УДК 615.8:004:611.98:616-001-036.82-08 https://doi.org/10.26641/2307-0404.2026.3.375420

О.Т. Рягузова [1, 2 *],
В.В. Логвиненко [2]

РОБОТИЗОВАНА ТЕРАПІЯ ЗІ ЗВОРОТНИМ БІОЛОГІЧНИМ ЗВ'ЯЗКОМ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ «OMEGO PLUS» У МЕНЕДЖМЕНТІ КОМБІНОВАНИХ КОНТРАКТУР НИЖНІХ КІНЦІВОК

КНП «Міська клінічна лікарня № 4» Дніпровської міської ради [1]
вул. Ближня, 31, Дніпро, 49000, Україна
Дніпровський державний медичний університет [2]
вул. Володимира Вернадського, 9, Дніпро, 49044, Україна
Municipal non-commercial enterprise "City Clinical Hospital No. 4" of the Dnipro City Council [1]
Blyzhnia str., 31, Dnipro, 49000, Ukraine
Dnipro State Medical University [2]
Volodymyra Vernadskoho str., 9, Dnipro, 49044, Ukraine
e-mail: dnepr.pt1@gmail.com

Цитування: Медичні перспективи. 2026. Т. 31, № 3. С. 185-194
Cited: Medicni perspektivi. 2026;31(3):185-194

Ключові слова: *контрактура, реабілітація, система «Omego Plus», нижня кінцівка, ходьба, біль, відновлення функції*
Key words: *contracture, rehabilitation, Omego Plus system, lower limb, walking, pain, recovery of function*

Реферат. Роботизована терапія зі зворотним біологічним зв'язком з використанням системи «Omego Plus» у менеджменті комбінованих контрактур нижніх кінцівок. Рягузова О.Т., Логвиненко В.В. *Бойова травма та тривала іммобілізація закономірно призводять до формування резистентних комбінованих контрактур суглобів нижніх кінцівок. Це зумовлює гостру потребу в інноваційних підходах, зокрема використанні сучасних роботизованих систем з біологічним зворотним зв'язком для цілеспрямованого ремоделювання тканин. Мета – підвищення ефективності реабілітації пацієнтів з комбінованими контрактурами суглобів нижніх кінцівок шляхом інтеграції системи «Omego Plus» у стандартний протокол. У рандомізоване дослідження включено 69 пацієнтів (вік 20-49 років) з діагностованими комбінованими контрактурами суглобів нижніх кінцівок. Основна група (n=34) отримувала стандартну фізичну терапію та заняття із застосуванням системи «Omego Plus» (60 хв, 5 разів/тиждень, 6 тижнів). Контрольна група (n=35) – отримувала лише стандартну фізичну терапію (згідно з настановами NICE-2022). Оцінювання стану пацієнтів методами гоніометрії, мануального м'язового тестування (ММТ), за візуальною аналоговою шкалою болю (ВАШ) та 10-метровим тестом швидкості ходьби (10MWT) проводили до початку втручання, через 6 тижнів та 3 місяці. В основній групі зафіксовано достовірне збільшення амплітуди рухів (згинання в колінному суглобі до 115°, дорсальне згинання в гомілковостопному суглобі до 15° з достовірною перевагою над контрольною групою). Відзначено статистично значуще вищі показники сили стабілізаторів таза (у середньому на 1-1,5 бала вище порівняно з контрольною групою, p<0,001), що підтверджує ефективне рекрутування рухових одиниць. Тест 10MWT виявив накопичувальний ефект системи «Omego Plus» із формуванням статистично значущої міжгрупової переваги на фінальному етапі спостереження (швидкість ходьби збільшилась на 0,44 м/с в основній групі проти 0,36 м/с у контрольній групі, p<0,05). В обох групах зафіксовано зниження інтенсивності больового синдрому, проте в основній групі результат був кращим (зниження показника за ВАШ у середньому на 3,9 бала в основній групі проти 3,1 бала в контрольній групі, p<0,05). Упровадження системи «Omego Plus» у підгострому періоді реабілітації є патогенетично обґрунтованим. Незважаючи на глибину структурних змін, система забезпечує клінічно значуще відновлення мобільності, приріст м'язової сили та стійке зниження болю у віддаленому періоді. Результати доводять переважаючу ефективність застосованої методики над стандартною для структурної перебудови тканин і подолання терапевтичної резистентності*

Abstract. Robotic therapy with biofeedback using the "Omego Plus" system in the management of combined lower limb contractures. Riahuzova O.T., Lohvynenko V.V. *Combat trauma and prolonged immobilization naturally lead to the development of resistant combined contractures of the lower limb joints. This creates an urgent need for innovative approaches, specifically the use of modern robotic systems with biofeedback for targeted tissue remodeling. Aim – to improve*

