

Особливості застосування роботизованого комплексу ReoGo у фізичній реабілітації верхніх кінцівок

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (м. Київ)

Постановка наукової проблеми та її значення. Незважаючи на використання у фізичній реабілітації (ФР) при травмах і хворобах верхніх кінцівок різноманітних технічних засобів, застосування новітніх роботизованих комплексів і систем із біологічним зворотним зв'язком (БЗЗ) для підвищення її ефективності після пошкоджень та хвороб верхніх кінцівок людини є актуальною науковою й медико-соціальною проблемою.

У фізичній реабілітації після травм і захворювань верхніх кінцівок використовують фізичні вправи [1, 507; 2, 625; 3, 67; 4, 303], реабілітаційні СРМ-тренажери [3, 65; 7, 64; 8, 61; 9, 53; 10, 64; 11, 66; 12, 115; 13, 294], комп'ютерні системи [5, 91; 6, 74 та ін. Незважаючи на існування програм ФР щодо відновлення верхніх кінцівок після пошкоджень [3, 67; 4, 302; 9, 52; 11, 64; 12, 115], ще мало задіяні новітні роботизовані засоби з використанням БЗЗ.

Постає проблема стосовно аналізу функціональних та конструктивних можливостей новітнього роботизованого комплексу ReoGo з розширеним БЗЗ [15–18] для забезпечення підвищення ФР пошкоджених (хворих) верхніх кінцівок людини. Роботу виконано відповідно до плану НДР «Розробка технологій забезпечення психолого-фізичної реабілітації і оздоровлення людини» (№ держ. реєстрації – 0111U003539) кафедри біобезпеки і здоров'я людини НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського».

Аналіз досліджень цієї проблеми. Відновлення функцій пошкоджених рук людини – актуальна та важлива проблема. Основними засобами ФР сьогодні лікувальна гімнастика, фізіотерапія, масаж, механотерапія на базі мікропроцесорних СРМ-тренажерів різних типів [1, 508; 3, 66; 4, 302] (OptiFlex, Fisiotek, Artromot, Kinetec [7, 166; 8, 383; 9, 50], комп'ютеризовані системи [5, 91; 6, 73; 12, 110].

Формулювання мети й завдання дослідження. Мета статті – аналіз функціональних і конструктивних особливостей роботизованого комплексу ReoGo з БЗЗ для потреб фізичної реабілітації верхніх кінцівок.

Завдання дослідження – розглянути функціональні та конструктивні особливості новітнього роботизованого комплексу ReoGo із розширеним БЗЗ, який забезпечує підвищення ефективності фізичної реабілітації пошкоджень і захворювань верхніх кінцівок людини.

Виклад основного матеріалу та обґрунтування отриманих результатів дослідження. У житті суспільства прогресують захворювання й пошкодження верхніх кінцівок, що призводять до втрати працездатності. Зріс ризик побутового та спортивного травматизму. Під час проведення інтенсивних професійних дій, навчально-тренувальних занять і змагань верхні кінцівки спортсменів переносять велике статодинамічне навантаження. Одним із новітніх напрямів відновлення рухових функцій кінцівок є роботизована механотерапія [14, 122], суть якої полягає у використанні спеціальних роботизованих конструкцій для тренування функцій верхніх і нижніх кінцівок із наявністю БЗЗ.

Перевага робототерапії – досягнення найкращої якості тренувань, порівняно з традиційною ЛФК, завдяки таким факторам, як збільшення тривалості занять, висока точність циклічних багаторазово повторюваних рухів, незмінна рівномірна програма тренувань, наявність механізмів оцінки ефективності фізичних вправ, що виконуються, і можливість показати її пацієнтові.

Типи реабілітаційних роботизованих комплексів (систем):

1. Комплекс (система) для фізичної реабілітації верхніх кінцівок.

