

11. <http://qalmedical.com/s3-shoulder-cpm-device/> - Пристрій CPM Shoulder S3.
12. [https://www.teampostop.net/products\\_services/t-rex-shoulder-unit-total-range-exerciser/](https://www.teampostop.net/products_services/t-rex-shoulder-unit-total-range-exerciser/) - Система T-REX реабілітації плеча.
13. <http://www.beka.ru/ru/katalog/vosstanovlenie-funktsiy-verkhnikh-konechnostey/myro/> - Пристрій для інтерактивної і когнітивної реабілітації верхніх кінцівок Муро.
14. <https://www.bioniklabs.com/products/inmotion-arm> - комп'ютерна система для відновлення рук InMotion ARM.
15. [https://fitness.infmed.com/fitnes\\_catalog/tecnobody/trenirovochnaya\\_sistema\\_isoshift/](https://fitness.infmed.com/fitnes_catalog/tecnobody/trenirovochnaya_sistema_isoshift/) - Система ISO-SHIFT.

Попадюха Ю.А.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ОСОБЛИВОСТІ РЕАБІЛІТАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВЕРХНІХ КІНЦІВОК BIMEO PRO

У статті розглянуто конструктивні особливості, принципи дії та функції системи реабілітації для верхніх кінцівок Bimeo PRO для забезпечення відновлення верхніх кінцівок при різних захворюваннях і пошкодженнях. Мета роботи - аналіз особливостей системи Bimeo PRO в забезпеченні реабілітації верхніх кінцівок.

**Ключові слова:** верхні кінцівки, фізична реабілітація, технічні засоби, датчики, ігрове віртуальне середовище.

**Попадюха Ю.А. Особенности реабилитационной системы для верхних конечностей Bimeo PRO.** В статье рассмотрены конструктивные особенности, принципы действия и функции системы реабилитации верхних конечностей Bimeo PRO для обеспечения восстановления верхних конечностей при различных заболеваниях и повреждениях. Цель работы - анализ особенностей системы Bimeo PRO в обеспечении реабилитации верхних конечностей.

**Ключевые слова:** верхние конечности, физическая реабилитация, технические средства, датчики, игровая виртуальная среда.

**Popadiukha Y.A. Features of the rehabilitation system for upper limbs Bimeo PRO.** The article deals with design features, principles of operation and functions of the Bimeo PRO upper limb rehabilitation system to ensure recovery of the upper limbs in various diseases and injuries. The aim of the work is to analyze the features of the Bimeo PRO system in providing rehabilitation of the upper extremities. The Bimeo PRO system is designed to assist in the rehabilitation of patients recovering from a stroke and suffering from nervous disorders, it is effective in treating patients with multiple sclerosis, with recovery after a brain injury, general trauma, spinal cord injury, rehabilitation of patients with impaired motor functions of the hand due to neurologic and neuromotor disorders, other hand injuries. Rehabilitation system Bimeo PRO provides different modes of physical rehabilitation with various therapeutic applications. The bimanual mode allows the patient to move his injured hand with a less affected (healthy) hand, and clinicians evaluate their bimanual coordination. The isolated mechanical joint mode is concentrated on the separate joints of the arm (shoulder, elbow, wrist), the wrist regime provides specially designed exercises for it. All regimens train patients to perform various tasks related to everyday motor activities, allows physical therapists to accurately assess the range of movements in the damaged hands. Therapy with the Bimeo PRO system refers to the most modern methods of rehabilitation, integrating the gaming VR-environment with its traditional methods. The Bimeo PRO system provides a wide range of therapy modes through the use of various applications, types of recovery and an intuitive interface. The Bimeo PRO system has special sensors for tracking patients when they perform various exercises, including those designed specifically for an objective assessment of the motor functions of the hand. The possibilities of the Bimeo PRO system contain: unique therapy on the supporting surface and in the free space; bimanual therapy on the supporting surface and in the free space; wrist care therapy; therapy with joints of the hands: shoulder (flexion / extension, retraction / reduction, internal rotation), ulnar (flexion / extension, elbow / radial deviation), wrists (flexion / extension, pronation / supination).

**Key words:** upper extremities, physical rehabilitation, technical means, sensors, game virtual environment.

**Постановка проблеми.** Незважаючи на використання у реабілітації верхніх кінцівок після різноманітних захворювань та пошкоджень різних технічних засобів, застосування новітніх систем з використанням середовища віртуальної реальності (VR) для підвищення ефективності реабілітаційних технологій є актуальною науковою та медико-соціальною проблемою.