the effectiveness of rehabilitation in patients with combined contractures of the lower limb joints through the integration of the "Omego Plus" system into the standard protocol. The randomized study included 69 patients (aged 20-49 years) diagnosed with combined contractures of the lower limb joints. The main group (n=34) received standard physical therapy and training using the "Omego Plus" system (60 min, 5 times/week, for 6 weeks). The control group (n=35) received only standard physical therapy (according to NICE-2022 guidelines). Assessments using goniometry, manual muscle testing (MMT), the Visual Analogue Scale (VAS) for pain, and the 10-Meter Walk Test (10MWT) were conducted at baseline, after 6 weeks, and 3 months. A statistically significant increase in the range of motion was recorded in the main group (flexion in the knee joint up to 115°, dorsiflexion in the ankle joint up to 15°, showing a significant advantage over the control group). Significantly higher strength indices of the pelvic stabilizers (an average of 1-1.5 points higher compared to the control group, $p<0.001$) were observed, confirming the effective recruitment of motor units. The 10MWT revealed a cumulative effect of the "Omego Plus" system, with the formation of a statistically significant intergroup advantage at the final stage of observation (walking speed increased by 0.44 m/s in the main group vs. 0.36 m/s in the control group, $p<0.05$). A reduction in pain syndrome intensity was recorded in both groups, but the result was better in the main group (VAS score decreased by an average of 3.9 points in the main group vs. 3.1 points in the control group, $p<0.05$). The implementation of the "Omego Plus" system in the subacute rehabilitation period is pathogenetically justified. Despite the depth of structural changes, the system provides clinically significant restoration of mobility, an increase in muscle strength, and a sustained reduction in pain in the long-term period. The results demonstrate the superior effectiveness of the applied method over the standard one for structural tissue remodeling and overcoming therapeutic resistance.

Специфіка мінно-вибухової травми полягає в її багатофакторному впливі на організм, що супроводжується масивним руйнуванням кісткової тканини, утворенням великих дефектів шкіри, фасцій та м'язів, а також тотальною контамінацією ран. В умовах повномасштабної військової агресії проти України травми кінцівок посідають провідне місце у структурі бойових ушкоджень. Застосування апаратів зовнішньої фіксації (АЗФ) та довготривала іммобілізація кінцівок (від кількох місяців до півроку) у поєднанні з ішемією та масивним рубцюванням ранових поверхонь неминуче призводять до розвитку стійких змішаних та комбінованих контрактур суглобів [1, 4, 5]. Розростання фіброзної тканини в м'язах та періартикулярних ділянках призводить до їхньої масивної адгезії. Багатотканинне зрощення зумовлює терапевтичну резистентність: хоча техніки механічного розтягнення дозволяють частково збільшити обсяг рухів, повне відновлення фізіологічної довжини тканин є вкрай складним [6, 17, 19]. Аналіз провідних доказових баз даних (PEDro, Cochrane Library, PubMed) свідчить про відсутність вузькоспеціалізованих клінічних настанов щодо менеджменту саме комбінованих контрактур у дорослих. Наявна інформація здебільшого обмежена загальними принципами профілактики або базується на дослідженнях на моделях тварин, що не можуть бути повноцінно екстрапольовані на складну клінічну картину у військовослужбовців [19, 26]. Для ефективного подолання цих викликів доцільно впроваджувати роботизовані системи, які дають змогу виконувати велику кількість керованих повторень. Використання системи «Omego Plus» з функцією біологічного зворотного зв'язку дозволяє реалізувати диференційоване дозування механічного навантаження для ремоделювання тканин при тугорухливості. У наших попередніх дослідженнях було підтверджено ефективність застосування цієї системи в реабілітації пацієнтів з ізольованими міогенними та артрогенними контрактурами нижніх кінцівок [2, 3]. Проте комбіновані контрактури, що охоплюють структурні зміни як інтраартикулярних, так і періартикулярних тканин, потребують окремого вивчення через їхню високу терапевтичну резистентність.

Метою дослідження є підвищення ефективності реабілітації пацієнтів з комбінованими контрактурами суглобів нижніх кінцівок шляхом клініко-функціонального обгрунтування та інтеграції в реабілітаційний процес роботизованої системи «Omego Plus».

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження було проведене відповідно до вимог Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини в якості об'єкта дослідження». Всі пацієнти, які взяли участь у дослідженні, надали інформовану письмову згоду. Дослідження виконувалось у рамках науково-дослідної роботи кафедри фізичної реабілітації, спортивної медицини та валеології Дніпровського державного медичного університету «Медичне, фізіотерапевтичне та ерготерапевтичне забезпечення спортивних, оздоровчих та реабілітаційних тренувань» (№ 0121U114435, термін виконання 2022-2026 рр.) і було схвалено комісією з питань біомедичної етики Дніпровського державного медичного університету (протокол № 12 від 25.10.2023).

Дизайн дослідження: рандомізоване контрольоване дослідження з паралельними групами. Протягом 2024-2025 рр. у дослідження були включені 69 пацієнтів з комбінованими контрактурами

На умовах ліцензії CC BY 4.0

суглобів нижніх кінцівок середнього віку 38,03±7,26 року, які отримували реабілітацію на базі відділення фізичної та реабілітаційної медицини КНП «Міська клінічна лікарня № 4» Дніпровської міської ради за програмою післягострого періоду реабілітації.

Критеріями включення були: діагноз посттравматичної контрактури одного або декількох суглобів нижньої кінцівки (кульшового, колінного, гомілковостопного) з обмеженням рухливості з використанням оцінки патологічного кінцевого відчуття («жорстке», «пружинний блок», «капсулярний тип»), що становить від 5% до 15% від норми, виміряний за допомогою гоніометрії; вік старше 18 років; можливість самостійного пересування (з/без допоміжних засобів); загоєння післяопераційних ран (у разі оперативного втручання); надання письмової інформованої згоди на участь у дослідженні.