Такий тип засобів призначено для відновлення функції кистей і пальців рук переважно під час інсультів та черепно-мозкових травм, а також можливого проведення програм ФР у разі посттравматичних і післяопераційних патологій суглобів кистей рук, хронічних дегенеративних та запальних захворювань суглобів кистей рук. Суть дії комплексу полягає в техніці зворотного навчання рухів верхніх кінцівок. При травмі або інсульті в ділянці поразки мозкової тканини клітини гинуть і в цьому сегменті мозку припиняється передача імпульсів. Однак, завдяки механізму *нейропластичності* [14], мозок може адаптуватися до багатьох патологічних ситуацій.

Нейропластичність – це здатність здорових нейронів, які розташовані біля вогнища ураження мозкової тканини, з'єднуватися з оточуючими нервовими клітинами й приймати на себе певні функції, за відповідних умов (отримання стимулів із периферії) відновлювати інформаційну передачу між ЦНС і периферичною нервовою системою. Тому дуже важливим фактором є програма дій певних стимулів на уражену зону головного мозку. Серед таких стимулів – багаторазово повторювані функціональні рухи, які виконуються дуже точно в певному порядку.

Тренування на роботизованих реабілітаційних комплексах (тренажерах) забезпечують подібну програму стимулів, оскільки він може виконати 300–500 високоточних повторюваних рухів за годину (порівняно з 30–40 рухами за звичайних тренувань), створюючи оптимальні умови для відновлення функцій руки в більш короткий термін. Курс терапії можна проходити в стаціонарі щодня або амбулаторно, тоді курс проводять погодинно 2–3 рази на тиждень.

Верхня кінцівка людини – найбільш розвинений та ефективний інструмент-орган, що являє собою складний кінематичний ланцюг, який складається із суглобів плечового пояса, ліктьового й променево-зап'ястного суглобів, суглобів кисті. Наймобільніший суглоб тіла людини – плечовий суглоб (ПС), що володіє трьома ступенями свободи, дозволяючи йому здійснювати рухи в трьох площинах і відносно трьох основних осей. Мобільність ПС, крім можливості до самообслуговування, забезпечує функцію захвату, дає змогу дотягнутися до віддалених предметів і забезпечити найбільш зручне положення кисті для безпосереднього захвату предмета.

Ліктьовий суглоб виконує дві різні функції: згинання/розгинання та пронація/супінація, забезпечує механічний зв'язок між плечем і передпліччям. Наявність цього суглоба дає змогу дотягнутися кистю до ділянки ПС та рота. Для успішного відновлення функції руки застосовують комплекс фізичних вправ, що складається з набору вправ, спрямованих на посилення м'язової сили й збільшення обсягу рухів у суглобах; зниження та нормалізацію підвищеного м'язового тону; усунення патологічних співдружних рухів; покращення координаційних можливостей; зменшення розладів чутливості; навчання комплексних навичок побутового самообслуговування.

Сучасну теорію рухового навчання побудовано на системній моделі рухового контролю, на основі якої розроблено нові підходи в кінезотерапії, зокрема теорія цілеспрямованого рухового навчання (*task-oriented approach*). Цей метод, на відміну від традиційних підходів, спрямованих на відновлення окремих рухів і функцій, орієнтований на тренування й відновлення певного рухового завдання. Однією з методик, покликаних інтенсифікувати рухове навчання, є метод примусового (форсованого) тренування (*constraint induced therapy*), який полягає в тому, що здорову руку пацієнта фіксують, виключаючи можливість користуватися нею під час щоденної діяльності, змушуючи людину активніше користуватися ураженою рукою. Ефективність цієї методики не викликає сумнівів, проте застосування її можливе лише в пацієнтів із легким і помірними парезами. Проблема ФР пацієнтів із грубими руховими порушеннями дала поштовх для створення роботизованих і механотерапевтичних засобів.