У фізичній реабілітації пацієнтів з захворюваннями та пошкодженнями верхніх кінцівок (особливо кістей і пальців) застосовуються фізичні вправи [1, с. 503], спеціалізовані пасивні (CPM) та активно-пасивні тренажери: пристрій CPM Shoulder S3 та інші [4, с. 166; 5, с. 52; 6, с. 294; 10], Kinetec Maestra Portable hand CPM, XT DigiGlide Kaiser Portable Hand CPM, Lantz Medical-Vector 1, Kaiser - DigiGlide Hand CPM Softgood Kit, Stat-A-Dyne Pro/Sup, Jace-H440 Hand CPM, Jace-W550 Wrist CPM [9, с. 367-372], комп'ютеризовані [3, с. 15-69; 7, с. 166; 10, 11, 15, 16], та роботизовані системи та пристрої [2, с. 60 - 98; 17] та інші. Незважаючи на використання реабілітаційних програм, щодо відновлення людини після захворювань і пошкоджень верхніх кінцівок [1, с. 508; 5, с. 51; 7, с. 64], ще мало задіяні новітні технології та системи з використанням VR-середовищ.

Постановка проблеми - проаналізувати функціональні та конструктивні особливості системи реабілітації для верхніх кінцівок Bimeo PRO з використанням VR-середовищ [12-14] для забезпечення відновлення верхніх кінцівок при різних

захворюваннях і пошкодженнях.

**Актуальність дослідження** – підвищення ефективності реабілітації верхніх кінцівок при різних захворюваннях і пошкодженнях за рахунок використання системи реабілітації для верхніх кінцівок Vimeo PRO.

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Роботу виконано за планом НДР «Розробка технологій фізичної терапії та засобів їх здійснення» (№ держ. реєстрації 0117U002933) кафедри біобезпеки і здоров'я людини НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Забезпечення відновлення функцій верхньої кінцівки після різноманітних захворювань (інсульт, склероз, неврологічні та моторні розлади) та пошкоджень (травми головного та спинного мозку, загальні травми, травми верхньої кінцівки) є актуальною і важливою проблемою. Натепер основними засобами фізичної реабілітації є [1, с. 508]: лікувальна гімнастика, масаж, фізіотерапія, гідрокінезотерапія, а також механотерапія [4 - 7, 9], роботизовані та комп'ютеризовані комплекси, системи та пристрої різних типів: Biodex Multi-Joint System 4, Amadeo і Armeo, Diego і ReoGo, Gloreha і серії LegTutor [2], Cybex Humac Norm, Primus RS і TechTrainer, HUR, Panatta і EN-Dinamic Track [3], Multi-Joint System MJS 403 Plus [8], T-REX [11], Myro [15], InMotion ARM [16], Armotion [17] та інші. Проте ще не в повні міри вирішені питання відносно можливостей застосування новітньої системи реабілітації для верхніх кінцівок Vimeo PRO з використанням VR-середовища [12-14] для комплексного забезпечення відновлення верхніх кінцівок при різних захворюваннях і пошкодженнях.

**Новизна.** Проведено комплексний аналіз функцій і конструктивних особливостей новітньої реабілітаційної системи для верхніх кінцівок Vimeo PRO з використанням VR-середовища для комплексного забезпечення відновлення верхніх кінцівок при різних захворюваннях і пошкодженнях.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Методичні підходи щодо застосування новітньої реабілітаційної системи для верхніх кінцівок Vimeo PRO з використанням VR-середовища, підвищать ефективність реабілітаційних заходів з відновлення верхніх кінцівок пацієнтів при різних захворюваннях і пошкодженнях, а також проведення наукових досліджень з використання систем з використанням VR-середовища у вирішенні сучасних аспектів фізичної реабілітації.

