорів були віднесені спортсмени віком 16–19 років, а до дорослих – жінки 20–28 років та чоловіки 20–30 років. Згідно з такими принципами поділу були сформовані чотири обстежені групи – юніори та дорослі жінки та чоловіки; кожна з груп складалася з 11 осіб. Фактор сторони відведення був внутрішньогруповим і мав два рівні – ліва та права кінцівки відповідно. За рівень статистичної значущості при міжгрупових порівняннях приймали $p < 0,05$.

Аналіз отриманих даних показав, що загалом в групі обстежуваних осіб ЕМГ-параметри знаходилися в межах норми, що корелювало з суб'єктивними відчуттями – відсутністю болю та рухових обмежень. Трифакторний дисперсійний аналіз не виявив значущої залежності величин усіх вимірюваних показників від сторони відведення Н-рефлексу. Отже, нижче наведені результати двофакторного дисперсійного аналізу, в якому факторами виступають лише стать і вік (табл. 1).

Таблиця 1.

Статистичний аналіз за параметрами Н-рефлексометрії.

Параметр	Фактори					
	Стать		Вік		Стать × Вік	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
ПН	33,320	0,000**	0,225	0,637	0,510	0,477
АН	14,298	0,000**	0,887	0,349	2,220	0,140
ПМ	27,244	0,000**	1,518	0,221	0,835	0,363
АМ	25,083	0,000**	15,412	0,000**	5,587	0,021*

Примітка: статистична значущість впливу факторів * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

На величини порогів виникнення Н- та М- відповідей статистично значущо впливав лише фактор статі; у жінок середні значення даного параметра були більшими. Фактор віку в даному разі не був статистично значущим; не була значущою і взаємодія факторів статі та віку (рис. 8А, 8Б). За результатами оцінки амплітуди Н-рефлексу, на даний параметр статистично значущо впливав лише фактор статі; у жінок середні значення даного параметра були меншими. Фактор віку, а також взаємодія факторів статі та віку не були статистично значущими (рис. 8В). Оцінки амплітуди М-відповіді засвідчили, що статистично загалом даний показник був вищим у чоловіків, ніж у жінок, а також у дорослих спортсменів, ніж

у юніорів (рис. 8Г). Щодо амплітуди М-відповіді, взаємодія факторів статі та віку була також статистично значущою.

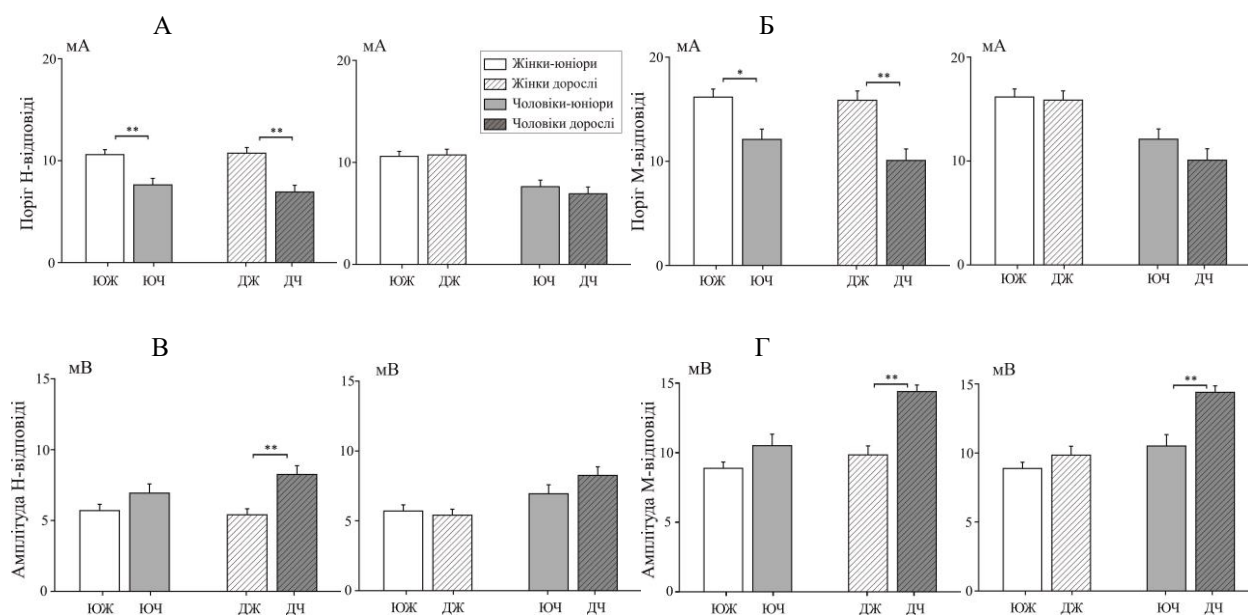


Рис. 8. Залежність параметрів Н-рефлексометрії від статі і віку тестованих.

А – поріг Н-відповіді, Б – поріг М-відповіді, В – амплітуда Н-відповіді, Г – амплітуда М-відповіді.

По вертикалі : А, Б – мА; В, Г – мВ. Групи: білі стовпчики – жінки-юніори, ЮЖ; сірі стовпчики – чоловіки-юніори, ЮЧ; білі заштриховані стовпчики – дорослі жінки, ДЖ; сірі заштриховані стовпчики – дорослі чоловіки, ДЧ. Статистична значущість різниць: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ при порівнянні поточних значень показників в різних групах тестованих осіб.

