Rehabilitation & Recreation
Volume 20 No.3 (2026)

https://doi.org/10.67034/2786-8354.2026.20.3.17

БІОМАРКЕРИ ОЦІНКИ СТАНУ ГІПОКІНЕЗІЇ У ЧОЛОВІКІВ ЗРІЛОГО ВІКУ З НОРМАЛЬНОЮ ВАГОЮ ТІЛА

BIOMARKERS FOR ASSESSING HYPOKINESIA INMIDDLE-AGED MEN WITH NORMAL BODY WEIGHT

Коваль В. В.[1], Кіричук Ю. А.[1], Тхорева І. В.[1], Шевченко Н. В.[2]
[1]ПВНЗ «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука», Рівне, Україна
[2]Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
ORCID: 0009-0000-4659-8819
ORCID: 0009-0008-8669-1098
ORCID: 0009-0007-8218-1982
ORCID: 0000-0002-6570-4944

Koval V. V.[1], Kirychuk Y. A.[1], Tkhoreva I. V.[1], Shevchenko N. V.[2]
[1]Private Higher Education Establishment «Academician Stepan Demianchuk International University of Economics and Humanities», Rivne, Ukraine
[2]National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Анотації

Мета. Використовуючи методи біоімпедансометрії, варіабельності серцевого ритму та електронейроміографії, визначити найбільш інформативні біомаркери оцінки стану гіпокінезії для чоловіків першого та другого періодів зрілого віку з нормальною вагою тіла та встановити можливі референтні значення.

Матеріали та методи. Обстежено Обстежено 80 чоловіків обох періодів зрілого віку. 50% були здоровим нетренованими людьми (група А), а інші – мали виражені прояви гіпокінезії (група Б). З учасників першого період зрілого віку було сформовано 2 групи по 20 осіб: $А^1$ (фізично здорові), $Б^1$ (стан гіпокінезії). З обстежених чоловіків другого періоду зрілого віку, сформовано групи $А^2$ (фізично здорові), $Б^2$ (стан гіпокінезії). Використовували методи біоімпедансометрію, варіабельність серцевого ритму (ВСР), електронейроміографію (методика MUNIX). Застосовували непараметричні методи математичної статистики.

Результати. Результати біоімпедансометрії демонструють достовірно вищі параметри показників ЖМ,% ($Б^1$+4,3%; $Б^2$ +3,7%), а також достовірно нижчі значення БЖМ ($Б^1$: -3,4%; $Б^2$: -5,7%) та АКМ,% ($Б^1$: -7,3%; $Б^2$: -7,8%) у обстежених чоловіків зрілого віку з гіпокінезією, порівняно з групами здорових учасників ($А^1$; $А^2$). Результати ВСР свідчать, що серед чоловіків з гіпокінезією (Б1) рівень напруження систем регуляції ритму серця на 77,8% вищий, порівняно з групою А1. Виявлено, що більш високий рівень VLF спостерігали в групах осіб з гіпокінезією ($Б^1$: +6,9% та $Б^2$: +7,6%) порівняно з результатами серед груп здорових чоловіків. У відповідь на гостре тестове навантаження показник LF/HF підвищується лише в групах з гіпокінезією ($Б^1$: +57,7% та $Б^2$: +10,4%) на тлі суттєвого посилення центрального контуру регуляції синусового ритму (VLF) в групах $Б^1$ (+18,8% та $Б^2$ (+11,2%). Результати електронейроміографії, на прикладі дельтоподібного м'язу учасників, свідчать про те, що серед чоловіків з гіпокінезію ($Б^1$) спостерігали суттєве нижчі параметри амплітуди М-відповіді (в 1,8 рази), MUNIX (в 2,6 рази) та більші значення MUSIX (на 42,4%) порівняно з групою здорових осіб ($А^1$). Подібну відмінність, щодо низького рівня показників М-відповіді (в 2,9 раз), MUNIX (в 3,3 рази) та більш великих значень MUSIX (+14,6%) спостерігали в групі чоловіків з гіпокінезією (Б2), порівняного зі здоровими учасниками ($А^2$).

Висновки. В процесі досліджень виявлено, що для визначення стану гіпокінезії серед чоловіків обох періодів зрілого віку необхідно одночасно використовувати методи біоімпедансометрії, варіабельності серцевого ритму (спектрального аналізу) та електронейроміографії (методики MUNIX). Встановлено, що найбільш інформативними біомаркерами даних методів, які дозволяють оперативно оцінити виражені прояви гіпокінезії у чоловіків даної вікової групи, є показник відсотку активної клітинної маси тіла (АКМ<

Received: 10 August 2026. Accepted: 30 October 2026. Available online: 30 October 2026

© 2026. Koval V. V., Kirychuk Y. A., Tkhoreva I. V., Shevchenko N. V.
Rehabilitation and Recreation. ISSN 2786-8354 (Online) | ISSN 2786-8346 (Print)
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

40-43%); потужність наднизькочастотного спектру кардіоінтервалів (VLF>25-30%); співвідношення рівня індексів кількості та розміру активних рухових одиниць в досліджуваних групах м'язів (MUSIX>MUNIX), а також параметрів амплітуди М-відповіді (М=3,8-1,6 мВ).