**Викладення основного матеріалу.** Реабілітаційна система для верхніх кінцівок Vimeo PRO компанії Kinestica d.o.o. (Словенія) забезпечує різні режими фізичної реабілітації з різноманітними терапевтичними додатками. Так, бімануальний режим дозволяє пацієнтам рухати постраждалою рукою за допомогою менш постраждалої (здорової) руки, що дозволяє фізичним терапевтам оцінити їх бімануальну координацію. Ізольований механічний суглобовий режим зосереджений на окремих суглобах руки (плечовий, ліктювий, зап'ястя), а окремий режим для зап'ястя забезпечує спеціально розроблені для нього вправи. Всі режими тренують пацієнтів для виконання різних завдань, пов'язаних з повсякденними руховими діями, що дозволяє фізичним терапевтам точно оцінювати діапазон рухів у пошкоджених руках. Спочатку система Vimeo PRO (рис. 1) була розроблена для надання допомоги у реабілітації пацієнтам, які відновлюються після інсульту, і хто страждає нервовими рухами. В ході клінічних випробувань система також виявилася успішною в лікуванні хворих на розсіяний склероз, аміотропний бічний склероз, пацієнтів, які відновлюються після травми головного мозку, загальної травми, пошкодження спинного мозку, відновлення пацієнтів з неврологічними та нейромоторними розладами, інших порушень руки.



Рис. 1. Види реабілітаційної системи для верхніх кінцівок Vimeo PRO.

Терапія з системою Vimeo PRO відноситься до найсучасніших методів реабілітації, що об'єднує ігрове VR-середовище з її традиційними методами. Пацієнту рекомендується діяти пошкодженою рукою, яка підтримується рухом менш постраждалої (здорової) руки. Підтримка контролюється та оптимізується завдяки адаптації автоматичної терапії, яка доповнюється діями з повсякденних життєвих рухів та пізнавальними завданнями, тоді як специфічні завдання призначені для оцінки об'єктивної рухової функції. Фахівці можуть легко відстежувати прогрес хворого та відрегулювати труднощі в реабілітації пацієнта відповідно до його потреб. Реабілітація стає більш ефективною, а її термін більш коротким. Система Vimeo PRO забезпечує широкий спектр режимів терапії за рахунок використання різноманітних додатків (рис. 2), видів відновлення та інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу користувача.



Рис. 2. Види додатків реабілітаційної системи Vimeo PRO.

*Можливості системи Vimeo PRO вміщують:* унікальну терапію на опорній поверхні та у вільному просторі; бімануальну терапію на опорній поверхні та у вільному просторі; терапію зап'ясть у сфері підтримки; терапію з ізоляцією суглобів рук: плечовий (згинання / розгинання, відведення / приведення, внутрішнє обертання), ліктьовий (згинання / розгинання, ліктьове / радіальне відхилення), зап'ястя (згинання / розгинання, пронація / супінація); систему домашньої реабілітації, яка об'єднує технології для захвату руху з VR-середовищем та веб-платформу у всеосяжну систему; VR-ігри, які керуються пацієнтом шляхом переміщення кінцівки, а фахівець зможе стежити за терапією через інтернет-платформу та адаптувати її до пацієнта; широкий спектр режимів, що вимагають різних терапевтичних вкладень, а механізм швидкого звільнення дозволяє легко обмінюватися вкладеннями, і новий режим терапії запускається кількома клацаннями миші у простому і зрозумілому інтерфейсі користувача.

Система Vimeo PRO має спеціальні датчики для відстеження пацієнтів, коли вони виконують різні вправи, в тому числі ті, що розроблені спеціально для об'єктивної оцінки рухових функцій руки. Це дозволяє фахівцям контролювати прогрес пацієнтів та адаптувати програми реабілітації та рівні складності до індивідуальних потреб і здібностей хворого. Система пропонує 2 групи терапевтичних вправ: 1 - закликає пацієнтів виконувати ізольовані рухи так точно, як вони можуть, а 2 - вимагає більш складних рухів, аналогічних тим, які необхідні для виконання у повсякденному житті.

Одним з підходів для підвищення мотивації пацієнта у моторній реабілітації є VR. Доказано, що тренування з комбінацією реабілітаційного робота та VR приводять до кращого результату реабілітації, ніж при використанні одного робота, а VR-середовища для моторної реабілітації у домашніх умовах показали, що забезпечують функціональне відновлення верхньої кінцівки. Вони найбільш поширені для реабілітації рук і можуть грубо поділятися на діяльність повсякденного життя (ADL) і Gamelike VR. ADL імітують реалістичні завдання, які пацієнт зустрічає в повсякденному житті, наприклад, прибирання та готування їжі.