У тестованих спортсменів були отримані також антропометричні показники: зріст (м), маса тіла (кг) та індекс маси тіла (ІМТ), який розраховувався як відношення маси тіла до квадрата зросту (рис. 9). Для оцінки залежності досліджуваних антропометричних показників від статі та віку учасників використовували двофакторний дисперсійний аналіз. При цьому міжгруповими факторами виступали стать (дві категорії – жінки та чоловіки) і вік (дві категорії – юніори та дорослі). За рівень статистичної значущості при міжгрупових порівняннях приймали $p < 0,05$ (табл. 2). На величину зросту статистично значущо впливав лише фактор статі: у чоловіків середні значення даного параметра були більшими. Фактор віку в даному випадку не був значущим. На величину маси статистично значущо впливали фактор статі та віку: у чоловіків середні значення маси були більшими, ніж у жінок, а у дорослих спортсменів більшими, ніж у юніорів. На величину індексу маси тіла статистично значущо впливав лише фактор віку: у дорослих середні значення даного параметра були більшими, ніж у юніорів. Взаємодія факторів статі та віку в даному випадку для всіх антропометричних параметрів не була статистично значущою.

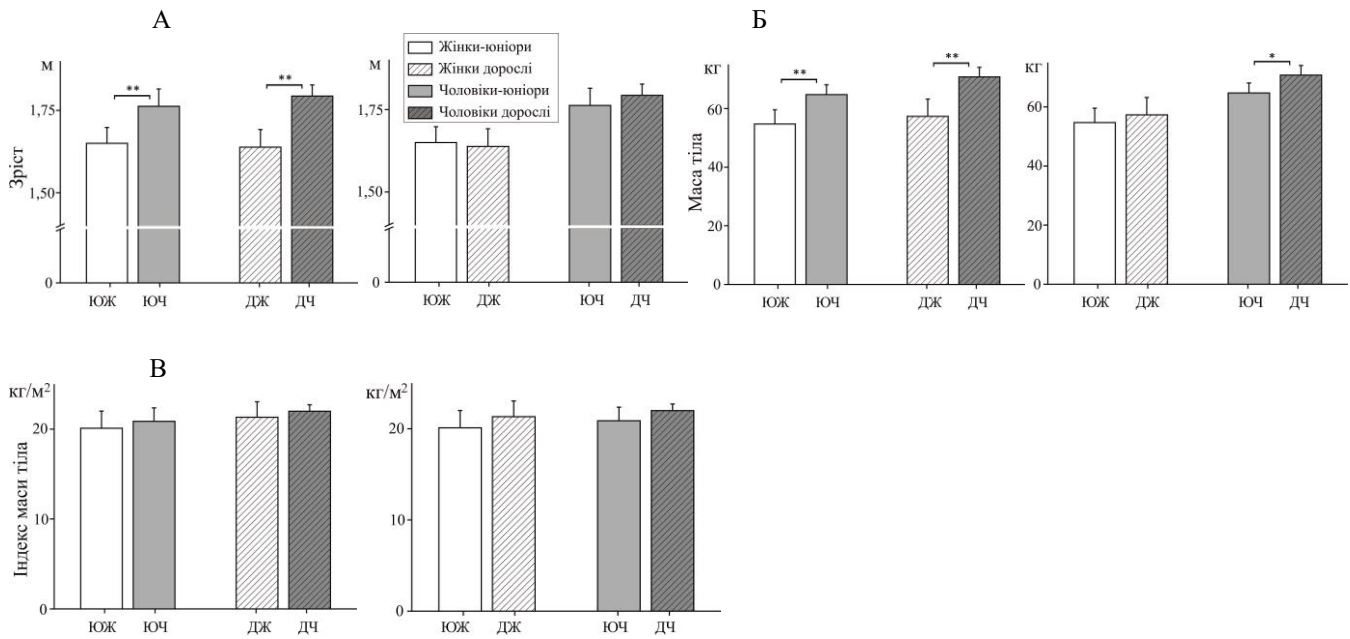


Рис. 9. Залежність антропометричних параметрів від статі і віку тестованих.

А – зріст, Б – маса тіла, В – індекс маси тіла.

По вертикалі : А – м, Б – кг; В – кг/м². Решта позначок аналогічна таким на рис.8. Статистична значущість різниць: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ при порівнянні поточних значень показників в різних групах тестованих осіб.

Таблиця 2.

Статистичний аналіз за антропометричними параметрами.

Параметр	Фактори					
	Стать		Вік		Стать × Вік	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Зріст	86,713	0,000**	0,439	0,511	2,201	0,146
Маса тіла	75,267	0,000**	10,144	0,003**	1,584	0,215
Індекс маси тіла	2,418	0,128	6,447	0,015*	0,013	0,911

Примітка: статистична значущість впливу факторів * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ми дослідили особливості модуляції Н-рефлексу *m. soleus* людини, обумовленої стомленням, викликаного довготривалим довільним скороченням *m. triceps surae*, у фізично нетренованих та тренуваних осіб. Отримані дані показали, що в обох групах випробуваних амплітуда Н-рефлексу знижувалася після періоду розвитку зусилля, що стомлювало м'яз, у порівнянні з такою у початковому (контрольному) стані, а надалі поступово поверталася до початкового рівня. У групі нетренованих осіб виділялися дві фази відновлення амплітуди до початкового рівня – перша, «швидка» тривалістю близько 200 с і друга, «повільна»; тривалість останньої, оцінена методом екстраполяції, складає близько 2 год. За нашими даними, через 5 хв величина Н-рефлексу досягала 93,3% вихідного значення.