Ключові слова: гіпокінезія, чоловіки зрілого віку, біомаркери, біоімпедансометрія, варіабельність серцевого ритму, MUNIX, MUSIX, навантаження.

Introduction. Using bioimpedance analysis, heart rate variability, and electroneuromyography, identify the most informative biomarkers for assessing hypokinesia in men in the first and second stages of adulthood with normal body weight and establish possible reference values.

Materials and Methods. A total of 80 men from both stages of adulthood were examined. Fifty percent were healthy, untrained individuals (Group A), while the rest exhibited pronounced signs of hypokinesia (Group B). From the participants in the first stage of adulthood, two groups of 20 people each were formed: A^1 (physically healthy) and B^1 (hypokinesia). From the men examined in the second stage of adulthood, groups A^2 (physically healthy) and B^2 (hypokinesia) were formed. The following methods were used: bioimpedance analysis, heart rate variability (HRV), and electroneuromyography (MUNIX method). Nonparametric methods of mathematical statistics were applied.

Results. The bioimpedance analysis results show significantly higher values for body fat percentage (B^1: +4.3%; B^2: +3.7%), as well as significantly lower values for body fat mass (B^1: -3.4%; B^2: -5.7%) and ACM, % (B^1: -7.3%; B^2: -7.8%) in the examined men of early adulthood with hypokinesia, compared with the groups of healthy participants (A^1; A^2). HRV results indicate that among men with hypokinesia (B^1), the level of stress on the heart rate regulation systems is 77.8% higher compared to A^1. It was found that higher VLF levels were observed in the groups of individuals with hypokinesia (B^1: +6.9% and B^2: +7.6%) compared to the results among groups of healthy men. In response to an acute exercise test, the LF/HF ratio increased only in the groups with hypokinesia (B^1: +57.7% and B^2: +10.4%) against the backdrop of a significant strengthening of the central regulatory circuit of the sinus rhythm (VLF) in groups B^1 (+18.8%) and B^2 (+11.2%). The results of electroneuromyography, using the participants' deltoid muscle as an example, indicate that among men with hypokinesia (B^1), significantly lower parameters of the M-response amplitude (1.8 times lower), MUNIX (2.6 times lower), and higher MUSIX values (42.4% higher) compared to the group of healthy individuals (A^1). A similar difference – characterized by lower M-response values (2.9 times lower), MUNIX values (3.3 times lower), and higher MUSIX values (+14.6%) – was observed in the group of men with hypokinesia (B2) compared to healthy participants (A^2).

Conclusions. The study found that to assess the presence of hypokinesia among men in both periods of adulthood, it is necessary to simultaneously use bioimpedance analysis, heart rate variability (spectral analysis), and electroneuromyography (the MUNIX method). It has been established that the most informative biomarkers derived from these methods, which allow for the rapid assessment of pronounced manifestations of hypokinesia in men of this age group, are the percentage of active cellular body mass (ACBM < 40-43%); the power of the very low-frequency (VLF) spectrum of cardiac intervals (VLF > 25-30%); the ratio of the indices of the number and size of active motor units in the studied muscle groups (MUSIX > MUNIX); and the parameters of the M-wave amplitude (M = 3.8-1.6).

Keywords: hypokinesia, middle-aged men, biomarkers, bioimpedance analysis, heart rate variability, MUNIX, MUSIX, exercise.

1. Вступ

Зниження рівня рухової активності (гіподинамія) в зрілому віці внаслідок соціальних, побутових, економічних та водночас проблем пов'язаних з погіршенням стану систем організму, протягом останніх років є одним із дискусійних питань серед широкого спектру фахівців не лише з фізичного виховання, але й кінезіології та фізичної реабілітації [3, 8]. В сучасних фундаментальних дослідженнях широко представлені результати, щодо ефективності використання різноманітної варіації рекреаційних, фізичних, реабілітаційних програм занять направлених на вирішення проблем з гіподинамією серед осіб зрілого віку [5, 11]. Однак, в більшості випадках [7, 14] отримані результати лише частково відображають характерні зміни фізіологічних процесів реадаптації систем організму, використовуючи в якості основних біомаркерів лише суб'єктивні, малоінформативні за даних обставин, показники оцінки динаміки морфометричних параметрів (антропометрія, індекс маси тіла), функціональних можливостей (проби Штанге, Руф'є та

подібних індексів), розвитку фізичних якостей (динамометрія та різноманітні батареї тестових випробувань), в деяких випадках базальні рівні загального спектру біохімічних показників крові.

Одним із проблемних питань сучасної кінезіології та фізіології рухової активності є те, що лише незначна частка науковців [2, 9, 12] приділяє основну увагу не детальному аналізу гіподинамії у людей зрілого віку, а поглиблено вивчає саме гіпокінезію, що відображає стан нейрогуморальної регуляції та нервово-м'язової системи, рівень їх функціональних резервів та резистентності до різних стресових подразників, збалансованість процесів енергозабезпечення м'язової діяльності, спроможність до ефективної реалізації механізмів короткочасної адаптації без виражених проявів дезадаптації в умовах заданих параметрів фізичного навантаження на тлі тривалого зниження рухової активності. Протягом останніх років, ряд науковців [1, 4, 15, 16] активно приділяють увагу вивченню особливостей оцінки вихідного стану та контролю за процесами реадаптації організму осіб зрілого та похилого віку в стані гіпокінезії з надмірною вагою тіла, з метою пошуку найбільш інформативних фізіологічних, морфометричних, біохімічних та навіть нейрофізіологічних біомаркерів діагностики. При цьому, переважна більшість даних дослідників, практично не звертають увагу на категорію осіб, які становлять майже 35-40% від загальної кількості людей зрілого та похилого віку з гіпокінезією, які за морфометричними показниками не мають надмірної ваги тіла.