Для комплексної апаратної ФР руки застосовують широкий спектр роботизованих і механотерапевтичних засобів, що умовно ділять на дві основні групи – *роботизовані* й *механотерапевтичні*. Роботизованими є засоби, що забезпечені двигунами для виконання необхідного руху або допомоги, що володіють антропоморфністю (схожість із живим організмом, його частиною), а також інтерактивністю (здатністю змінювати стереотип своєї дії залежно від умов довкілля, ґрунтуючись на показниках убудованих датчиків. Механотерапевтичними є тренажери (засоби), що мають двигуни для забезпечення запрограмованого руху, вони можуть бути забезпечені датчиками та використовувати принцип БЗЗ.

Поштовхом до розвитку роботизованих і механотерапевтичних засобів стала проблема тренування пацієнтів із грубими парезами й необхідність у пристрої, що забезпечує розвантаження ваги паретичної кінцівки для повноцінного тренування активних рухів. Забезпечення цілеспрямованого рухового навчання рухів вимагає від цих засобів максимальної відповідності анатомічним і біомеханічним особливостям руки, у зв'язку з чим постала проблема створення засобів, що мають екзоскелетну конструкцію.

Ще одним прикладом еволюції реабілітаційних технологій є пристрої з інтегрованою функціональною електростимуляцією (ФЕС). Звичайну й навіть ФЕС застосовують у відновному лікуванні давно, але в останні роки технологія дала змогу інтегрувати ФЕС у роботизовані та механотерапевтичні технології. Сьогодні повноцінних екзоскелетних систем для руки з убудованою інтерактивною системою ФЕС не існує, водночас активна робота над прототипами уможливило очікування їх появи в найближчому майбутньому.

Особливу складність під час рухової ФР руки викликає відновлення дрібної моторики кисті, яка виконує статичну, динамічну й сенсорну функції. Витягнута вперед рука, відкрита, із прямими пальцями служить лопатою, совком, а зігнуті пальці – гачком, щипцями. Більш складна її функція – захват. Під час його виконання людина, залежно від мети руху, характеру об'єкта (розмір, маса, форма, консистенція), утворює з кисті новий механізм і створює нові пози.

В основі різноманітних рухів лежать шість видів захвату: гачковий, міжпальцевий, площинний, щипковий, циліндричний, кульовий. Точність, міцність захвату здійснюється не лише всіма відділами кисті (пальцями, п'ястком, зап'ястям), але дуже залежить від функції надпліччя, плеча, ліктя, передпліччя. Захват й утримання предметів – складний руховий акт, що складається з низки підготовчих моментів. Деякі з існуючих роботизованих і механотерапевтичних тренажерів дають змогу тренувати циліндричний захват кисті за допомогою датчиків, що містяться в рукоятці пристрою, та системи

БЗЗ. Однак у пацієнтів із високим м'язовим тонусом у згиначах пальців і відсутністю активного розгинання пальців тренування на таких засобах неможливе.

Більшість тренажерів і роботизованих засобів для тренування дрібної моторики кисті мають вигляд екзоскелета, забезпеченого електро- або пневмоприводами для кожного пальця. Особливість пристроїв для тренування дрібної моторики кисті – наявність приводу або двигуна для кожного пальця руки. Як правило, ці пристрої являють собою екзоскелет і виконані у формі рукавички, що може бути з жорсткою та м'якою конструкцією, проте не всі роботизовані пристрої для тренування дрібної моторики мають вигляд екзоскелета.

Незважаючи на широкий спектр роботизованих засобів і значно підвищені можливості сучасної ФР, не завжди вдається повністю відновити втрачену функцію руки. Необхідність в індивідуальній незалежності таких пацієнтів поряд із теорією СІ-терапії привела до виникнення принципово нового виду технологій – роботів-асистентів. Вони не призначені для відновлення функції, оскільки їхнє завдання – забезпечити необхідну допомогу пацієнтові для повноцінного задоволення необхідного завдання. Подібні пристрої застосовуються для виконання щоденних побутових потреб, забезпечуючи допомогу для самостійного виконання поставленого завдання. Якщо обсяг активних рухів у руці значно обмежений, використовують роботизовані маніпулятори, керовані пацієнтом, вони повністю виконують дії, які потрібні для пацієнта.