Іншими авторами було показано, що через 5 хв після закінчення періоду активності, що призводила до м'язового стомлення, амплітуда Н-рефлексу, що відводиться від м'язів верхньої кінцівки людини, була дещо нижчою початкової, але близькою до неї (Duchateau, & Hainaut, 1993). За нашими результатами, через 30 хв значення амплітуди Н-рефлексу складало 96,6%, а тривалість повного відновлення оцінювалась як 2 год. Дослідження ж моносинаптичного рефлексу, проведені на тваринах, показали, що його амплітуда, що зменшувалась після м'язового стомлення і потім відновлювалась, наближалась до початкового значення через 60 хв після закінчення активації, що стомлювала м'яз (Kostyukov et al., 2005). Отже, отримані нами дані підтверджують та доповнюють результати попередніх досліджень.

Відомо, що м'язове стомлення супроводжується хімічними і фізичними змінами в м'язі, а саме накопиченням метаболітів (молочної кислоти, неорганічних фосфатів) і збільшенням внутрішньом'язового тиску. В свою чергу, за даними експериментів на тваринах, скорочення, що стомлювало м'яз, а також збільшення концентрації молочної кислоти у м'язі під час його скорочення призводять до зростання інтенсивності імпульсації в аферентних волокнах груп III та IV внаслідок активації високопорогових механорецепторів і метаборецепторів, представлених у м'язі вільними нервовими закінченнями аферентів груп III і IV (Sinoway, Hill, Pickar, & Kaufman, 1993; Darques, Decherchi, & Jammes, 1998). Показано також, що протягом стомлення, обумовленого електричною стимуляцією нерва, гальмування моносинаптичного рефлексу у тварин здійснювалося через аференти груп III та IV, чутливі до капсаїцину, на Ia аференти даного рефлексу пресинаптичним шляхом (Pettorossi, 1999). За літературними даними, м'язове стомлення, що було викликане прямою електричною стимуляцією м'яза, зумовлювало значну активацію аферентів груп III та IV, і ця активація зберігалася впродовж 3 хв після періоду стомлення (Decherchi, Darques, & Jammes, 1998). Приблизно такий час був потрібний у наших експериментах для "швидкої" фази відновлення амплітуди Н-рефлексу. Отже, можна припустити існування зв'язку між активацією аферентів груп III і IV і першою фазою пригнічення Н-рефлексу. Що ж до другої фази (тривалістю більше 30 хв), можна вважати, що вона пов'язана з поступовим вимиванням і нейтралізацією метаболітів, які накопичилися в м'язі в результаті стомлюючого скорочення.

На відміну від групи НТ, у групи осіб, тренуваних до фізичного навантаження (Т), пригнічення Н-рефлексу під впливом стомлення було меншим і за амплітудою, і за часом. За даними літератури, при виконанні тестового фізичного навантаження нижча концентрація іонів водню та лактату у м'язах та крові свідчить про вищий рівень тренуваності спортсмена (Запорожанов, 1988; Edge, 2006). Таким чином, можна припустити, що менш виражене пригнічення Н-рефлексу в групі Т пов'язане з меншим накопиченням і швидшою нейтралізацією метаболітів у людей, більш тренуваних до фізичного навантаження.

Парна стимуляція *n. tibialis* (міжстимульний інтервал 500 мс) в стані спокою та після тривалого довільного скорочення цього м'яза, що викликає її стомлення, дозволила виявити вплив гомосинаптичної постактиваційної депресії на динаміку Н-рефлексу *m. soleus* у фізично нетренованих та тренуваних осіб. Реєстрація Н-рефлексу, викликаного подразненням *n. tibialis* (стимуляцією другим імпульсом в