2. Мета дослідження

Використовуючи методи біоімпедансометрії, варіабельності серцевого ритму та електронейроміографії, визначити найбільш інформативні біомаркери оцінки стану гіпокінезії для чоловіків першого та другого періодів зрілого віку з нормальною вагою тіла та встановити можливі референтні значення.

3. Матеріали та методи

В дослідженнях приймали участь 80 чоловіків обох періодів зрілого віку, 50% яких за результатами попереднього комплексного медичного обстеження були здоровим нетренованими людьми (група А), а інші – мали виражені прояви гіпокінезії (група Б). З учасників першого період зрілого віку (25±1,7 років), вага тіла яких становила 83,3±0,8 кг, було сформовано 2 групи по 20 осіб: $А^1$ (фізично здорові), $Б^1$ (стан гіпокінезії). Одночасно, з обстежених чоловіків другого періоду зрілого віку (41±2,3 років), вага яких становила 86,8±0,6 кг, також було сформовано 2 групи по 20 осіб: $А^2$ (фізично здорові), $Б^2$ (стан гіпокінезії).

Дослідження проводились на базі відділень науково-дослідного центру сучасної кінезіології «KINEZUS» в місті Рівне, Ужгород, Миколаїв, Одесса. Дизайн дослідження було схвалено комітетом біоетики Волинського національного університету імені Лесі Українки, Україна. Після пояснення ризиків і переваг дослідження учасники підписали форму інформованої згоди, підготовлену відповідно до етичних стандартів Гельсінської декларації.

Метод біоімпедансометрії

Для оцінки досліджуваних показників складу використовується біоімпедансний аналізатор: діагностичний комп'ютеризований апаратно-програмний комплекс КМ-АР-01 комплектації «Діамант – АСТ» (аналізатор складу тіла) (ВЮСК. 941118.001 РЕ) [11]. Використовуючи даний біоімпедансний аналізатор в комплекті з ноутбуком та спеціальними електродами (згідно стандартної методики), застосовували чотирьох полярну схему накладання електродів на гомілковостопні та променево-зап'ясткові суглоби при частоті зондуючого струму 28 і 115 кГц в одноразовому режимі. Застосовуючи спеціальний пакет програмного забезпечення під Windows 10 на ноутбуці [14], згідно з інструкцією оператора комплексу КМ-АР-01 комплектації «Діамант – АСТ», фіксували у чоловіків обстежених груп параметри показників складу тіла (в кілограмах і відсотках): жирова маса (ЖМ, %, кг), безжирова маса (БЖМ, кг); активна клітинна маса (АКМ, %, кг). Оптимальний період тривалості запису становив в межах 1-2 хв. Після вимірювання електричного опору різних тканин організму на кожному з етапів дослідження, з наступною комп'ютерною обробкою отриманих результатів, отримані результати фіксували в пам'яті ноутбука, або

роздруковували на принтері згідно з вимогами інструкції.

Варіабельність серцевого ритму (ВСР)

Для вимірювання інтервалів RR використовувався монітор серцевого ритму Polar V800 (Polar Electro Oy, Finland). Частоту серцевих скорочень і необроблені інтервали RR реєстрували за допомогою датчика, встановленого на нагрудному ремені (H10, Polar Electro Oy, Finland). Дані інтервалу RR були завантажені на комп'ютер через веб-сервіс Polar Flow. Для обробки даних використовували програмне забезпечення Kubios HRV Standard 3.5.0. Для спектрального аналізу в частотній області було обрано швидке перетворення Фур'є. Під час аналізу спектральних характеристик потужності ВСР виділяли наступні діапазони: низькочастотний (LF,%), наднизькочастотний (VLF,%), високочастотний (HF,%). Визначали співвідношення LF/HF, як показник міри вегетативного балансу. Реєстрації сигналів інтервалів RR в обстежених відбувалась в положенні сидячи в стані спокою до та після гострого фізичного тестового навантаження. Для стандартизації досліджень ВСР при коротких записах вибрана оптимальна тривалість запису 5 хв.

Метод електронейроміографії (ЕНМГ), методика (MUNIX).