Gamelike VR також тренує важливі рухи, такі як дотягнення і захват, але роблять це в таких ігрових ситуаціях, як ловля тварин, ігри в теніс або пірнання. Загальне обґрунтування ADL полягає в тому, що вони дозволяють легше переносити навчені рухи з VR до реального життя. ADL і Gamelike VR включили ряд методів для покращення мотивації пацієнта, де одним із самих ранніх і найбільш вивчених є адаптація вправ: труднощі та тип вправи повинні бути належним чином індивідуалізовані для кожного пацієнта, щоб забезпечити складний, але приємний досвід відновлення.

Ця адаптація часто виконується в режимі реального часу під час вправи на основі показників ефективності пацієнта у VR-середовищі, а також різних показників рухової активності, таких як швидкість кінцівок, форма траєкторії руху кінцівок та середні межі взаємодії між кінцівкою та реабілітаційним обладнанням. Окрім того, що на них базується адаптація в навчанні, ці показники можуть бути використані для надання пацієнтам відгуків відносно їхньої діяльності. Доведено, що пацієнти, як правило, отримують недостатній зворотний зв'язок, а створене відповідне забезпечення через VR-середовище допомагає їм навчатися і не дозволяє розчаруватися, якщо вони не сприймають зміни в роботі. Увага розробників зосереджена на аспектах створення ігор, а не аналізі руху та ефективності. Вони виділили декілька принципів проектування аудіо-візуальних елементів VR-середовища для моторної реабілітації, зокрема зробивши гру важливою та корисною для людей похилого віку.

Крім того, не всі VR-середовища є доцільними для всіх пацієнтів. Так, VR-моторна реабілітація покращується шляхом додавання когнітивного завдання - необхідність розпізнавати і запам'ятовувати різні об'єкти; однак, хоча це може бути весело і корисно для деяких пацієнтів, з потерпілими з-за інсульту з істотними когнітивними порушеннями це може виявитися заплутаним та стресовим станом. Питання про те, що не всі реабілітаційні VR-середовища, придатні для всіх пацієнтів, стали помітними при їх розвитку, які дозволяють декільком пацієнтам разом проводити реабілітацію, чи пацієнту разом з фахівцем або членом сім'ї робити необхідні відновні дії.

Це може мати форму конкуренції або співпраці. Однак, хоча деякі ранні випробування виявили позитивний вплив на мотивацію, деякі фахівці зазначили, що ряд пацієнтів були надзвичайно зайняті конкурентними аспектами. Дослідженнями показано, що особистість людини передбачає, чи користується вона конкурентоспроможним або кооперативним VR-середовищем, і як тільки пацієнти, які знайдуть конкурентоспроможне, їм буде приємніше працювати в ньому. Проблема стає ще більш складною, коли два «гравці» мають різні рівні кваліфікації - важко хворі і малозабезпечені пацієнти або пацієнт і терапевт. У таких випадках алгоритми адаптації в навчанні мають вирішальне значення, але їх набагато складніше створювати, оскільки необхідно враховувати характеристики та продуктивність обох людей. Незважаючи на те, що для цієї мети запропоновано декілька методів, вони відносно прості та визначаються лише обмеженою оцінкою.

Інерційна система захвату руху Vimeo PRO має комплект інерційних датчиків виміру (комбінації акселерометра, гіроскопа, магнітометра), які розміщені на руці, а також ручний датчик сил, що дозволяє відстежувати кінетику рук з високою точністю, яка зменшується для дуже швидких рухів, які не поширені в моторній реабілітації і, як правило, пов'язані з небажаними чинниками - спазми. Система має VR-середовище з конкурентними та коопераційними елементами, в які можуть грати пацієнт вдома з другом або членом сім'ї. Вони базуються на попередньо запропонованих та багатопрофільних реабілітаційних VR-середовищах, що спеціально адаптовані для використання з двома інерціальними системами в домашніх умовах. Пацієнти використовують систему відстеження інерційного руху Vimeo PRO для реабілітації рук, інерційні датчики вимірювання кріпляться до руки, а датчик сили тримається в руці (рис. 3).