парі), показала, що Н-рефлекс камбалоподібного м'яза у стані спокою в таких умовах пригнічується приблизно на 56% у нетренованих та на 51% у тренуваних осіб. Після періоду розвитку зусилля, що стомлювало м'яз, амплітуда як тестового, так і кондиційованого (другого в парі) Н-рефлексу була зниженою у порівнянні з відповідним показником у вихідному стані, а надалі поступово поверталася до початкового рівня. Можна зауважити, що динаміка амплітуд тестового і кондиційованого (другого в парі) Н-рефлексу в групах НТ і Т виявилася загалом подібною. Це загалом узгоджується з результатами Racinais et al., що досліджували температурозалежні зміни відновлення Н-рефлексу камбалоподібного м'яза людини при збільшенні міжстимульних інтервалів в умовах розвитку ГПАД; автори виявили, що хоча амплітуда Н-рефлексу знижувалася під впливом підвищення температури середовища, час відновлення Н-рефлексу та співвідношення кондиційованого та тестового Н-рефлексу залишалися незмінними (Racinais et al., 2013). Слід, проте, підкреслити, що у групі Т амплітуда тестового Н-рефлексу вже через 135 с після закінчення періоду стомлюючого зусилля не демонструвала значущої різниці у порівнянні з контрольним показником. Амплітуда ж тестового Н-рефлексу у групі нетренованих осіб навіть через 10 хв після закінчення періоду стомлюючого зусилля ще не відновлювалася і була значуще меншою, ніж контрольне значення. Можна припустити, що це пов'язано з виснаженням запасів трансміттера сенсомоторної нервової передачі внаслідок повторної тривалої стимуляції під час тестування. Коефіцієнт інтенсивності гальмування Н-рефлексу (K_i) під впливом ГПАД щодо контрольного показника був статистично значущо більшим у групі НТ та близько до значущості більшим у групі Т через 90 с після періоду стомлення. Окрім цього, безпосередньо після закінчення періоду стомлюючого зусилля величина K_i у нетренованих осіб була значущо більшою, ніж у тренуваних. Подібні зміни вказують на те, що збільшення інтенсивності ГПАД після періоду розвитку стомлюючого зусилля більш виражене у нетренованих осіб порівняно із тренуваними.

Дослідження динаміки величини Н-рефлексу *m. soleus* після закінчення періоду розвитку стомлюючого зусилля в умовах розвитку сегментарного гальмування від Ia-аферентів нерва до м'язів-антагоністів (внаслідок стимуляції іпсилатерального *n. peroneus communis*, що передувала стимуляції *n. tibialis*) показало, що після згаданого зусилля амплітуда як тестового, так і кондиційованого Н-рефлексу знижувалася в порівнянні з відповідним показником у вихідному стані, а надалі поступово поверталася до початкового рівня. Міжстимульний інтервал 15 мс, який ми використовували у наших дослідженнях, за літературними даними, відповідає пресинаптичному гальмуванню, що діє на Ia-аференти через олігосинаптичні ланцюги від Ia-аферентів м'яза-антагоніста та викликає «другу фазу» реципрокного гальмування, що здійснюється дисинаптичним шляхом (Knikou, 2008; Fahn, 2011). Динаміка амплітуд кондиційованого і некондиційованого Н-рефлексу була дуже подібною. Потрібно підкреслити, що зменшення амплітуди кондиційованого Н-рефлексу безпосередньо після періоду розвитку зусилля, що стомлювало м'яз, було пропорційним зменшенню тестового Н-рефлексу. Це показав аналіз як середніх по групі, так і індивідуальних показників. Отримані дані дають можливість припустити, що безпосередньо після стандартизованого зусилля, що

стомлює м'яз, пригніченню, пов'язаному зі стомленням, підлягає певна частина (за нашими даними в середньому близько 35%) мотонейронів, що рефлекторно збуджуються; ця частка не залежить від вихідної (початкової) амплітуди Н-рефлексу.

За результатами наших досліджень, гальмівний вплив м'язового стомлення на Н-рефлекс складав у середньому по групі 34,6% (різниця між амплітудою тестового Н-рефлексу у стані спокою та безпосередньо після закінчення періоду стомлення), у той час як вплив сегментарних гальмівних процесів, що виникають у результаті стимуляції *n. peroneus communis*, становив 24,4% (різниця між амплітудами тестового та кондиційованого Н-рефлексу в стані спокою). З цього випливає, що розрахунковий сумарний гальмівний вплив м'язового стомлення та стимуляції *n. peroneus communis* на Н-рефлекс мав би дорівнювати 59%. З іншого боку, якщо оцінити такий сумарний гальмівний вплив як різницю між амплітудами тестового Н-рефлексу у стані спокою та кондиційованого Н-рефлексу безпосередньо після закінчення періоду стомлення, він становитиме близько 52% (рис. 10). З цього можна зробити висновок, що гальмування, пов'язане зі стомленням та гальмування, зумовлене сегментарними гальмівними процесами, реалізуються переважно по різних нервових шляхах (хоча можливою є часткова конвергенція різних гальмівних впливів).



Рис. 10. Зміни амплітуд тестового Н-рефлексу *m. soleus* та Н-рефлексу, кондиційованого стимуляцією *n. peroneus communis*, одразу після м'язового стомлення.

Показники (амплітуди Н-рефлексу) нормовані, %, щодо контрольного показника тестового Н-рефлексу.

Результати дослідження пресинаптичного гальмування моносинаптичного рефлексу *m. soleus*, проведені на тваринах, показали аналогічну нашим результатам динаміку пригнічення та відновлення тестового та кондиційованого рефлексу після активації м'яза, що викликала його стомлення. При цьому середня по групі інтенсивність гальмування підвищувалась після періоду стомлення і потім поверталася до вихідних значень через 60 хв після закінчення активації, що викликала м'язове стомлення (Kostyukov et al., 2005). В нашому дослідженні відмічався індивідуальний характер динаміки інтенсивності гальмування Н-рефлексу, кондиційованого стимуляцією *n. peroneus communis*, в умовах відновлення після стомлення. У різних обстежуваних інтенсивність зростала або

знижувалась в різні часові проміжки періоду відновлення Н-рефлексу. У деяких К_i (коефіцієнт інтенсивності гальмування) тільки зростав, у інших – тільки знижувався відносно значень у стані спокою, але у більшості були в наявності обидві фази. Через 30 хв після закінчення періоду стомлення, тобто наприкінці тесту, інтенсивність гальмування поверталася до вихідних значень практично у всіх обстежуваних. Отримані результати можуть свідчити про складний, такий, що відповідає функційному стану нервово-м'язової системи на даний момент часу, характер процесів, що відбуваються у м'язі, сегменті спинного мозку та супрасегментарних структурах при стомленні та відновленні після зусилля, що стомлює м'яз.