Для визначення параметрів MUNE (Motor Unit Number Estimation) використовували 2-канальний мініатюрний електронейроміограф Нейро-МВП-Мікро з відповідним програмним забезпеченням [15, 17]. Основними характеристиками даного приладу є: 2 канали оптимізовані для швидкого проведення тестів моторної та сенсорної провідності, а також голкової ЕМГ; квантова частота до 100 кГц; струмовий стимулятор з двома виходами та надшвидкою комутацією; амплітуда імпульсів від 0.1 до 100 мА; частота стимуляції від 0.05 до 50 Гц; тривалість імпульсу струму від 100 до 5000 мкс. Спочатку реєструється показник амплітуди максимальної М-відповіді у проекції рухової точки м'яза, а потім оцінюємо параметри MUNIX (індекс оцінки кількості активних рухових одиниць). Шляхом ділення амплітуди максимальної М-відповіді на індекс MUNIX обчислюється показник MUSIX (індекс розміру рухових одиниць). Після попередньої оцінки параметрів максимальної амплітуди М-відповіді, тими ж нашкірними електродами відбувалась реєстрації інтерференційного патерна ЕМГ при різній силі ізометричного скорочення. Вибираються від 6 до 10 епох (тривалістю 300–1000 мс) у діапазоні від мінімального до максимального скорочення. В пробі «MUNIX» виконується запис результатів ізометричних напружень досліджуваного м'язу (наприклад: 10%, 20%, 30%, 40% и до 100% від 1 ПМ). Протидія подібним напруженням досліджуваного м'яза відбувається за рахунок зусиль партнера. Далі будується регресійна крива за показниками площі та потужності амплітуди М-відповіді й зареєстрованого інтерференційного патерну при різній силі ізометричного скорочення.

Тестове навантаження

Використовуючи інтегральний метод кількісної оцінки силових навантажень [5] був визначений коефіцієнт навантаження (Ra) з урахуванням індивідуальних функціональних резервів та розвитку силових можливостей, що дало можливість розрахувати параметри показника робочої маси обтяження (m) для кожної ізолюючі вправи на тренажерних пристроях. За рахунок зміни положення тіла та окремих його частин, зменшували не лише рекрутування певних груп м'язів-стабілізаторів, але й навіть синергістів. Під час тестового випробування використовували режим силових навантажень середньої інтенсивності Ra=0,65 з параметрами показника робочої маси обтяження в межах 62-71 % від 1 ПМ. Енергозабезпечення рухової діяльності відбувалось за рахунок анаеробного гліколізу.

Організація досліджень. Дослідження проводились в 2025 році. Використовуючи неінвазійних метод біоімпедансометрії, визначали в учасників дослідних груп обох періодів зрілого віку вихідні параметри показників складу тіла: жирової маси (ЖМ, кг та ЖМ, %), безжирової маси (БЖМ, кг) та активної клітинної маси (АКМ, кг та АКМ, %). Застосовуючи метод електронейроміографії, в даному випадку методику MUNIX, оцінювали вихідні параметри показників максимальної амплітуди М-відповіді, MUNIX та MUSIX в досліджуваних групах м'язів (дельтоподібний, триголовий м'яз плеча, прямий м'яз стегна) серед груп здорових чоловіків ($А^1$ та $А^2$) та станом гіпокінезії ($Б^1$ та $Б^2$). Фізіологічний

метод варіабельності серцевого ритму (ВСР) використовували для оцінки базального рівня (в стані спокою) показників спектрального аналізу (VLF, LF, HF, LF/HF) та особливостей їх зміни у відповідь на задане тестове випробування в умовах навантажень середньої інтенсивності Ra=0,65 з параметрами показника робочої маси обтяження в межах 62-71 % від 1 ПМ. Отримані результати ВСР дозволять визначити вихідні параметри функціональних резервів організму учасників обстежених груп та їх рівень резистентності до подібних тестових навантажень. Проводили порівняльний аналіз оброблених результатів біоімпедансометрії, електронейроміографії та ВСР між обстеженими групами здорових чоловіків та в стані гіпокінезії першого ($А^1$ та $Б^1$) та другого ($А^2$ та $Б^2$) періодів зрілого віку, які приймали участь в дослідженні.

Статистичний аналіз. Використовуючи пакет програм IBM *SPSS*Statistics 26 виконували статистичний аналіз результатів дослідження. Програма G-Power 3.1.96 дозволяє визначити найменший розмір вибірки для дослідження (розрахунок статистичної потужності). Використовуючи непараметричні методи статистичного аналізу визначали медіану (Me) та міжквартильний діапазон (IQR). Критерій Манна-Уітні використовували для порівняння вихідних параметрів між двома групами обстежених чоловіків однієї вікової групи. Т-критерій Вілкоксону використовували для порівняння двох залежних вибірок між собою (базальний рівень та після тестового навантаження).

4. Результати та обговорення

В табл. 1 представлено результати дослідження щодо оцінки вихідних параметрів показників складу тіла в процесі використання методу біоімпедансометрії серед груп обстежених чоловіків (здорових та в стані гіпокінезії) першого та другого періоду зрілого віку.