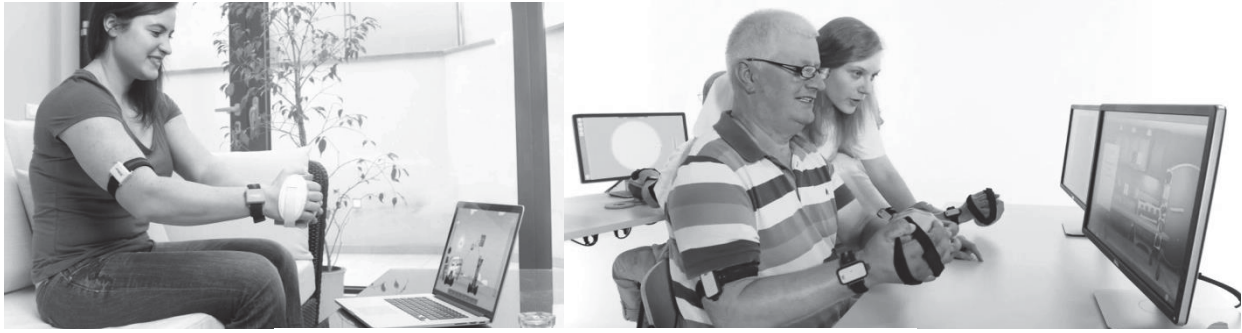


Рис. 3.8.41. Види системи відстеження інерційного руху Vimeo PRO.

Алгоритми адаптації створені для збалансованості і комфорту для обох «гравців». Передбачено два різних алгоритми: 1 - перешкоджає «кращому гравцеві», вимагаючи від нього, виконувати складніші рухи, 2 - допомагає «слабкому гравцеві» надаючи йому додаткові візуальні відгуки зробити завдання легше. На додаток до конкурентних навчань з ускладненням адаптації, розвинені спільні вправи у VR-середовищах де гравці повинні працювати разом для досягнення загальної мети. Вони можуть безпосередньо співпрацювати (кожен гравець повинен підняти кінець великого VR-об'єкта) або окремо (об'єкти розміщено у правильному місці, але один гравець може розмістити більше об'єктів). У конкурентоспроможних VR-середовищах працюють лише конкурентоспроможні пацієнти і вони потребують ретельної адаптації труднощів. Оскільки конкуренція існує між двома людьми, котрі добре знають один одного (друзі або члени сім'ї), адаптація труднощів не є критичною. Деякі фізичні вправи на реабілітаційній системі для верхніх кінцівок Vimeo PRO наведені на Рис. 4.