Потрібно відмітити, що дані стосовно змін тестового Н-рефлексу після періоду розвитку стомлюючого зусилля в умовах парної стимуляції *n. tibialis*, а також в умовах стимуляції *n. peroneus communis* узгоджуються з аналогічними результатами наших досліджень змін Н-рефлексу без кондиціонування, що свідчить про високу повторюваність результатів за аналогічних умов експерименту.

Результати дослідження статевих та вікових особливостей електроміографічних показників за допомогою методу Н-рефлексометрії *m. soleus* показали, що в цілому у жінок значення порогів виникнення Н- та М-відповідей є дещо вищими, а максимальні амплітуди обох даних ЕМГ-відповідей – нижчими, ніж у чоловіків. Відомо, що жирові прошарки на кінцівках в організмі жінок є звичайно відносно більшими, ніж у чоловіків (Wilmore, & Costill, 1994). Логічно вважати, що вищі пороги генерації Н- та М-відповідей у жінок можуть бути пов'язані з дещо більшою товщиною підшкірної жирової клітковини в місцях черезшкірної стимуляції нерва і, відповідно, більшим електричним опором щодо подразнюючого струму. Більші амплітуди максимальних Н- та М-відповідей у чоловіків у порівнянні з аналогічними показниками у жінок, скоріш за все, обумовлені відчутно більшим об'ємом м'язових волокон у м'язах нижніх кінцівок у чоловіків, ніж у жінок. Відомо крім того, що фізичні тренування однакової спрямованості у жінок призводять до меншої функційної гіпертрофії м'язів, ніж у чоловіків (Wilmore, & Costill, 1994; Drinkwater, 1988).

Вищі амплітуди М-відповідей у дорослих спортсменів у порівнянні з юніорами можуть бути наслідком певної вікової специфіки адаптаційних реакцій нервової системи до фізичного навантаження. Нервові механізми, активність яких визначає силу скорочення м'яза, при тривалих фізичних тренуваннях забезпечують рекрутування більшого числа рухових одиниць, діючих синхронно, а також деяке зниження інтенсивностей аутогенного і супрасегментарного гальмування; останній феномен зумовлює розгальмування мотонейронів активних м'язів (Wilmore, & Costill, 1994; Enoka, R. M., & Duchateau, 2017). Різниця параметрів Н-рефлексометрії у дорослих спортсменів та юніорів може бути також пов'язана з різним рівнем гіпертрофії м'язів. Очевидно, що ступінь такої гіпертрофії залежить від стажу спортсменів. Такі відмінності в деякій мірі можуть бути пов'язані з віковими та статевими відмінностями антропометричних параметрів. У тестованих нами чоловіків середні значення зросту були значущо більшими, ніж у жінок. На величину маси статистично значущо впливали фактори статі та віку: у чоловіків середні значення маси були більшими, ніж у жінок, приблизно на 17 %, а у дорослих

спортсменів – більшими, ніж у юніорів, приблизно на 8 %. У дорослих середні значення індексу маси тіла були значущо більшими, ніж у юніорів. Очевидно, що статеві та вікові особливості антропометричних показників, а також електроміографічних показників, зареєстрованих у перебігу Н-рефлексометрії, мають певною мірою братися до уваги при використанні даної методики.

ВИСНОВКИ.

З використанням методики реєстрації Н-рефлексу *m. soleus* досліджені його зміни в умовах формування стомлення *m. triceps surae* у нетренованих та тренуваних людей, а також статеві та вікові особливості параметрів Н-рефлексометрії у тренуваних людей, що дозволило отримати наступні результати:

1. М'язове стомлення, викликане довільним тривалим інтенсивним статичним скороченням *m. triceps surae*, призводить до пригнічення (на 40% у нетренованих та на 15% у тренуваних людей) амплітуди Н-рефлексу *m. soleus*, динаміка відновлення якого має двофазний характер та істотно відрізняється у осіб з різним рівнем тренуваності. У нетренованих триваліша швидка фаза відновлення, а повільна фаза практично відсутня у тренуваних осіб.

2. Пригнічення Н-рефлексу *m. soleus* внаслідок комплексної дії м'язового стомлення та гомосинаптичної постактиваційної депресії більше виражене у людей, нетренованих до тривалого фізичного навантаження, в порівнянні з таким у тренуваних осіб. Інтенсивність гомосинаптичної постактиваційної депресії збільшується після м'язового стомлення у порівнянні з контролем в середньому на 20% у нетренованих та на 15% у тренуваних осіб.