Таблиця 1

Показники біоімпедансометрії в обстежених групах чоловіків першого та другого періоду зрілого віку (Me, IQR), n=80

Показники складу тіла	Учасники дослідження			
	Чоловіки першого періоду зрілого віку, n=40		Чоловіки другого періоду зрілого віку, n=40	
	Група $А^1$	Група $Б^1$	Група $А^2$	Група $Б^2$
ЖМ, %	18,2 (0,42)	22,5 (0,89) U^1=0,000 p=0,000	22,8 (0,79)	26,5 (0,85) U^2=0,000 p=0,000
ЖМ, кг	14,9 (0,35)	18,9 (0,71) U^1=0,000 p=0,000	19,6 (0,68)	22,7 (0,81) U^2=0,000 p=0,000
БЖМ, кг	67,5 (2,53)	65,2 (3,11) U^1=52,00 p=0,000	66,5 (2,73)	62,7 (3,23) U^2=22,00 p=0,000
АКМ, %	50,2 (1,86)	42,9 (2,15) U^1=0,000 p=0,000	48,1 (2,22)	40,3 (1,92) U^2=0,000 p=0,000
АКМ, кг	41,3 (1,78)	36,1 (1,88) U^1=0,000 p=0,000	41,4 (2,31)	34,4 (2,21) U^2=0,000 p=0,000

Примітка: U^1 – відмінності між групами чоловіків першого періоду зрілого віку за критерієм Манна-Уітні; U^2 – відмінності між групами чоловіків другого періоду зрілого віку

Таблиця 2

Показники ВСР в обстежених групах чоловіків першого та другого періоду зрілого віку протягом дослідження (Me, IQR), n=80

Показники спектрального аналізу ритму серця	Учасники дослідження			
	Чоловіки першого періоду зрілого віку, n=40		Чоловіки другого періоду зрілого віку, n=40	
	Група $А^1$	Група $Б^1$	Група $А^2$	Група $Б^2$
В стані спокою (базальний рівень)				
VLF, %	9,56 (0,65)	16,45 (0,78) U^1=0,000^{1*}	7,25 (0,48)	14,89 (0,62) U^2=0,000^{1*}
LF, %	67,41 (3,12)	70,11 (4,42) U^1=84,00^{1*}	68,02 (3,31)	70,15 (4,25) U^2=138,00
HF, %	23,03 (1,01)	13,44 (0,83) U^1=0,000^{1*}	24,73 (1,42)	14,96 (0,81) U^2=0,000^{1*}
LF/HF	2,93 (0,14)	5,21 (0,49) U^1=0,000^{1*}	2,74 (0,12)	4,68 (0,29) U^2=0,000^{1*}
Результати після тестового навантаження (R_a=0,65); енергозабезпечення за рахунок анаеробного гліколізу; ізолюючі вправи на тренажерах зі зміною положення тіла для зменшення активності груп м'язів-стабілізаторів; показник робочої маси обтяження (m) = 62-71 % від 1 ПМ				
VLF, %	7,87 (0,52) -1,7%	35,26 (1,78) +18,8%^{2*}	12,76 (0,56) +5,5%^{2*}	26,12 (1,22) +11,2%^{2*}
LF, %	63,54 (2,84) -3,8%^{2*}	57,72 (3,01) -12,4%^{2*}	63,33 (3,09) -4,7%^{2*}	61,91 (2,79) -8,2%^{2*}
HF, %	28,59 (1,41) +5,5%^{2*}	7,02 (0,47) -6,4%^{2*}	23,91 (1,11) -0,8%	11,96 (0,58) -3,0%^{2*}
LF/HF	2,22 (0,09) -24,2%^{2*}	8,22 (0,54) +57,7%^{2*}	2,65 (0,11) -3,3%^{2*}	5,17 (0,54) +10,4%^{2*}

Примітка: U^1 – відмінності між групами чоловіків першого періоду зрілого віку за критерієм Манна-Уітні; U^2 – відмінності між групами чоловіків другого періоду зрілого віку; 1* – $p<0,05$ – порівнюючи з результатами між групами за критерієм Манна-Уітні; 2* – $p<0,05$ – порівнюючи з результатами до навантаження в стані спокою

Встановлено, що саме в групі здорових чоловіків першого періоду зрілого віку ($А^1$) спостерігали ефективність реалізації механізмів короткочасної адаптації у відповідь на запропоноване тестове навантаження, що проявлялось в зміщені вегетативного в бік парасимпатичної регуляції (LF/HF: -24,2% ($p<0,05$) з одночасним зниженням симпатичної активності (LF: -3,8% ($p<0,05$) та без суттєвих змін потужності VLF (-1,7%). При цьому, у здорових чоловіків другого періоду зрілого віку ($А^2$) також спостерігали зниження рівня напруження систем регуляції ритму серця (LF/HF: -3,3% ($p<0,05$) та потужності LF (-4,7% ($p<0,05$), але з одночасним посиленням центрального контуру регуляції синусового ритму (VLF: +5,5% ($p<0,05$), що свідчить про низький рівень резистентності.

В табл. 3 представлено результати електронейроміографії щодо оцінки вихідних параметрів показників амплітуди М-відповіді, MUNIX та MISIX в групах м'язів (дельтоподібний, триголовий м'яз плеча, прямий м'яз стегна) серед груп обстежених чоловіків (здорових та в стані гіпокінезії) першого та другого періоду зрілого віку.

Досліджуючи показники ЕНМГ в дельтоподібному м'язі учасників було виявлено, що серед чоловіків першого періоду зрілого віку, саме в групі обстежених з гіпокінезію ($Б^1$) спостерігаємо суттєво нижчі параметри амплітуди М-відповіді (в 1,8 рази), MUNIX (в 2,6 рази) та більші значення MUSIX (на 42,4%) порівняно з групою здорових осіб ($А^1$). Подібну відмінність, щодо низького рівня показників М-відповіді (в 2,9 раз), MUNIX (в

3,3 рази) та більш великих значень MUSIX (+14,6% (p<0,05) спостерігали в групі чоловіків другого періоду зрілого віку з гіпокінезією ($Б^2$), порівняного зі здоровими нетренованими учасниками ($А^2$).