За наявності мінімальних довільних рухів досить розвантажити власну вагу руки, створивши ефект невагомості, щоб пацієнт міг активно використовувати уражену руку в повному обсязі. Досвід застосування роботизованої та механотерапії дав змогу визначити деякі вимоги й рекомендації до забезпечення високотехнологічної рухової ФР: допомога роботизованих засобів повинна бути мінімальною; висока мотивація пацієнта щодо відновлення; різноманітність програм тренувань, наявність БЗЗ; регулярна оцінка моторної функції з подальшим коригуванням навантаження; уникати монотерапії.

Наявні роботизовані технології уможливають проведення максимально ефективної кінезотерапії практично всіх ізольованих і комплексних рухів руки, у тому числі цілеспрямованих. Розвиток технологій і розширення асортименту цих засобів роблять їх більш компактними й економічно доступними для пацієнтів, у яких з'являється можливість продовжити курс активної комплексної ФР на дому, після виписки зі стаціонару, що може значно прискорити відновлення рухової функції руки.

Роботизований реабілітаційний комплекс ReoGo для розширеної функціональної терапії верхніх кінцівок із розширеним БЗЗ фірми «Motorika», (Ізраїль) призначений для розвитку й посилення локомоторної та хапальної функцій. Комплекс ReoGo (рис. 1) – приклад поєднання роботизованого режиму з ініціюванням руху пацієнтом і компенсаторними стратегіями, що забезпечує ефективні мотивацію й когнітивний тренінг із використанням технології БЗЗ та зниження спастичності.



Рис. 1. Роботизований реабілітаційний комплекс ReoGo

Показання до застосування – неврологічні захворювання (інсульт, травми спинного мозку, травматичні ушкодження головного мозку, розсіяний склероз, хвороба Паркінсона, ДЦП); ортопедичні порушення, ослаблені люди через тривалу хворобу. *Переваги комплексу* – наявність трьох двигунів, шести режимів: пасивний, активно-пасивні, активні; програмне забезпечення (ПЗ) з інтерактивною 3D-графікою; заняття з пацієнтами, у яких рука повністю нерухома, для покращення функцій, об'єму й координації рухів верхньої кінцівки; відновлення функції захвату; функціональні тренування з БЗЗ і в середовищі віртуальної реальності.

Функціональні можливості роботизованого комплексу ReoGo – це можливість моделювати окремі рухи та цілісні локомоторні акти з використанням БЗЗ; диференційоване тренування м'язів з екс-

центричним і/або концентричним рухом дає змогу якісно поліпшити комбіновані рухи кінцівкою; результат комплексних тренувань – корекція, покращення або перенавчання щоденних рухів з урахуванням наявних шаблонів рухів пацієнта; забезпечує повторювані рухи рукою за допомогою різноманітних функціонально важливих вправ; використовує ПЗ з інтерактивною 3D-графікою для демонстрації варіантів вправ і БЗЗ, заснованого на досягненнях пацієнта; портативний, компактний дизайн ідеальний для ФР у будь-яких умовах; швидка підготовка до роботи, простота зміни налаштувань; роботизований направляючий механізм із телескопічною стійкою; запатентована триосна технологія Forcell; підключення до Інтернету.

Навчання на ReoGo засноване на багатократних повторях функціонально спрямованих рухів пацієнтів і відповідної реакції на них. Внутрішній зворотний зв'язок здійснюється за допомогою сенсорних провідних шляхів, а зовнішній – зорового образу, контролю (наведення на ціль), тренування. Вправи спрямовані на відновлення здатності руки дотягуватися до предметів і здійснювати рухи, що властиві здоровій руці.