3. Втома-залежне пригнічення Н-рефлексу *m. soleus* в умовах кондиціюючої стимуляції нерва до м'язів-антагоністів (*n. peroneus communis*) пропорційне відповідному пригніченню Н-рефлексу у відсутності кондиціювання; середні амплітуди тестового і кондиційованого Н-рефлексів зменшуються на 35%. Нервові шляхи сегментарного гальмування Н-рефлексу від Ia-аферентів нерва до м'язів-антагоністів переважно не перекриваються зі шляхами впливу м'язового стомлення. Зміни інтенсивності сегментарного гальмування Н-рефлексу в межах періоду відновлення після стомлення мають індивідуальний характер; варіативність показників інтенсивності такого гальмування в групі поступово зменшується протягом періоду відновлення, інтенсивність гальмування повертається до вихідних значень практично у всіх обстежуваних через 30 хв після закінчення періоду стомлення.

4. Виявлені статеві та вікові відмінності параметрів Н-рефлексу та М-хвилі *m. soleus* у тренуваних осіб з високим рівнем адаптації до фізичного навантаження. У жінок середні пороги Н- та М-відповідей вищі, а амплітуди максимальних Н- та М-відповідей нижчі, ніж у чоловіків. У дорослих осіб середні амплітуди М-відповідей вищі, а співвідношення амплітуд максимальних Н- та М-відповідей нижчі у порівнянні з юніорами. Такі відмінності в деякій мірі можуть бути пов'язані з відповідними відмінностями антропометричних параметрів досліджуваних осіб.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. **Kolossova, E.V., & Slivko, É.I.** (2006). Fatigue-induced modulation of the H-reflex of soleus muscle in humans. *Neurophysiology*, 38(5), 360-364. (Особистий внесок здобувача: участь у проведенні фізіологічного дослідження, інтерпретація отриманих експериментальних даних, статистична обробка результатів, оформлення результатів у вигляді статті).

2. **Колосова, О. В.** (2016). Взаємозв'язок змін Н-рефлексу камбалоподібного м'яза людини, викликаних стомленням, та рівня адаптації до фізичного навантаження. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*, 1, 59-66. (Особистий внесок здобувача: участь у проведенні фізіологічного дослідження, інтерпретація отриманих експериментальних даних, статистична обробка результатів, оформлення результатів у вигляді статті).

3. **Колосова, О. В.** (2016). Модуляція Н-рефлексу камбалоподібного м'яза людини, пов'язана зі стомленням, за умов кондиціонуючої стимуляції іпсилатерального загального маломілкового нерва. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*, 2, 33-41. (Особистий внесок здобувача: участь у проведенні фізіологічного дослідження, інтерпретація отриманих експериментальних даних, статистична обробка результатів, оформлення результатів у вигляді статті).

4. **Колосова, О. В.** (2017). Модуляція Н-рефлексу камбалоподібного м'яза людини, пов'язана зі стомленням, за умов гомосинаптичної постактиваційної депресії при парній стимуляції великогомілкового нерва. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Біологія*, 2(74), 55-59. (Особистий внесок здобувача: участь у проведенні фізіологічного дослідження, інтерпретація отриманих експериментальних даних, статистична обробка результатів, оформлення результатів у вигляді статті).

5. **Колосова, О. В.** (2017). Гендерні особливості функціонального стану нервово-м'язового апарату у осіб з високим рівнем адаптації до фізичного навантаження. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: біологія*, 29, 89-93. (Особистий внесок здобувача: участь у проведенні фізіологічного дослідження, інтерпретація отриманих експериментальних даних, статистична обробка результатів, оформлення результатів у вигляді статті).

6. Dornowski, M., **Kolossova, Y. V.**, & Gorkovenko, A. V. (2017). Gender and Age-Related Peculiarities of the H-Reflex Indices in Sportsmen. *Neurophysiology*, 49(6), 458–461. (Особистий внесок здобувача: участь у проведенні фізіологічного дослідження, інтерпретація отриманих експериментальних даних, статистична обробка результатів, оформлення результатів у вигляді статті).

7. **Колосова, О. В.** (2020). Модуляційні впливи стомлення на Н-рефлекс камбалоподібного м'яза в умовах парної стимуляції великогомілкового нерва в нетренованих та тренуваних людей. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Біологія*, 2(81), 59-63. (Особистий внесок здобувача: участь у проведенні фізіологічного дослідження, інтерпретація отриманих експериментальних даних, статистична обробка результатів, оформлення результатів у вигляді статті).

експериментальних даних, статистична обробка результатів, оформлення результатів у вигляді статті).

Тези наукових доповідей:

1. Колосова, Е. В. (2007). Динамика изменений Н-рефлекса камбаловидной мышцы человека в восстановительном периоде после кондиционирующего утомления. *Сучасні питання фізіології та медицини. Матеріали всеукраїнської наукової конференції, 26-28 вересня 2007 р.* Україна, Дніпропетровськ, 45.

2. Колосова, О. В. (2010). Динаміка змін Н-рефлексу камбалоподібного м'яза після кондиціонування стомлення у людей, тренуваних та нетренуваних до фізичного навантаження. *Тези до 18 З'їзду Українського Фізіологічного Товариства, 20-22 травня 2010 р., Одеса. Фізіологічний журнал, 56(2), 245.*

3. Колосова, О. В. (2017). Модуляція Н-рефлексу камбалоподібного м'яза людини, пов'язана зі стомленням: вплив парної стимуляції великогомілкового нерва та кондиціонування стимуляції малогомілкового нерва. *Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції КНУ ім. Тараса Шевченка "Психофізіологічні та вісцеральні функції в нормі і патології", 17-20 жовтня 2017 р.* Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 57.