Встановлено, що контрольовані показники електронейроміографії триголового м'язу плеча в обох групах чоловіків з гіпокінезією, не залежно від періоду зрілого віку, демонструють суттєвого низький рівень показника амплітуди М-відповіді ($Б^1$ – в 1,8 рази; $Б^2$ – 2,7 рази), MUNIS ($Б^1$ – в 2,9 рази; $Б^2$ – 3,1 рази) та одночасно високі параметри MUSIX ($Б^1$ – на 56,3%; $Б^2$ – на 13,8%) порівняно з обома групами здорових учасників ($А^1$, $А^2$).

Отримані результати свідчать про те, що показники ЕНМГ прямого м'язу стегна в обох групах осіб з гіпокінезією в зрілому віці, також, як і в представлених вище дослідженнях, демонструють достовірно (p<0,05) низький рівень амплітуди М-відповіді ($Б^1$ – в 2 рази; $Б^2$ – 2,8 рази), MUNIS ($Б^1$ – в 2,7 рази; $Б^2$ – 3,2 рази) та одночасно високі значення MUSIX ($Б^1$ – на 37,3%; $Б^2$ – на 11,8%) порівняно зі здоровими учасниками груп $А^1$ та $А^2$.

Таблиця 3

Показники ЕНМГ в досліджуваних м'язах в обстежених групах чоловіків першого та другого періоду зрілого віку (Me, IQR), n=80

ЕНМГ	Учасники дослідження			
	Чоловіки першого періоду зрілого віку, n=40		Чоловіки другого періоду зрілого віку, n=40	
	Група $А^1$	Група $Б^1$	Група $А^2$	Група $Б^2$
Дельтоподібний м'яз				
М-відповідь	6,3 (0,21)	3,4 (0,14) U^1=0,000[1]*	4,7 (0,15)	1,6 (0,07) U^2=0,000[1]*
MUNIX	149 (4,32)	56,5 (2,03) U^1=0,000[1]*	125 (3,28)	37,1 (1,36) U^2=0,000[1]*
MUSIX	42,2 (1,41)	60,1 (2,11) U^1=0,000[1]*	37,6 (1,41)	43,1 (1,55) U^2=0,000[1]*
Триголовий м'яз плеча				
М-відповідь	5,8 (0,22)	3,1 (0,11) U^1=0,000[1]*	4,6 (0,24)	1,7 (0,05) U^2=0,000[1]*
MUNIX	155 (5,08)	53,1 (1,98) U^1=0,000[1]*	113,2 (3,03)	36,8 (1,68) U^2=0,000[1]*
MUSIX	37,3 (1,35)	58,3 (2,45) U^1=0,000[1]*	40,6 (1,72)	46,2 (2,12) U^2=0,000[1]*
Прямий м'яз стегна				
М-відповідь	7,6 (0,27)	3,8 (0,18) U^1=0,000[1]*	5,7 (0,22)	2,0 (0,02) U^2=0,000[1]*
MUNIX	166 (5,73)	60,7 (3,17) U^1=0,000[1]*	138 (4,67)	43,3 (1,51) U^2=0,000[1]*
MUSIX	45,6 (1,87)	62,6 (2,73) U^1=0,000[1]*	41,3 (1,67)	46,2 (2,03) U^2=0,000[1]*

Примітка: U1 – відмінності між групами чоловіків першого періоду зрілого віку за критерієм Манна-Уітні; U2 – відмінності між групами чоловіків другого періоду зрілого віку; 1* – p<0,05 – порівнюючи з результатами між групами за критерієм Манна-Уітні

Дискусія. В даному дослідження представлені результати, які демонструють особливості поєднання в діагностичний комплекс спектр неінвазійних методів, таких як біоімпедансометрія, варіабельність серцевого ритму та електронейроміографія (методика MUNIX) для визначення найбільш оптимальних біомаркерів оцінки стану гіпокінезії серед чоловіків першого та другого періоду зрілого віку та спроби розробити референтні значення для даної категорії. На основі порівняльного аналізу параметрів складу тіла (жирової, безжирової та активної клітинної маси тіла), показників спектрального аналізу ВСР (VLF, LF, HF, LF/HF) та результатів значень амплітуди М-відповіді, індексів кількості рухових одиниць (MUNIX) та їх розміру (MUSIX) в відповідних групах м'язів між здоровими нетренованими чоловіками зрілого віку та в стані гіпокінезії з нормальною вагою тіла, вивчали можливі варіації вирішення проблеми щодо пошуку критеріїв, які чітко на основі відповідної різниці між досліджуваними морфометричними, фізіологічними та нейрофізіологічними показниками, дозволять визначити граничні межі відображення стану гіпокінезії [1, 5, 16]. Вивчаючи результати сучасних фундаментальних робіт з даного напрямку [6, 11, 13], в яких науковці для оцінки основних критеріїв стану гіпокінезії у людей різних вікових груп переважно з надмірною вагою тіла, окремо застосовували метод біоімпедансометрії, або варіабельність серцевого ритму та лише в поодиноких випадках електронейроміографію, стає зрозумілим, що єдиної концепції щодо визначення не лише інформативних біомаркерів, але й їх оптимальних параметрів – не існує. Проблемним питанням залишається відсутність результатів досліджень, які б чітко відображали різницю між референтними значеннями окремо для чоловіків першого та другого періоду зрілого віку з вираженою гіпокінезією, що в перспективі дозволить науково-обґрунтовано розробити оптимальні моделі занять направленні на підвищення ефективності процесів реадаптації систем організму даного контингенту залежно від їх віку, індивідуальних функціональних резервів систем організму [2, 12, 14].