Критерії виключення: наявність на нижніх кінцівках апарату зовнішньої фіксації (АЗФ); наявність великих дефектів шкірних покривів або активної фази остеомієліту; декомпенсована патологія серцево-судинної системи та наявність інших тяжких соматичних захворювань; вроджені або набуті деформації та захворювання суглобів нижніх кінцівок в анамнезі, які супроводжувалися стійким обмеженням рухливості до отримання травми; наявність клінічних ознак ураження верхнього або нижнього рухового нейрона; «жорстке» кінцеве відчуття (тип «кістка до кістки») під час оцінювання обсягу рухів у суглобі; виражений больовий синдром (≥6 балів за візуальною аналоговою шкалою – ВАШ); когнітивний дефіцит, що унеможливлював адекватну взаємодію з фізичним терапевтом; відмова пацієнта підписати інформовану згоду на участь у дослідженні.

За результатами застосування критеріїв виключення з дослідження вибули 9 пацієнтів, зокрема 2 особи мали апарат зовнішньої фіксації, 2 пацієнти мали запалення та активну фазу остеомієліту, 2 – мали великий дефект шкіри, 3 – відмовились надавати згоду на участь у дослідженні.

Після застосування критеріїв включення-виключення в подальшому дослідженні продовжили участь 60 пацієнтів, яких розподіляли методом простої рандомізації відповідно до згенерованої таблиці випадкових чисел у сервісі Google Sheets до двох груп (основної і контрольної) по 30 осіб у кожній. Сформовані групи не відрізнялися за віком та статтю (p=0,35), що свідчить про їхню статистичну однорідність на початку дослідження (табл. 1). У дослідженні брали участь пацієнти у віці від 20 до 49 років. В основній групі жінки становили 13,3%, чоловіки – 86,7%; у контрольній групі чоловіки становили 96,7%, жінки – 3,3%.

Таблиця 1

Аналіз однорідності груп на початку дослідження за демографічними показниками(M(SD), n (%)

Показник		Групи порівняння		
		основна (n=30)	контрольна (n=30)	p
Вік, роки		38,5 (7,67)	37,5(6,93)	0,57
Стать	Ч	26 (86,7%)	29 (96,7%)	0,35
	Ж	4(13,3%)	1(3,3%)	

Примітки: Ч – чоловіки, Ж – жінки, p – рівень статистичної значущості.

Контрольна група отримувала стандартну фізичну терапію тривалістю 60 хвилин за заняття. Програма фізичної терапії для пацієнтів контрольної групи відповідала настановам Національного інституту охорони здоров'я та удосконалення медичної допомоги (NICE, 2022) з реабілітації травматичних ушкоджень: тренування ходьби, вправи на розтяг, рівновагу, силу. Заняття проводились 5 разів на тиждень протягом 14 днів під час стаціонарного етапу та 5 разів на тиждень протягом 4 тижнів на амбулаторному етапі, що сумарно становило 6 тижнів контрольованої реабілітації відповідно до пакетів медичних гарантій. У віддаленому періоді пацієнти виконували самостійну програму (щоденні тренування тривалістю 30-40 хвилин), спрямовану на збільшення гнучкості, сили, рівноваги та швидкості ходьби.

Крім стандартної програми, пацієнтам основної групи призначали заняття з використанням роботизованої системи «Omego Plus». Тренування на системі тривали 60 хвилин і проводилися 5 разів на тиждень паралельно зі стандартною програмою протягом усього 6-тижневого курсу (загалом 30 занять). Пацієнт розташовувався в положенні сидячи, стопи фіксувалися на спеціалізованих педальних модулях. Пристрій дозволяв виконувати рухи як комплексно, так і в ізольованих площинах з поступовим кінематичним розширенням амплітуди. Завдяки вбудованим датчикам тиску система зчитувала зусилля пацієнта та миттєво відображала їх на екрані у вигляді ігрових завдань (біологічний зворотний зв'язок), що дозволяло терапевту задавати прогресуючий опір в ексцентричному та концентричному режимах.

Для зміцнення м’язів-стабілізаторів застосовували статико-динамічний режим, що поєднував ізотонічні рухи з короткочасною ізометричною експозицією (статичною фіксацією) у точках максимальної м'язової напруги. Окремий блок вправ був присвячений ізольованій зміні функцій гомілковостопного суглоба: за допомогою спеціалізованих педалей з фіксацією стопи реалізовувався рух виключно в площині плантарного згинання. Така біомеханічна модель дозволяла акцентувати увагу на керованому ексцентричному навантаженні м’язів дорсального згинання, що є критично важливим фактором для відновлення фізіологічних фаз опору та переносу стопи під час ходьби.

Дозування фізичного навантаження здійснювалося за індивідуалізованим принципом на основі моніторингу об’єктивного статусу пацієнта шляхом гоніометрії цільових суглобів для визначення доступного безболісного діапазону рухів. Контроль реалізовувався за допомогою ВАШ: допустимим порогом вважалася інтенсивність больового синдрому не більше 6 балів, при перевищенні якого рівень навантаження негайно коригувався. Додатково враховувалася суб’єктивна оцінка самопочуття пацієнта та наявність ознак загальної втоми під час заняття.

Оцінювання стану пацієнтів проводилось тричі: при надходженні (візит I), наприкінці 6-го тижня (візит II) та через 3 місяці після виписки (візит III). Проведення другого візиту саме наприкінці 6-го тижня обґрунтовано завершенням повного курсу контрольованої фахівцем фізичної терапії (14 днів стаціонарного та 4 тижні амбулаторного етапів), що дозволило об’єктивно оцінити результати безпосереднього втручання перед переходом до самостійної домашньої програми. За результатами кожного візиту програма фізичної терапії коригувалася. Для контролю виконання самостійних вправ пацієнти використовували електронний щоденник у Google-таблицях.