4. Kolosova, O. (2018). Gender and age peculiarities of electromyographic indices in qualified biathlon athletes. *Здоров'я, фізичне виховання і спорт: перспективи та кращі практики: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 15 травня 2018 р.* Київ: Київський університет Бориса Грінченка, 36-38.

5. Kolosova, E. V., & Gorkovenko, A. V. (2018). Gender and age peculiarities of electromyographic indices in qualified rowing athletes. *Program No. 497.04. 2018 Neuroscience Meeting Planner. San Diego, CA: Society for Neuroscience. Online.*

6. Kolosova, E. V. (2019). Fatigue-induced modulation of human soleus Hoffmann reflex in conditions of ipsilateral common peroneal nerve stimulation. *Program No. 585.15. 2019 Neuroscience Meeting Planner. Chicago, IL: Society for Neuroscience. Online.*

Додаткові публікації, що відображають окремі аспекти дисертаційного дослідження:

1. Kolosova, E. V., Khalyavka, T. A., & Lysenko, E. N. (2013). The early diagnosis of the lumbar spine functional disorders in athletes with use of electromyographic methods. *17th International Scientific Congress: Olympic Sport and Sport for All. China (Beijing), 422-423.*

2. Лисенко, О. М., Колосова, & О. В., Халявка, Т. О. (2015). Оцінка функціонального стану нервово-м'язової системи за допомогою методу стимуляційної електроміографії. *Матеріали XIX з'їзду Українського фізіологічного товариства ім. П.Г. Костюка з міжнародною участю, присвяченого 90-річчю від дня народження академіка П.Г. Костюка. Україна (Львів). Фізіологічний журнал, 61(3), 169-170.*

3. Колосова, Е. В., & Халявка, Т. А. (2015). Электронейромиографическая характеристика квалифицированных спортсменов, специализирующихся в циклических и сложнокоординационных видах спорта. *Știința Culturii Fizice, 4(24), 74-79.*

4. Колосова, Е. В., Халявка, Т. А., & Лысенко, Е. М. (2016). Электронейромиографические корреляты синдрома мышечной блокады межпозвонковых дисков у квалифицированных спортсменов. *Спортивная медицина*, 1, 51-56.

5. Колосова, Е. В., Халявка, Т. А., & Горенко, З. А. (2017). Сравнение электронейромиографических показателей у спортсменов, специализирующихся в прыжках в воду и велоспорте. *Фізична культура, спорт та здоров'я нації: збірник наукових праць*, 3(22), 319-323.

6. Kolosova, Elena, & Lysenko, Elena. (2019). The diagnosis of the lumbar spine neuromuscular disorders in qualified athletes with use of H-reflex study. *Abstracts from the Conference Neuropathology. Neurogenetics. Folia Neuropathologica*, 57(4), 383. DOI: <https://doi.org/10.5114/fn.2019.90820>

АНОТАЦІЯ

Колосова О.В. Модуляційні впливи на Н-рефлекс у фізично нетренованих та тренуваних людей. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 03.00.13 «Фізіологія людини і тварин». – Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України, Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню актуальної проблеми фізіології – особливостей динаміки модуляції спінальних рефлексів в умовах стомлення у фізично нетренованих та тренуваних людей.

Подано результати дослідження динаміки величини Н-рефлексу камбалоподібного м'яза людини (*m. soleus*), обумовленої стомленням, у тому числі в умовах розвитку сегментарного гальмування, викликаного стимуляцією іпсилатерального маломілкового нерва (*n. peroneus communis*) та в умовах гомосинаптичної постактиваційної депресії при парній стимуляції великомілкового нерва (*n. tibialis*) у нетренованих та тренуваних людей. Показано пригнічення Н-рефлексу камбалоподібного м'яза внаслідок стомлення, викликаного шляхом тривалого довільного статичного скорочення триголового м'яза гомілки (*m. triceps surae*), та подальше відновлення цього рефлексу. Виявлено наявність двох фаз відновлення Н-рефлексу: першої фази, тривалістю декілька хвилин, пов'язаної з відновленням нормальної імпульсації аферентів груп III і IV; та другої фази (впродовж кількох годин), пов'язаної з поступовим вимиванням та нейтралізацією метаболітів, які накопичились у м'язі в результаті активації, яка стомлює м'яз.

Показано меншу вираженість гальмування Н-рефлексу внаслідок м'язового стомлення, а також комплексної дії стомлення та гомосинаптичної постактиваційної депресії в умовах парної стимуляції *n. tibialis* в групі осіб, тренуваних до тривалого фізичного навантаження, в порівнянні з нетренованими людьми, що може бути пов'язаним з меншим накопиченням та швидшою утилізацією метаболітів внаслідок адаптаційних змін нервової та м'язової систем до фізичного навантаження. Виявлено збільшення інтенсивності гальмування Н-рефлексу під впливом гомосинаптичної постактиваційної депресії, найбільше виражене через 90 с після періоду зусилля, що стомлює м'яз.