Отримані результати доповнюють наукові дані [9, 11, 15] щодо оцінки стану гіпокінезії особливо в чоловіків зрілого віку з нормальною вагою тіла використовуючи сучасні неінвазійні методи діагностики. Виявлені в процесі використання методу біоімпедансометрії результати свідчать про те, що саме показник активної клітинної маси тіла (АКМ,%), параметрами якого в середньому на 7,5% менші за результати фіксовані в здорових учасників та коливаються в межах 40-43% навіть при ідентичних значеннях ваги тіла обстежених осіб кожної з вікової категорії, можна використовувати в якості одного з критеріїв оцінки гіпокінезії для чоловіків зрілого віку. Подібні низькі параметри показника АКМ вказують переважно на низький рівень міжм'язової координації, що відбувається в більшості випадках на тлі довготривалої гіподинамії [3, 11].

Виявлені в процесі дослідження результати варіабельності серцевого ритму демонструють, що у чоловіків зрілого віку з гіпокінезією, порівняно зі здоровими нетренованими особами, базальні параметри рівня напруження систем регуляції ритму серця та потужності центрального контуру регуляції синусового ритму суттєво ($p<0,05$) вищі. При цьому, оцінюючи результати спектрального аналізу у відповідь на стресовий фізичний подразник середньої інтенсивності (Ra=0,65), за умов відсутності протягом попередніх 2 діб фізичних навантажень з великим обсягом роботи, підвищення потужності наднизькочастотного спектру кардіонтервалів за відповідні межі (VLF=25-30%), чітко відображає прояви компенсаторних реакції та в поєднанні з іншими біомаркерами, може вказувати на стан гіпокінезії [1, 5, 14].

Детальний аналіз отриманих результатів електронейроміографії з використанням методики MUNIX в досліджуваних групах м'язів обстежених груп з гіпокінезією, вказує на низьку в декілька разів кількість активних аксонів, порівняно з даними виявленими в здорових нетренованих чоловіках, а також виражені прояви м'язової атрофії [6, 16, 17]. Таким чином, виявлені в процесі дослідження результати ЕНМГ в певних групах м'язів дозволяють зробити припущення, що для оцінки стану гіпокінезії у чоловіків зрілого віку

найбільш інформативними біомаркерами з відповідними параметрами, є наступні показники: амплітуда М-відповіді в межах від 3,8 до 1,6 мВ; індекс кількості активних рухових одиниць (MUNIX) в межах від 53,8 до 36,8; індекс розміру активних рухових одиниць (MUSIX), значення якого достовірно перевищують MUNIX.

5. Висновки

В процесі досліджень виявлено, що для визначення стану гіпокінезії серед чоловіків обох періодів зрілого віку необхідно одночасно використовувати методи біоімпедансометрії, варіабельності серцевого ритму (спектрального аналізу) та електронейроміографії (методики MUNIX). Встановлено, що найбільш інформативними біомаркерами даних методів, які дозволяють оперативно оцінити виражені прояви гіпокінезії у чоловіків даної вікової групи, є показник відсотку активної клітинної маси тіла (АКМ< 40-43%); потужність наднизькочастотного спектру кардіоінтервалів (VLF>25-30%); співвідношення рівня індексів кількості та розміру активних рухових одиниць в досліджуваних групах м'язів (MUSIX>MUNIX), а також параметрів амплітуди М-відповіді (М=3,8-1,6 мВ).