Комплексне обстеження пацієнтів базувалося на застосуванні інструментів та шкал, що дозволило забезпечити методологічну порівняність результатів з актуальними міжнародними даними. Протокол оцінювання охоплював аналіз когнітивного статусу за допомогою Монреальської шкали оцінки когнітивних функцій (MoCA) [15], верифікацію м'язової сили шляхом мануального м'язового тестування (MMT) [11] та вимірювання обсягу рухів методом гоніометрії [7]. Суб'єктивну інтенсивність больового синдрому фіксували за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ) [12], тоді як показники функціональної мобільності та ризику визначали за допомогою 10-метрового тесту швидкості ходи (10MWT) [23].

Статистичний аналіз результатів дослідження проводили з використанням програми STATISTICA 6.1 (Statsoft Inc., США, ліцензійний № AGAR909E415822FA). Гіпотезу щодо нормальності розподілу показників оцінювали за критерієм Шапіро-Вілка. Нормально розподілені кількісні дані представлені у форматі M(SD), де M – середня арифметична величина, SD – середньоквадратичне відхилення, а ненормально розподілені – Me (Q25;Q75), де Me – медіана, Q25, Q75 – 25, 75 квартилі відповідно. Якісні дані представлені абсолютною кількістю спостережень (n) та відносною величиною (%). Оцінювання вірогідності відмінностей незалежних груп за кількісними показниками здійснювали за допомогою U-критерію Манна-Вітні, у пов’язаних групах – за критерієм Вілкоксона. Порівняльний аналіз за якісними показниками між групами проводився за критерієм хі-квадрат Пірсона. Відмінності вважали статистично достовірними за умови, що «p» менше 0,05 18].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За результатами підсумкової гоніометрії суглобів нижніх кінцівок на фінальному етапі дослідження (візит III) в основній групі зафіксовано статистично значуще збільшення амплітуди рухів: згинання в колінному суглобі зросло зі 100° до 115°, дорсальне згинання в гомілковостопному суглобі досягло 15° (з достовірною перевагою над контрольною групою), а плантарне згинання – 35°. Отримана динаміка підтверджує високу ефективність застосованого реабілітаційного підходу (табл. 2).

Застосування системи «Omego Plus» забезпечило статистично значущу перевагу у відновленні функціональної спроможності м’язів порівняно зі стандартним протоколом. На завершальному

На умовах ліцензії CC BY 4.0

етапі дослідження (візит III) в основній групі зафіксовано достовірно вищі абсолютні показники сили цільових стабілізаторів таза: зовнішніх та внутрішніх ротаторів стегна (p<0,001), відвідних і привідних м'язів стегна (p=0,0002), а також згиначів та розгиначів стегна (p<0,05). Отримані дані підтверджують, що тренування на педальних модулях з точним дозуванням опору сприяють не просто зростанню сили, а й інтенсивному рекрутуванню неактивних рухових одиниць та суттєвому покращенню нейром'язової координації (табл. 3).

Таблиця 2

Аналіз динаміки обсягів рухів у суглобах нижніх кінцівок (M(SD)

Показник		Групи порівняння		
		основна (n=30)	контрольна (n=30)	p
Згинання в колінному суглобі (Me (Q25;Q75)	1	100,0 (90,0;120,0)	100,0 (100,0;120,0)	0,83
	2	110,0(95,0;120,0)	110,0 (105,0;120,0)	0,05
	3	115,0(100,0;120,0)	115,0 (100,0;120,0)	0,01
	Δ 1-2	5,0 (0,00;10,0)	5,00 (0,00;10,0)	0,000023
	Δ 1-3	5,0 (0,00;10,0)	5,00 (0,00;10,0)	0,000024
Дорсальне згинання стопи (Me (Q25;Q75)	1	5,00 (5,00;10,0)	5,00 (0,00;10,0)	0,62
	2	10,0 (10,0;15,0)	10,0 (5,00;15,0)	0,31
	3	15,0(5,00;15,0)	12,5 (5,00;15,0)	0,005
	Δ 1-2	5,00(5,00;5,00)	5,00 (5,00;5,00)	0,16
	Δ 1-3	10,0 (5,00;10,0)	5,00 (5,00;5,00)	0,000003
Плантарне згинання стопи (Me (Q25;Q75)	1	22,5 (20,0;30,0)	30,0 (20,0;35,0)	0,64
	2	35,0(30,0;40,0)	35,0 (30,0;40,0)	0,90
	3	35,0(30,0;40,0)	35,0(30,0;40,0)	0,48
	Δ 1-2	7,5(5,00;10,0)	5,0(5,00;10,0)	0,26
	Δ 1-3	5,0(5,0;10,0)	5,0(5,00;10,0)	0,01

Примітки: 1,2,3 – візити; Δ - різниця між візитами; p - рівень статистичної значущості.