Оцінена динаміка Н-рефлексу в умовах розвитку сегментарного гальмування, викликаного попередньою стимуляцією *n. peroneus communis*, у відновлювальному періоді після зусилля, що стомлює м'яз. Показана подібність змін амплітуд тестового та кондиційованого Н-рефлексів, а також пропорційність зменшення амплітуд цих рефлексів безпосередньо після періоду стомлення м'яза. Обґрунтована переважна відокремленість нервових шляхів пресинаптичного гальмування Н-рефлексу, викликаного кондиціюючою стимуляцією *n. peroneus communis*, від шляхів впливу м'язового стомлення.

Виявлені статеві та вікові особливості параметрів Н-рефлексу та М-хвилі *m. soleus* у тренуваних осіб з високим рівнем адаптації до фізичного навантаження. Показано відмінності порогових значень Н- та М-відповідей, а також амплітуд максимальних Н- та М-відповідей у жінок та чоловіків; відмінності амплітуд максимальних М-відповідей та співвідношень амплітуд максимальних Н- та М-відповідей у дорослих та молодих осіб. Запропоновано аналізувати результати дослідження нервово-м'язової системи організму людини, при яких отримуються абсолютні електроміографічні показники, з урахуванням статі та віку тестованих.

Ключові слова: стомлення, електроміографія, Н-рефлекс, М-хвиля, камбалоподібний м'яз, великогомілковий нерв, загальний малогомілковий нерв, сегментарне гальмування, пресинаптичне гальмування, гомосинаптична постактиваційна депресія, адаптація до фізичного навантаження, статеві та вікові відмінності.

SUMMARY

Kolossova O.V. Modulation influences on the Hoffmann reflex in physically untrained and trained humans. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for a Candidate of Science (PhD) degree by speciality 03.00.13 – Human and Animal Physiology. – Bogomoletz Institute of Physiology, National Academy of Sciences of Ukraine. – Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to analysis of changes in spinal reflexes dynamics after fatiguing muscle contractions in physically untrained and trained humans.

The long-lasting voluntary static contractions of the triceps surae muscle evoked a depression of the soleus H-reflex followed by a subsequent recovery. The presence of two phases of the H-reflex recovery was revealed: the first phase (with a running time of several minutes), associated with the recovery of activity in the groups III and IV afferents; and the second phase (with duration up to a few hours), associated likely with the gradual washing out and neutralization of metabolites that have been accumulated in the muscle during fatiguing contractions. Possible influences on the fatigue-dependent changes of the H-reflex related to action of the spinal inhibitory systems were also analyzed: 1) the segmental inhibition connected with stimulation of the ipsilateral peroneal nerve; 2) the homosynaptic depression evoked by the paired stimulation of the tibial nerve.

The H-reflex inhibition due to muscle fatigue as well as to the combined effect of fatigue and homosynaptic postactivation depression in conditions of paired tibial nerve stimulation was shown to be lower in group of people trained for the long-lasting physical activity compared to untrained ones. This might be associated with lower level of metabolites accumulation and higher rate of its utilization in trained persons, which may

be related to adaptative changes in the neuromuscular system during exercise. An increase in the H-reflex inhibition intensity under the influence of homosynaptic postactivation depression was revealed, most pronounced in 90 s after a period of fatiguing muscular effort.

The H-reflex dynamics under the conditions of the segmental inhibition caused by preceding peroneal nerve stimulation was evaluated during the recovery from fatigue. It was shown that the changes in the test and conditioned H-reflexes were quite similar, whereas these reflexes decreased almost in a proportional manner just after the fatiguing contractions. The existence of a definite separation between the following neuronal pathways might be proposed: 1) the presynaptic inhibition related to the conditioning stimulation of the peroneal nerve; and 2) the direct inhibitory muscle fatigue effects.

Gender and age-dependent peculiarities of the parameters obtained in the course of H-reflex study in persons with a high level of adaptation to physical exercise were also analyzed. There were demonstrated differences of both the thresholds and maximal values of the H- and M-responses in the groups of the trained females and males. The maximal amplitudes of the M-responses and the ratios of the maximal amplitudes of the H- and M-responses were shown to be different for groups of the trained adults and young persons. For studying motor control system it has been proposed to take into account the gender and age of the tested people while analyzing the absolute electromyographic indices including basic amplitude parameters of the H-reflex.

Key words: fatigue, electromyography, H-reflex, M-wave, soleus muscle, tibial nerve, common peroneal nerve, segmental inhibition, presynaptic inhibition, homosynaptic postactivation depression, adaptation to physical exercise, gender and age peculiarities.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

ЦНС	—	центральна нервова система
ЕМГ	—	електроміографія
Н-рефлекс	—	моносинаптична рефлекторна м'язова відповідь
М-хвиля	—	пряма м'язова відповідь
НТ	—	група нетренованих до фізичного навантаження людей
Т	—	група тренуваних до фізичного навантаження людей
ГПАД	—	гомосинаптична постактиваційна депресія
ПН	—	поріг виникнення Н-відповіді
ПМ	—	поріг виникнення М-відповіді
АН	—	амплітуда максимальної Н-відповіді
АМ	—	амплітуда максимальної М-відповіді
ЮЖ	—	жінки-юніори
ЮЧ	—	чоловіки-юніори
ДЖ	—	дорослі жінки
ДЧ	—	дорослі чоловіки