Reo-терапія мотивує пацієнтів, спираючись на інтерактивні, візуальні й слухові подразники, сприяючи розвитку моторних і когнітивних здібностей. На рис. 2 наведено зображення напрямку руху на моніторі комплексу, де зелений колір кулі показує, із якої точки потрібно здійснювати рух; червоний – у яку точку його виконувати; стрілка показує напрям прикладання сили пацієнта. Звуковий сигнал допомагає визначити досягнення заданої мети.

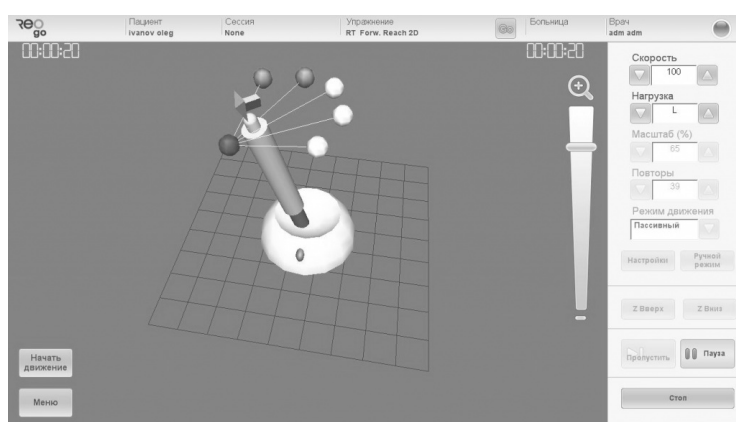


Рис. 2. Інформація з необхідних напрямів руху на моніторі комплексу

Роботизований комплекс ReoGo дає змогу сформувати руховий стереотип на основі індивідуальних рухових комбінацій і здійснити тестування та тренування м'язів у шести режимах: пасивний, активно-пасивні та активні. Заняття проводять 20–30 хв із поступовим збільшенням амплітуди рухів, ускладненням траєкторії (від 2D до 3D) і зміною режимів від пасивних до активних. Ці режими уможливають роботу з різними пацієнтами на різних стадіях відновлення функцій верхніх кінцівок:

– *пасивний* (керований) режим підходить для пацієнтів із плегією верхньої кінцівки, які не здатні самостійно проводити рухи, для визначення функціональних можливостей пацієнта й характеризується тим, що комплекс активно допомагає пацієнтові: його рука пасивно слідує за роботом;

– *ініційований* – для пацієнтів, здатних на невеликий обсяг активного руху, пацієнт починає (ініціює) рух сам (між двома послідовно записаними точками), долаючи заданий поріг опору, далі комплекс активно допомагає йому подолати решту відстані;

– *покроково ініційований* режим підходить для пацієнтів, спроможних здійснювати періодично невеликий обсяг активного руху, на відміну від ініційованого режиму: пацієнт для цього докладає зусилля не лише на початку руху, але й у проміжних точках, після чого робот продовжує вести руку пацієнта до наступної зупинки;

– *режим прискорення* рекомендований пацієнтам, які здійснюють активні рухи, але потребують допомоги в коригуванні та напрямку до мети. Робот повільно веде руку пацієнта, для прискорення руху йому потрібно постійно докладати зусилля в правильному напрямку, долаючи опір робота;

– *активний режим* підходить для пацієнтів, здатних проводити активні рухи й самостійно виконувати поставлені завдання; пацієнт рухає рухому стійку робота власними силами від однієї точки до іншої, які виникають на екрані в будь-якому напрямку тривимірного простору траєкторії, що індивідуально сформована для конкретного пацієнта.

Пацієнт під час тренування надійно закріплений у кріслі спеціальними ременями, які разом із двома системами аварійного відключення забезпечують йому повну безпеку (рис. 3).



Рис. 3. *Забезпечення безпеки пацієнту під час занять на комплексі*

Залежно від стану функціональних можливостей пацієнта фахівець підбирає для нього рукоятку, до якої кріпиться рука пацієнта (рис. 4).