Таблиця 3

Аналіз динаміки сили м'язів нижніх кінцівок за ММТ

Показник сили		Групи порівняння		p
		основна (n=30)	контрольна (n=30)	
М'язи, що згинають стегно, бали (Me (Q25;Q75)	1	2,00(2,00;3,00)	3,00(2,00;3,00)	0,10
	2	3,00(2,00;3,00)	3,00(3,00;3,00)	0,37
	3	3,50(3,00;4,00)	3,00(3,00;4,00)	0,02
	Δ 1-2	0,00(0,00;0,00)	0,00(0,00;0,00)	0,17
	Δ 1-3	1,00(1,00;1,00)	0,00 (0,00;1,00)	0,000029
М'язи, що розгинають стегно, бали (Me (Q25;Q75)	1	2,00(2,00;3,00)	3,00(2,00;3,00)	0,17
	2	3,00(2,00;3,00)	3,00(3,00;3,00)	0,24
	3	4,00(3,00;4,00)	3,00(3,00;3,00)	0,001
	Δ 1-2	0,00(0,00;0,00)	0,00(0,00;0,00)	0,31
	Δ 1-3	0,00 (0,00;1,00)	1,00 (1,00;1,00)	0,000020
М'язи, що відводять стегно, бали (Me (Q25;Q75)	1	2,00(2,00;3,00)	3,00(2,00;3,00)	0,10
	2	3,00(2,00;3,00)	3,00(3,00;3,00)	0,37
	3	4,00(3,00;4,00)	3,00(3,00;3,00)	0,0002
	Δ 1-2	0,00(0,00;0,0)	0,00(0,00;0,00)	0,17
	Δ 1-3	1,00(1,00;1,00)	0,00 (0,00;1,00)	0,00000
М'язи, що приводять стегно, бали (Me (Q25;Q75)	1	2,00(2,00;3,00)	3,00(2,00;3,00)	0,26
	2	3,00(2,00;3,00)	3,00(3,00;3,00)	0,26
	3	4,00(3,00;3,00)	3,00(3,00;3,00)	0,0002
	Δ 1-2	0,00(0,00;0,00)	0,00(0,00;0,00)	0,73
	Δ 1-3	1,00(1,00;1,00)	0,00(0,00;0,00)	0,00000

На умовах ліцензії CC BY 4.0

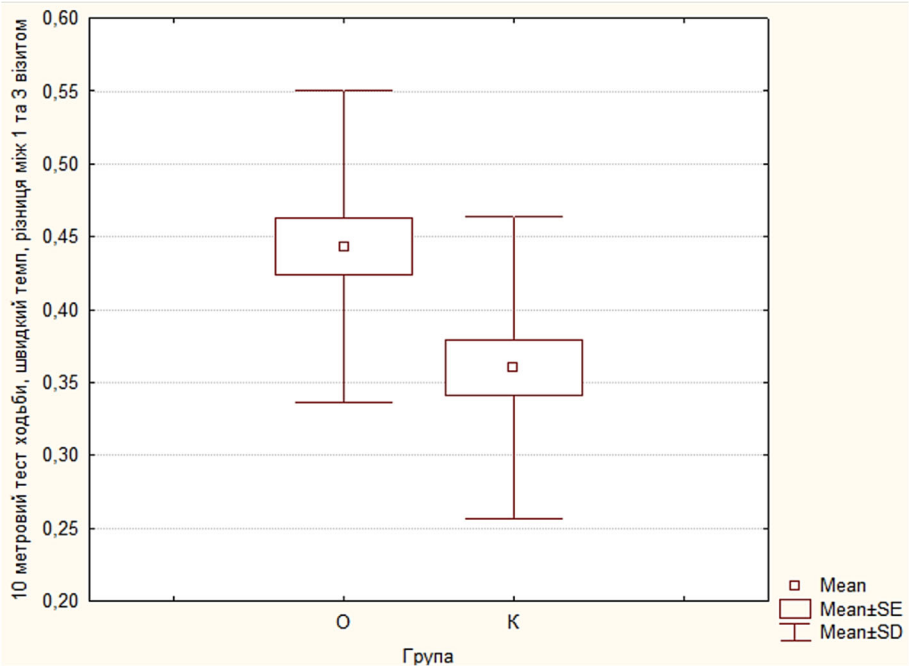
продовження таблиці 3

Показник сили		Групи порівняння		p
		основна (n=30)	контрольна (n=30)	
М'язи зовнішньої ротації стегна, бали (Me (Q25;Q75)	**1**	**2,00(2,00;3,00)**	**3,00(2,00;3,00)**	**0,17**
	2	**3,00(2,00;3,00)**	**3,00(3,00;3,00)**	**0,34**
	3	**4,00(3,00;4,00)**	**3,00(3,00;3,00)**	**0,000002**
	Δ 1-2	**0,00(0,00;0,00)**	**0,00(0,00;0,00)**	**0,32**
	Δ 1-3	**1,00(1,00;1,00)**	**0,00(0,00;0,00)**	**0,000000**
М'язи внутрішньої ротації стегна, бали (Me (Q25;Q75)	**1**	**2,00(2,00;3,00)**	**3,00(2,00;3,00)**	**0,18**
	2	**3,00(2,00;3,00)**	**3,00(3,00;3,00)**	**0,12**
	3	**4,00(3,00;4,00)**	**3,00(3,00;3,00)**	**0,0000003**
	Δ 1-2	**0,00(0,00;0,00)**	**0,00(0,00;0,00)**	**1,00000**
	Δ 1-3	**1,00(1,00;1,00**	**0,00(0,00;0,00)**	**0,00000**
М'язи, що згинають колінний суглоб, бали (Me (Q25;Q75)	**1**	**2,00(2,00;3,00)**	**3,00(2,00;3,00)**	**0,19**
	2	**3,00(2,00;3,00)**	**3,00(2,00;3,00)**	**0,25**
	3	**3,00(3,00;4,00)**	**3,00(3,00;4,00)**	**0,11**
	Δ 1-2	**0,00(0,00;0,00)**	**0,00(0,00;0,00)**	**0,72**
	Δ 1-3	**1,00(1,00;1,00)**	**1,00(0,00;1,00)**	**0,00059**
М'язи, що розгинають колінний суглоб, бали (Me (Q25;Q75)	**1**	**2,00(2,00;2,00)**	**2,00(2,00;2,00)**	**0,24**
	2	**3,00(2,00;3,00)**	**2,00(2,00;3,00)**	**0,23**
	3	**3,00(3,00;4,00)**	**3,00(3,00;3,00)**	**0,16**
	Δ 1-2	**0,00(0,00;0,00)**	**0,00(0,00;0,00)**	**1,00000**
	Δ 1-3	**1,00(1,00;1,00)**	**1,00(0,00;1,00)**	**0,011**
М'язи плантарного згинання стопи, бали (Me (Q25;Q75)	**1**	**2,00(1,00;2,00)**	**2,00(1,00;3,00)**	**0,29**
	2	**2,00(1,00;2,00)**	**2,00(1,00;3,00)**	**0,31**
	3	**3,00(2,00;3,00)**	**3,00(2,00;3,00)**	**0,68**
	Δ 1-2	**0,00(0,00;0,00)**	**0,00(0,00;0,00)**	**1,00000**
	Δ 1-3	**1,00(1,00;1,00)**	**1,00(0,00;1,00)**	**0,30**