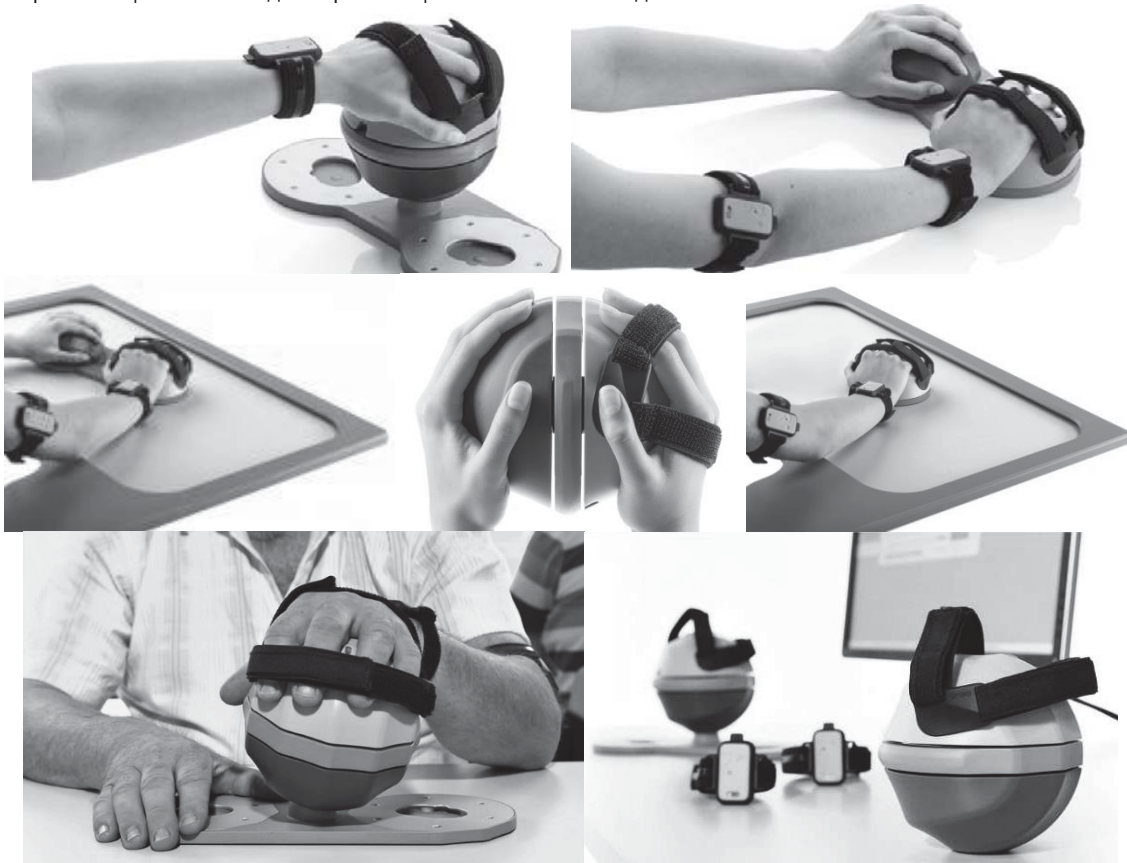


Рис. 4. Деякі фізичні вправи на реабілітаційній системі Vimeo PRO.

Кооперативні VR-середовища простіші, оскільки два гравця можуть створювати неформальні ролі під час гри - здорова людина може робити більшу частину роботи або виконувати завдання, які пацієнт не може. Перспективні можливості Vimeo PRO - якщо конкурентоспроможні і кооперативні VR-середовища є ефективними (рис. 5), створюють апаратне забезпечення, яке забезпечує зворотний зв'язок пацієнта. Так член сім'ї може фізично допомагати пацієнту у VR-середовищі шляхом переміщення його руки через реабілітаційне обладнання. Оскільки пацієнти з інсультом часто страждають на геміпарези, домашня фізична реабілітація розроблена так, щоб одна рука підтримувала іншу і компенсувала її слабкі сторони. Важливе поєднання інерційного пристрою відстеження руху з VR-середовищем, що містить елементи конкуренції та співпраці. Вони мають значні потенційні переваги і створені таким чином, щоб не засмучувати пацієнта.

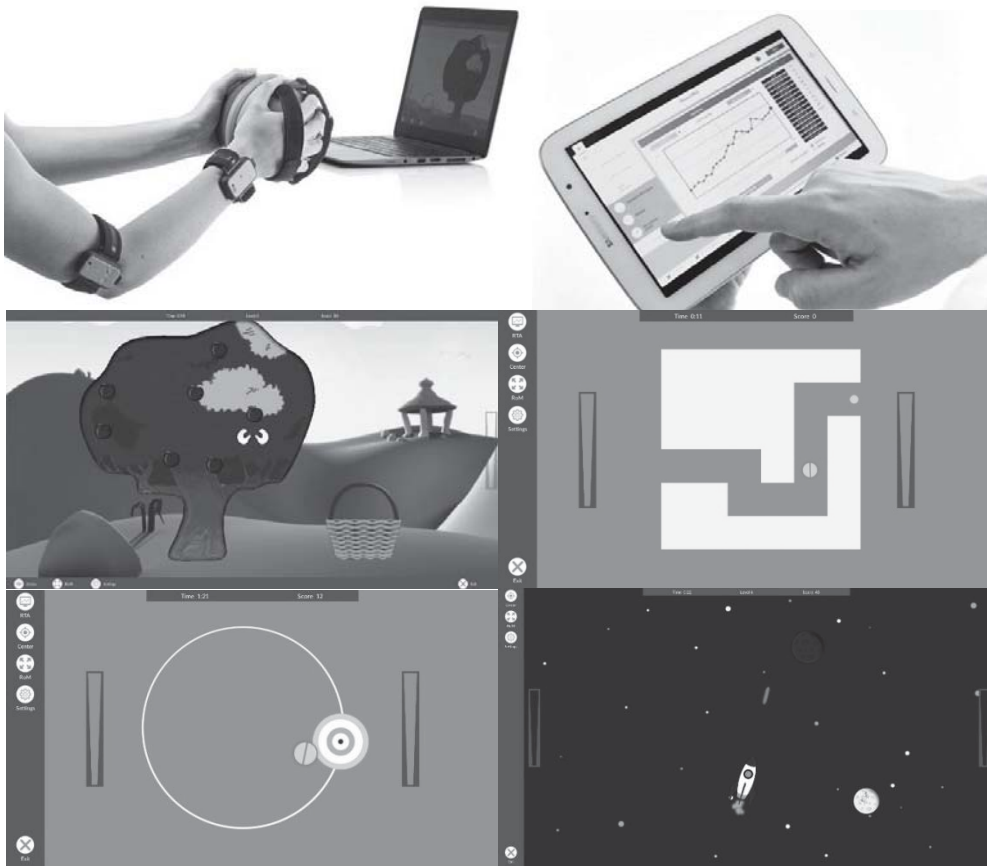


Рис. 5. Елементи VR-середовища реабілітаційної системи Vimeo PRO.