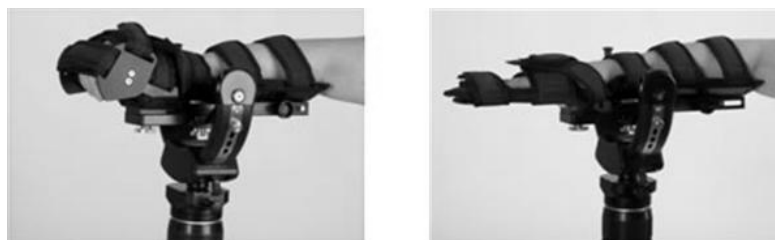


Рис. 4. *Забезпечення кріплення руки пацієнта на комплексі*

Завдяки наявності спеціальної бібліотеки вправ, фахівець може створювати унікальну робочу сесію підбравши комплекс необхідних вправ для конкретного пацієнта. Параметри вправ – швидкість, навантаження, масштабування, режим руху, повтори можуть коригуватися. Для визначення робочого діапазону роботи пацієнта фахівець здійснює підбір фізичних вправ під його можливості. Оцінку діапазону руху пацієнта проводять у восьми напрямках у пасивному й активному режимах (рис. 5).

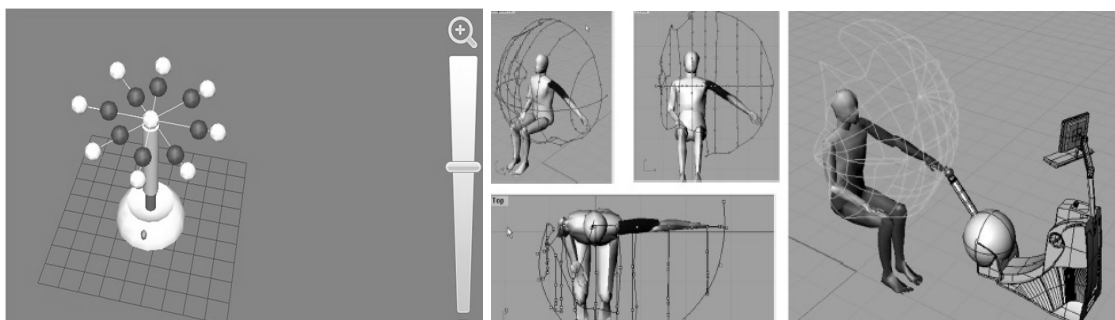


Рис. 5. *Визначення фахівцем робочого діапазону роботи пацієнта*

Для пацієнтів зі збереженою функцією стиснення кисті застосовують режим «Підтвердити»: при досягненні кожної з точок пацієнт для продовження руху повинен стиснути кисть. Для запобігання запам'ятовуванню послідовності руху використовують режим «Рандом» – випадкового напрямку руху.

Режим запису нових вправ дає можливість фахівцеві доповнювати наявну базу фізичних вправ. Потрібні для тренування конкретного пацієнта вправи фахівець може створити за 5 хв, зберегти їх у папці пацієнта й використовувати в робочій сесії. Для підвищення мотивації хворого передбачено бібліотеку ігор, що дає змогу підібрати їх із певним комплексом функціональних рухів і рівнем складності, а також ігри на увагу й координацію рухів.

Наявність звітів і графіків, що зберігаються в системі комплексу за кожною сесією конкретного пацієнта, – це можливість порівняння з попереднім результатом виконання вправ. Фахівець спостерігає зміну амплітуди руху, точність, швидкість, плавність виконання руху й багато інших характеристик. У списку буде відображено дії пацієнта згідно з датами занять, а також зведені дані за весь термін тренувань. При натисканні на окремі дати відображаються зведені відомості щодо тренування на конкретну дату.