Примітки: 1,2,3 – візити; Δ – різниця між візитами.

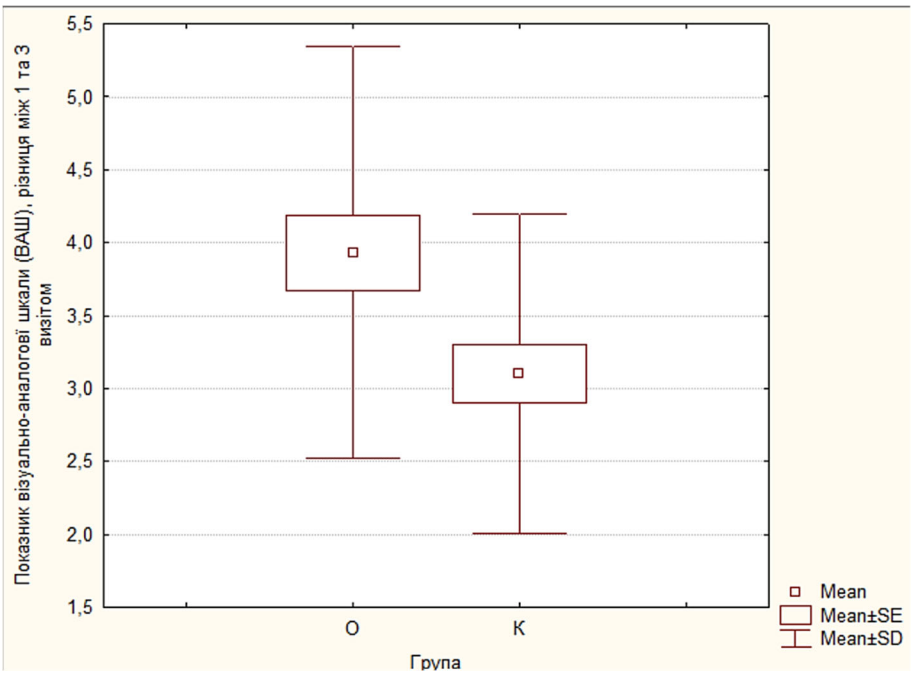
Динаміка швидкості ходьби за 10MWT підтвердила накопичувальний ефект використання системи «Omego Plus» у довготривалому періоді, наявна суттєва різниця між I та III візитом (рис. 1, 2). Статистично значуща міжгрупова перевага на користь основної групи сформувалася

на фінальному етапі оцінювання (візит III). Упровадження системи «Omego Plus» забезпечило зниження інтенсивності больового синдрому в обох групах. Достовірна різниця показників була зафіксована між II та III візитами ($p<0,05$), що вказує на виражену позитивну динаміку та стійкість результату у віддаленому періоді реабілітації.



Mean – середня арифметична величина, SE – стандартна помилка середньої величини, SD – середньоквадратичне відхилення.

Рис. 1. Різниця 10-метрового тесту ходьби в процесі терапії, швидкий темп



Mean – середня арифметична величина, SE – стандартна помилка середньої величини, SD – середньоквадратичне відхилення

Рис. 2. Динаміка рівня болю за ВАШ у процесі терапії

На умовах ліцензії CC BY 4.0

Упровадження системи «Omego Plus» забезпечило зниження інтенсивності больового синдрому в обох групах. Достовірна різниця показників була зафіксована між II та III візитами ($p<0,05$), що вказує на виражену позитивну динаміку та стійкість результату у віддаленому періоді реабілітації.