#### Головні висновки.

1. Важливою проблемою у реабілітації верхніх кінцівок є застосування новітньої реабілітаційної системи для верхніх кінцівок Vimeo PRO з використанням VR-середовища для комплексного забезпечення відновлення верхніх кінцівок при різних захворюваннях і пошкодженнях.

2. Наведений аналіз характеристик, функцій та особливостей дії новітньої реабілітаційної системи для верхніх кінцівок Vimeo PRO дозволяє зробити висновок про те, що тренування на цій системі значно підвищать ефективність фізичної реабілітації.

#### Перспективи використання результатів дослідження.

Проведення реабілітаційних заходів з відновлення верхніх кінцівок під час тренувань на системі Vimeo PRO з наступною оцінкою результатів.

#### Література:

1. Марченко О.К. Основы физической реабилитации: учеб. для студентов вузов / О.К. Марченко. – К.: Олимп. лит., 2012. – 528 с. – Библиогр.: С. 519 - 527.
2. Попадюха Ю. А. Сучасні роботизовані комплекси, системи та пристрої у реабілітаційних технологіях: Навч. посіб. / Ю.А. Попадюха.. – К.: Центр учбової літератури, 2017. – 324 с.
3. Попадюха Ю. А. Сучасні комп'ютеризовані комплекси та системи у технологіях фізичної реабілітації: Навч. посіб. / Ю.А. Попадюха.. – К.: Центр учбової літератури, 2017. – 300 с.
4. Попадюха Ю.А. Технічні засоби для відновлення рухових функцій верхніх кінцівок людини / Ю.А. Попадюха, Н.І.Пеценко // Науковий часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова, Серія 5 Педагогічні науки: реалії та перспективи. Випуск 14, 2009. - С. 165 - 168.
5. Попадюха Ю.А. Методи и средства физической реабилитации при распространенных повреждениях плеча / Ю.А. Попадюха, Адель М.А. Марайта, Н.П. Литовченко // Науковий часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова, Серія 15. Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт). Зб. наукових праць. – К.: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2012. - Випуск 22. С. 48 - 60.
6. Попадюха Ю.А. Технічні засоби у фізичній реабілітації спортсменів з пошкодженнями у ліктьовому суглобі / Ю.А. Попадюха // Науковий часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова, Серія 15. Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт). Зб. наукових праць. – К.: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2014. - Випуск 3К (45) 14, - С. 291 – 297.
7. Попадюха Ю.А. Пути восстановления биомеханики плечевого сустава после артроскопического лечения поврежденной вращательной манжеты плеча / Ю.А. Попадюха // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. Серія: Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт. – Чернігів: ЧНПУ, 2014. – № 118 (3). – С. 60 – 67.

8. Попадюха Ю.А. Комп'ютеризована система Multi-Joint System MJS 403 Plus у превентивній реабілітації пошкоджень і захворювань плечового суглоба / Ю.А.Попадюха, М.О.Демиденко // Молодіжний науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія : Фізичне виховання і спорт. Випуск 23, Луцьк, 2016. - С. 104 - 111.
9. **Попадюха Ю.А.** Современные СPM-тренажеры для восстановления двигательных функций кисти и пальцев руки / Ю.А.Попадюха // «Современные здоровьесберегающие технологии». Научно-практический журнал № 4, 2017. - С. 364 - 376.
10. <http://qalmedical.com/s3-shoulder-cpm-device/> - Пристрій СPM Shoulder S3.
11. [https://www.teampostop.net/products\\_services/t-rex-shoulder-unit-total-range-exerciser/](https://www.teampostop.net/products_services/t-rex-shoulder-unit-total-range-exerciser/) - Система Т-REX реабілітації плеча.
12. <http://www.delo.si/gospodarstvo/podjetja/slovenski-podjetji-do-50-000-evropskih-evrov.html>. - Реабілітаційна система Bimeo PRO.
13. <http://www.roboticare.nl/bimeo-pro/> - Система Bimeo PRO.
14. <https://www.omniagmd.com/product/bimeo-pro-0>. - Реабілітаційна система для верхніх кінцівок Bimeo PRO.
15. <http://www.beka.ru/ru/katalog/vosstanovlenie-funktsiy-verkhnikh-konechnostey/myro/> - Пристрій для інтерактивної і когнітивної реабілітації верхніх кінцівок Myro.
16. <https://www.bioniklabs.com/products/inmotion-arm> - Комп'ютерна система для відновлення рук InMotion ARM.
17. <https://www.rehatechnology.com/en/products/armotion> - Інноваційний роботизований комплекс Armotion.