Комплектація та основні опції роботизованого реабілітаційного комплексу ReoGo з розширеним БЗЗ: базовий блок комплексу, комп'ютерний модуль ReoGo; гіромеханізм і гіротримачі: гіромеханізм 3D-типу дає змогу пацієнтові рухати рукою в усіх напрямках відносно руху комплексу. Фахівець самостійно може заблокувати кожен напрямок руху, відрегулювати співвідношення швидкостей руху чи обмежити рух. Гіромеханізм легко підтримує різні рукоятки пацієнта. Плоскі й горизонтальні тримачі для спазмованих або атонічних рук, що мають ремені для фіксації руки пацієнта, можуть

кріпитися до гіромеханізму чи використовуватися разом із підставкою для передпліччя; підставка для передпліччя має ремені для фіксації руки пацієнта в потрібному положенні й регульований руховий механізм для підгонки під його руку, може використовуватися разом із плоским і горизонтальним тримачами або без них, залишаючи руку пацієнта вільною; ретрактивна вісь вертикального переміщення; куляста ручка фахівця використовується для запису нових кінцевих точок вправ, яка встановлюється на рухому стійку; на ручці розміщена кнопка для легкого запису нових кінцевих точок вправ або для переустановлення існуючих кінцевих точок, поки фахівець рухає стійку; гіроскопічні головна рукоятка, горизонтальний тримач із м'якою прокладкою та підставка під передпліччя з м'якою підставкою; пневматичний циліндр для легкого регулювання висоти; механізм екстреної зупинки для пацієнта; рукоятка для стиснення «Grab-it»; крісло з ножним важелем і комплектом ременів безпеки; килимок для координації положення крісла; кабель електроживлення, інструкція з експлуатації.

Висновки й перспективи подальших досліджень. Важлива проблема в реабілітації – застосування новітнього роботизованого комплексу ReoGo з біологічним зворотним зв'язком у фізичній реабілітації верхніх кінцівок.

Аналіз особливостей функціонування й характеристик роботизованого комплексу ReoGo із БЗЗ дає підставу для висновку про те, що його використання підвищить ефективність фізичної реабілітації верхніх кінцівок.

Перспективи подальших досліджень – проведення реабілітаційних заходів для підвищення ефективності фізичної реабілітації верхніх кінцівок.

Джерела та література

1. Марченко О. К. Основы физической реабилитации : учеб. [для студентов вузов] / О. К. Марченко. – Киев : Олимп. лит., 2012. – 528 с.
2. Демиденко М. О. Концептуальні підходи з профілактики травмування плеча в жіночому триатлоні / М. О. Демиденко, Ю. А. Попадюха // *Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире : материалы XV Междунар. науч. конгресса (Великобритания, Оксфорд, 06–08 сентября 2016)*. – Оксфорд, 2016. – С. 622–627.
3. Коваленко М. І. Комплексна фізична реабілітація після травм кисті / М. І. Коваленко, Ю. А. Попадюха // *Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання та спорту*. – Харків, 2012. – Вип. 07. – С. 66–68.
4. Остроушко О. Д. Концептуальні підходи до реабілітації ураженого плечового суглоба в екстремальних умовах / О. Д. Остроушко, Ю. А. Попадюха // *Наука, освіта та культура в Європі та Африці : матеріали VI Міжнар. наук. конгресу (Франція, Париж, 23–25 берез. 2016)*. – Париж, 2016. – С. 300–305.
5. Попадюха Ю. А. Перспективи використання комп'ютерних систем «HUBER» у оздоровленні, профілактиці ушкоджень і фізичній реабілітації / Ю. А. Попадюха, Г. В. Коробейніков // *Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту : наук. моногр. / за ред. проф. С. Єрмакова*. – № 1. – Харків, 2012. – С. 88–93.
6. Попадюха Ю. А. Применение пневматических тренажеров в оздоровлении и физической реабилитации / Ю. А. Попадюха // *Науковий часопис НПУ ім. М. П. Драгоманова*. – Серія 15 : Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт) : зб. наук. пр. – Київ : Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2012. – Вип. 24. – С. 72–77.
7. 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. – 2009. – Вип. 14. – С. 165–168.
8. Попадюха Ю. А. Використання реабілітаційних тренажерів у фізичній реабілітації після артроскопічної реконструкції ротаторної манжети плеча / Ю. А. Попадюха, Адель М. А. Марайта, Л. Д. Катюкова // *Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві : зб. наук. праць Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки*. – № 4 (20). – Луцьк, 2012. – С. 380–386.
9. Попадюха Ю. А. Методы 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. наук. праць. – Київ : Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2012. – Вип. 22. – С. 48–60.
10. Попадюха Ю. А. Реабилитационные тренажеры в физической реабилитации после артроскопической реконструкции ротаторной манжеты плеча спортсменов / Ю. А. Попадюха, Адель М. А. Марайта // *Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности : сб. материалов III Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 13–14 февраля 2014)*. – Минск, 2014. – С. 62–66.
11. 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.
12. Попадюха Ю. А. Методы и средства физической реабилитации при травмах локтевого сустава / Ю. А. Попадюха, И. Г. Исаков // *Науковий часопис НПУ ім. М. П. Драгоманова*. – Серія 15 : Науково-

- педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт) : зб. наук. праць. – Київ : Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2013. – Вип. 9 (36). – С.109–119.
13. 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. наук. праць. – Київ : Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2014. – Вип. 3К (45) 14. – С. 291–297.
 14. Попадюха Ю. А. Применение роботизированных систем функциональной локомоторной терапии с обратной связью в восстановлении ходьбы больных с переломами костей таза / Ю. А. Попадюха, О. А. Глыняна // Науковий часопис НПУ ім. М. П. Драгоманова. – Серія 15 : Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт) : зб. наук. праць. – Київ : Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2015. – Вип. 11 (66) 15. – С. 121–124.
 15. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mednt.ru/catalog/reabilitacionnoe-oborudovanie/vostanovlenie-dvizeniy-v-ruke/aparat-robotizirovannoy-mehanoterapii/> – Комплекс роботизированный реабилитационный ReoGo.
 16. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://robotics.ua/shows/series_robots_and_humans/3345-your_health_health_robotics_today – Роботи у медицині.
 17. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.arneo.com/> – Реабілітаційна система ARMEO.
 18. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mednt.ru/catalog/reabilitacionnoe-oborudovanie/robotizirovannaya-terapiya/reogo/> – Робот – комплекс ReoGo.

Анотації

У статті розглянуто особливості застосування роботизованого комплексу ReoGo для забезпечення реабілітаційних технологій верхніх кінцівок. Мета роботи – аналіз функціональних і конструктивних особливостей роботизованого комплексу ReoGo із біологічним зворотним зв'язком у фізичній реабілітації верхніх кінцівок.

Ключові слова: фізична реабілітація, пошкодження, захворювання верхніх кінцівок, роботизований комплекс, біологічний зворотний зв'язок.

Юрий Попадюха. Особенности применения роботизированного комплекса ReoGo в физической реабилитации верхних конечностей. *В статье рассмотрены особенности применения роботизированного комплекса ReoGo для обеспечения реабилитационных технологий верхних конечностей. Цель работы – анализ функциональных и конструктивных особенностей роботизированного комплекса ReoGo с биологической обратной связью в физической реабилитации верхних конечностей.*

Ключевые слова: физическая реабилитация, повреждения, заболевания верхних конечностей, роботизированный комплекс, биологическая обратная связь.

Yuriy Popadiukha. Peculiarities of Application of the Robotic Complex ReoGo in Physical Rehabilitation of Upper Limbs. *In the article it is observed peculiarities of application of the robotic complex ReoGo for securing of rehabilitation technologies of the upper limbs. The objective of the work is to analyze functional and constructional features of the robotic complex ReoGo with biological feedback in physical rehabilitation of the upper limbs.*

Key words: physical rehabilitation, injury, upper limb disorders, robotic complex, biological feedback.