Незважаючи на складність змішаних контрактур, позитивна динаміка була зафіксована переважно на віддалених етапах спостереження. Якісне ремоделювання та морфофункціональна перебудова уражених тканин вимагають пролонгованого і специфічного механічного навантаження. Застосування системи «Omego Plus» забезпечило статистично значуще збільшення амплітуди рухів та м'язової сили стабілізаторів таза. Тренування на педальних модулях з точним дозуванням опору та біологічним зворотним зв'язком оптимізує нейром'язову координацію та інтенсивно рекрутує неактивні рухові одиниці. Отримані нами результати повністю узгоджуються з даними інших сучасних досліджень, присвячених ефективності роботизованої терапії [8]. Зокрема, у дослідженнях R.S. Calabrò [9] також було відзначено позитивний вплив пристроїв з біологічним зворотним зв'язком на збільшення амплітуди рухів та нейром'язовий контроль порівняно зі стандартними протоколами. Проте наші дані доповнюють результати інших авторів: на відміну від робіт [24], які фокусувалися переважно на аналізі короткострокових результатів консервативного ведення ортопедичних пацієнтів, наше дослідження доводить стійкість досягнутих структурних змін та знеболювального ефекту протягом 3 місяців спостереження при складних бойових політравмах. Це підтверджує виражений накопичувальний ефект системи «Omego Plus» у подоланні терапевтичної резистентності періартикулярних тканин [17, 26]. Функціональні результати за тестом 10MWT засвідчили суттєву різницю швидкості ходьби на користь основної групи, що доводить необхідність пролонгованого роботизованого втручання для відновлення складних біомеханічних патернів.

ВИСНОВКИ

1. Упровадження роботизованої системи «Omego Plus» забезпечує статистично значуще збільшення обсягу рухів у суглобах нижніх кінцівок, зокрема згинання в колінному суглобі та дорсального згинання в гомілковостопному суглобі, демонструючи достовірну перевагу над стандартними протоколами на фінальному етапі терапії.
2. Тренування з дозованим опором на педальних модулях сприяють інтенсивному рекрутуванню рухових одиниць та покращенню нейром'язової координації, що проявляється достовірним зростанням сили стабілізаторів таза (ротаторів, відвідних і привідних м'язів, а також згиначів та розгиначів стегна).
3. Використання системи «Omego Plus» характеризується вираженим накопичувальним ефектом у довготривалому періоді, що підтверджується формуванням статистично значущої міжгрупової переваги у швидкості ходьби за тестом 10MWT на візиті III.
4. Комплексний підхід із застосуванням інноваційних роботизованих систем сприяє стійкому зниженню інтенсивності больового синдрому у віддаленому періоді реабілітації, що оптимізує процес відновлення пацієнтів.
5. Результати переконливо доводять переважаючу ефективність застосованої методики над стандартною для подолання терапевтичної резистентності.

Внески авторів:

Рягузова О.Т. – ресурси, концептуалізація, методологія, дослідження, збір даних, курація даних, формальний аналіз, написання – початковий проєкт, написання – рецензування та редагування.

Логвиненко В.В. – візуалізація, написання – початковий проєкт, написання – рецензування та редагування, адміністрування проєкту, ведення.

Фінансування. Дослідження не має зовнішніх джерел фінансування.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

1. Acar S, Aljumaa H, Şevik K, Karatosun V, Ünver B. The Intrarater and Interrater Reliability and Validity of Universal Goniometer, Digital Inclinometer, and Smartphone Application Measuring Range of Motion in Patients with Total Knee Arthroplasty. Indian J Orthop. 2024;58(6):732-9.
doi: https://doi.org/10.1007/s43465-024-01129-z

2. Banyai AD, Brișan C. Robotics in physical rehabilitation: Systematic review. Healthcare. 2024;12(17):1720. doi: https://doi.org/10.3390/healthcare12171720

3. Burianov OA, Klapchuk YuV, Lytvyshko VO, Hrytsai MP, Derkach SO. [Combat trauma. External fixation devices in the treatment system of wounded with gunshot fractures]. Khirurhiia. Ortopediia. Travma-

tolohiia. Intensyvna terapiia. 2023;3(55):26-8. Ukrainian. Available from: https://health-ua.com/terapiya-i-semeynaya-meditsina/boiova-travma/74188-bojova-travma-aparati-zovnshno-fksatc--vsistem-lkuvannya-poranenih--zvognep

4. Calabrò RS, Calderone A, Fiorente N. Neurosciences and Sports Rehabilitation in ACLR: A Narrative Review on Winning Alliance Strategies and Connecting the Dots. J Funct Morphol Kinesiol. 2025;10(2):119. doi: https://doi.org/10.3390/jfmk10020119

5. Hayda R, Rikhter O, Horehliad O, Nikitin P, Romanenko K, Makhovskyi V, et al. Guest nation symposium: Management of musculoskeletal war injuries. OTA Int. 2025;8(6 Suppl):e443. doi: https://doi.org/10.1097/OI9.0000000000000443

6. Hidayah N, Hakam M, Kushariyadi K. The Assessment of Muscle Strength in Fracture Patients with Manual Muscle Testing: Narrative Literature Review. Jurnal Pendidikan Keperawatan Indonesia. 2021;7(1):73-83. doi: https://doi.org/10.17509/jpki.v7i1.26804

7. Koo M, Yang SW. Visual analogue scale. Encyclopedia. 2025;5(4):190. doi: https://doi.org/10.3390/encyclopedia5040190

8. Kyrychenko A, Khanyukova I, Moroz O, Sirenko O, Kuryata O. Disability trends among elderly Ukrainians in war conditions: A 10-year retrospective study. Aging Clin Exp Res. 2024;36(1):211. doi: https://doi.org/10.1007/s40520-024-02863-y

9. Lim J, Choi A, Kim B. The effects of resistance training on pain, strength, and function in osteoarthritis: Systematic review and meta-analysis. J Pers Med. 2024;14(12):1130. doi: https://doi.org/10.3390/jpm14121130