**Приймаков А.А.<sup>1,2</sup>, Ейдер Ежи<sup>1</sup>, Коленков А.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Щецинський університет, Щецин, Польща

<sup>2</sup>Национальный педагогический университет имени М.П. Драгоманова, Киев, Украина

<sup>3</sup>Мариупольський гуманітарний університет, Мариуполь, Украина

#### **СОПРЯЖЕННАЯ АКТИВНОСТЬ МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЦИКЛИЧЕСКИМ ДВИЖЕНИЕМ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЭРГОМЕТРИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ СПОРТСМЕНОВ**

*В работе изучены закономерности сопряженной мышечной активности при управлении циклическим движением в различных условиях функционирования организма спортсменов-велосипедистов. Выявлено, что управление циклическими движениями характеризуется жестким, программным механизмом регулирования. Явное утомление нарушает генетически обусловленные реципрокные взаимоотношения мышц-антагонистов при управлении циклическим движением на велоэргометре. Отмечена важная роль межмышечных перестроек в компенсации утомления при мышечной деятельности, в поддержании высокого уровня работоспособности. Выявлены ведущие показатели и критерии утомления во взаимосвязях мышц у спортсменов, разработаны математические модели, имеющие оценочную и прогностическую значимость.*

**Ключевые слова:** *мышцы, взаимосвязи, циклическая работа, управление движением, утомление, математические модели.*

**Приймаков О.О., Ейдер Ежи, Коленков О.В.** *Сполучена активність м'язів нижніх кінцівок при управлінні циклічним рухом в різних режимах ергометричного тестування спортсменів. Вивчено закономірності м'язової активності і міжм'язових взаємозв'язків при управлінні повторюваним циклічним рухом в різних умовах функціонування організму спортсменів-велосипедистів. Виявлено, що управління циклічними рухами характеризується жорстким, програмним механізмом регулювання. Явна втома порушує генетично обумовлені реципрокні взаємозв'язки м'язів-антагоністів при управлінні циклічним рухом на велоергометрі. Відзначено важливу роль міжм'язових перебудов в компенсації втоми при напруженій м'язовій діяльності, в підтриманні високого рівня працездатності. Виявлено провідні показники і критерії втоми у взаємозв'язках м'язів у спортсменів, розроблені математичні моделі, що мають оцінну і прогностичну значимість.*

**Ключові слова:** *м'язи, взаємозв'язку, циклічна робота, управління рухом, стомлення, математичні моделі.*

**Pryimakov O.O., Ejder E., Kolenkov A.V.** *United activity of muscles of lower limbs in controlling cyclic motion in various regimes of ergometric testing of athletes. The patterns of muscle interconnections in the control of repeated cyclic movement in various conditions of the functioning of the organism of athletes who specialize in bicycle sport are studied. It was revealed that cyclic movement control is characterized by a rigid programmable control mechanism: in the process of increasing the capacity of the exercise and in different states in muscle activity, the output parameters of the central power regulation program are scaled. In this case, there is a relative stability of the time of the performed movement and the duration of the electrical activity of the muscles. The most interconnected with veloergometry are the quadriceps muscles of the right and left thighs, the strength of the exercise performed and the efforts exerted on the pedal. When the physical load is exercised to failure, the degree of integration of the muscles of the lower limbs increases. The quadriceps and biceps muscles of the thigh and the calf muscles of the lower leg are the most important contributors to the effort. When the person is fatigue there is a redistribution of the share of muscle involvement and a change in muscle relationships. Explicit fatigue disrupts the reciprocal interactions of the antagonist muscles during cyclic movement on the veloergometer. The important role of reorganizations of muscular interrelations in compensation of fatigue at intense muscular activity, in maintenance of high level of working capacity is marked. Leading indicators and criteria of fatigue in the*