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References

1. Brockmann, L., & Hunt, K. (2023). Heart rate variability changes with respect to time and exercise intensity during heart-rate-controlled steady-state treadmill running. *Journal of Scientific Reports*.13: 8515. https://doi.org/10.1038/s41598-023-35717-0
2. Chen, M., Zhu, M., Li, X., Pi, J., & Feng X. (2024). Motor unit number index in Bell's palsy: A potential electrophysiological biomarker for early evaluation. *Brain and Behavior*.14(9): e3632. https://doi.org/10.1002/brb3.3632
3. Chernozub, A., Manolachi, V., Potop, V., Khudyi, O., Kozin, S., Bokatuieva, V., Kizilova, A., Stanescu, M., Timnea, OC. (2023). Kinesiological models of the neuromuscular system readaptation in mature women after prolonged hypokinesia. Health, Sport, Rehabilitation.9(1):78-92. https://doi.org/10.34142/HSR.2023.09.01.07
4. Chernozub, A., Tsos, A., Aloshyna, A., Korobeynikov, G., Syvokhop, E., Koval, V., Tkhoreva, I., Shashenko, M., Potop, V. (2024). Enhancing the physical education system for students with hypokinesia using power fitness technology. *Journal of Physical Education and Sport*.24(6):1417-1423. https://doi.org/10.7752/jpes.2024.06160
5. Chernozub, A., Tsos, A., Olkhovyi, O., Hlukhov, I., Koval, V., & Zavizion, O. (2025). Readaptation of functional capabilities of special unit servicemen with long-term hypodynamia caused by peripheral neuromuscular system damage. *Physical Rehabilitation and Recreational Health Technologies*.10(1):9–19. https://doi.org/10.15391/prrht.2025-10(1).02
6. Ebersbach, T., Roediger, A., Steinbach, R. Appelfeller, M., Tuemmler, A., Stubendorff, B., & Axer, H. (2023). Motor unit number index (MUNIX) loss of 50% occurs in half the time of 50% functional loss according to the D50 disease progression model of ALS. *Sci Rep*. (3):3981. https://doi.org/10.1038/s41598-023-30871-x
7. Górnicka M., Hamulka J., Wadolowska L., Kowalkowska J., Kostyra E., Tomaszewska M., Czeczelewski J., Bronkowska M. (2020). Activity-Inactivity Patterns, Screen Time, and Physical Activity: The Association with Overweight, Central Obesity and Muscle Strength in Polish Teenagers. Report from the ABC of Healthy Eating Study. *Int J Environ Res Public Health*. 17(21):7842. https://doi.org/10.3390/ijerph17217842
8. Gray, L., Coppack, R., Barker-Davies, R., Cassidy, R., Bennett, A., & Caplan, N. (2025). Efficacy and acceptability of different blood flow restriction training interventions during the rehabilitation of military personnel with lower limb musculoskeletal injuries: protocol for a two-phase randomised controlled trial. *BMJ Open*.15(5):e096643. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-096643
9. Lang, P., Amann, M., Riesner, H., Friemert, B., Siebers, H., & Betsch, M. (2025). Electromyography and range-of-motion measurements in German soldiers wearing different types of body armour while marching. *BMJ Mil Health*.171(1):38–43. https://doi.org/10.1136/military-2023-002618
10. Mendonça, R., Machado, L., Heise, C., Polido, G., Jr, C., & Silva, A. (2021). Motor unit number index (MUNIX) in children and adults with 5q-spinal muscular atrophy: Variability and clinical correlations. *Full length article*.31(6):498-504. https://doi.org/10.1016/j.nmd.2021.02.019
11. Kizilova, A., Tsos, A., Syvokhop, E., Marionda, I., Maidachenko, A. (2025). Modeling the mechanisms of readaptation of functional reserves in military personnel with musculoskeletal limb injuries during long-term rehabilitation. *Physical Rehabilitation and Recreational Health Technologies*.10(6):408-417. https://doi.org/10.15391/prrht.2025-10(6).03
12. Koval, V., Derliuk, O., & Chernozub, A. (2025). The impact of different models of power fitness training on the re-adaptation processes of overweight adolescents. *Rehabilitation and Recreation*,19(2),338-349. https://doi.org/10.32782/2522-1795.2025.19.2.30
13. Savenko, A., Tsos, A., Olkhovyi, O., Kizilova, A., & Chernozub, A. (2026). Neurophysiological assessment of the motor unit number estimation index (MUNIX)

during the rehabilitation process of military servicemen with neuromuscular system injuries. *Physical Rehabilitation and Recreational Health Technologies*. 11(3). P. 224–233. https://doi.org/10.15391/prrht.2026-11(3).08

14. Schoenfeld, B., Androulakis-Korakakis, P., Piñero, A., Burke, R., Coleman, M., Mohan, A., Escalante, G., Rukstela, A., Campbell, B., Helms, E. (2023). Alterations in Measures of Body Composition, Neuromuscular Performance, Hormonal Levels, Physiological Adaptations, and Psychometric Outcomes during Preparation for Physique Competition: A Systematic Review of Case Studies. *J Funct Morphol Kinesiol*.8(2):59. https://doi.org/10.3390/jfmk8020059
15. Sole-Cruz, E., Salort-Campana, E., Lenglet, T., Fortanier, E., Pereon, Y., Berling, E., & Beloribi-Djefaflia, S. (2026). Electrophysiological assessment of motor unit loss in adult spinal muscular atrophy types III and IV: a multicenter national study comparing MUNIX, CMAP, and MUSIX. *Journal of Neurology*.273(174). https://doi.org/10.1007/s00415-026-13714-3
16. Suzan, A., Bilgin, S., Degirmenci, P., Adatepe, N., Doventas, A., & Gunduz, A. (2026). What causes loss of muscle mass in primary sarcopenia: A MUNIX analysis and correlation with plasma biomarkers. *Acta Neurol Belg*.126(1):145-54. https://doi.org/10.1007/s13760-025-02873-1
17. Zheng, X., Li, X., Qi, G., Liu, H., Chen, J., Feng, & X. (2026). Motor Unit Number Index (MUNIX) as an Early Prognostic Biomarker in Acute Bell's Palsy: A Prospective Cohort Study. *Neurology*.19:558041. https://doi.org/10.2147/IJGM.S558041