10. Maduro PA, Carvalho LP, Maduro LAR, Rodrigues AB, Rocha ASL, et al. Accuracy of the Mini-Mental State Examination and Montreal Cognitive Assessment in detecting cognitive impairment in older adults: a comparative study adjusted for educational level. NeuroSci. 2025;6(3):86. doi: https://doi.org/10.3390/neurosci6030086

11. Mezentseva I, Kuzmenko O, Vambol S, Mezentsev S, Vambol V. Trends and challenges of chronic occupational morbidity in Ukraine: A sectoral analysis and preventive strategies. Diversity: Disease Preventive of Research Integrity. 2025;5(2):60-8. doi: https://doi.org/10.24252/diversity.v5i2.52247

12. Pujol N, Boisrenoult P, Beaufils P. Post-traumatic knee stiffness: Surgical techniques. Orthop Traumatol Surg Res. 2015;101(1):S179-86. doi: https://doi.org/10.1016/j.otsr.2014.06.026

13. Pyrizhkov SI, Riazantseva VV, Motoryn RM. Statistics: a textbook. Kyiv: Kyiv National University of Trade and Economics; 2020.

14. Riaguzova OT, Nekhanevych OB. [Effectiveness of using the "Omego Plus" robotic rehabilitation system with biofeedback in patients with myogenic contractures of the lower limb joints]. Aktualni problemy suchasnoi medytsyny: Visnyk Ukrainskoi medychnoi stomatolohichnoi akademii. 2025;25(3):239-45. Ukrainian. doi: https://doi.org/10.31718/2077-1096.25.3.239

15. Riaguzova OT, Nekhanevych OB, Lohvynenko VV. [The impact of the robotic rehabilitation system with biological feedback "Omego Plus" on the functioning of patients with arthrogenic contractures of the joints of the lower extremities]. Medicni perspektivi. 2026;31(1):206-18. Ukrainian. doi: https://doi.org/10.26641/2307-0404.2026.1.356976

16. Svane C, Nielsen JB, Lorentzen J. Nonsurgical Treatment Options for Muscle Contractures in Individuals With Neurologic Disorders: A Systematic Review With Meta-Analysis. Arch Rehabil Res Clin Transl. 2021;3(1):100104. doi: https://doi.org/10.1016/j.arrct.2021.100104

17. Tecer D, Yaşar E, Adıgüzel E. Which treatment protocol is better in rehabilitation of joint contracture? Gulhane Med J. 2020;62(1):14-20. doi: https://doi.org/10.4274/gulhane.galenos.2019.702

18. Temporiti F, Casirati C, Adamo P, Leo D, Marino G, Grappiolo G, et al. Indoor and outdoor 10-Meter Walk Test and Timed Up and Go in patients after total hip arthroplasty: a reliability and comparative study. Arch Physiother. 2024;14(1):90-5. doi: https://doi.org/10.33393/aop.2024.3267

19. Tiazhelov OA, Khasavnekh Aikham AM, Karpinska OD, et al. [Conceptual model of the immobilization contracture formation process]. Ortopediia, travmatolohiia ta protezuvannia. 2022;(3-4):52-61. Ukrainian. doi: https://doi.org/10.15674/0030-598720223-452-61

20. Totska AV, Nekhanevych OB, Korota YuV, Mokhna VS, Kharchenko VO. Effectiveness of using compensatory strategies in the rehabilitation of patients with visual-spatial neglect during the post-acute period of rehabilitation of acute cerebral stroke. Medicni perspectivi. 2025;30(1):127-34. doi: https://doi.org/10.26641/2307-0404.2025.1.325373

21. Trutiak I, Malytskyi V, Samotovka M, Trunkvalter V, Trutiak R, Ivashchenko V. [Problematic issues of limb amputation in wounded with combat trauma]. Pratsi Naukovoho tovarystva im Shevchenka. Medychni nauky. 2023;2(72):2-4. Ukrainian. doi: https://doi.org/10.25040/ntsh2023.02.08

22. Trutiak IR, Prokhorenko HA, Los DV, Medzyn VI, Selmenskyi AI. [Treatment of combat limb trauma in a military medical clinical center]. Ukrainski medychni novyny. 2022;14(3-4):106-7. Ukrainian. Available from: https://umv.com.ua/index.php/journal/article/view/182/173

23. Yokochi M, Nakamura M, Iwata A, Kaneko R, Oi N, Ouchi K, et al. Characteristics of lower limb muscle activity during walking and stair climbing with full weight bearing in postoperative ankle fracture patients. Cureus. 2025;17(7):e87620. doi: https://doi.org/10.7759/cureus.87620

24. Yoo JI, Oh MK, Lee SU, Lee CH. Robot-assisted rehabilitation for total knee or hip replacement surgery patients: A systematic review and meta-analysis. Medicine (Baltimore). 2022;101(40):e30852. doi: https://doi.org/10.1097/MD.0000000000030852

25. Zhong Y, Liu H, Li A. Efficacy of comprehensive rehabilitation training for elderly patients with lower limb fractures after surgery. Pak J Med Sci. 2025;41(7):2046-51. doi: https://doi.org/10.12669/pjms.41.7.12125

26. Zhou CX, Wang F, Zhou Y, Fang QZ, Zhang QB. Formation process of extension knee joint contracture following external immobilization in rats. World J Orthop. 2023;14(9):669-81. doi: https://doi.org/10.5312/wjo.v14.i9.669

Стаття надійшла до редакції 15.07.2026;
затверджена до публікації 13.08.2026

На умовах ліцензії CC BY 4.0