

Особливості застосування роботизованих комплексів серії Argeo в нейрореабілітації верхніх кінцівок

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

Постановка наукової проблеми та її значення. На сьогодні дуже актуальною медико-соціальною та науковою проблемою є підвищення ефективності нейрореабілітації верхніх кінцівок у людей різного віку за рахунок застосування новітніх засобів роботизованої механотерапії, що являє собою новий метод реабілітації. Суть її полягає у використанні спеціальних роботизованих конструкцій [1, 45; 2, 1589] для тренування функцій верхніх (нижніх) кінцівок із наявністю біологічного зворотного зв'язку (БЗЗ). Незважаючи на використання у фізичній реабілітації (ФР) верхніх кінцівок різних за складністю та конструктивними особливостями технічних засобів, застосування новітніх роботизованих комплексів із БЗЗ для підвищення її ефективності ще не має необхідного поширення.

Потрібно зазначити, що використання у ФР спеціалізованих реабілітаційних СРМ-тренажерів [3, 166; 4, 382; 5, 55; 6, 64; 7, 64; 8, 271; 9, 131; 10] забезпечує надійну пасивну розробку верхніх кінцівок хворих при відновленні рухливості (запобігання нерухомості, збереження динаміки їхніх рухів) у посттравматичний період, після хірургічних утручань (капсулотомія, синовектомія, видалення зв'язок, усунення суглобових контрактур); запобіганні (мінімізації) внутрішньосуглобових адгезій, тугорухливості суглобів, зниженні набряку й болю; ФР і максимізації відновлення оптимального діапазону рухів (заміна суглобів, запобігання контрактурам після опіків, трансплантацій або реплантації); запобіганні наслідкам іммобілізації; лікуванні наслідків ДЦП, відновленні рухової активності після інсультів, при пошкодженні периферичних нервів, судинних захворюваннях. Незважаючи на існування програм ФР із відновлення верхніх кінцівок після пошкоджень [4, 383; 5, 52; 6, 65; 7, 64; 8, 272; 9, 132], ще дуже мало задіяні новітні роботизовані комплекси, системи й засоби з використанням БЗЗ.

Постає проблема щодо аналізу функціональних та конструктивних особливостей новітніх роботизованих комплексів серії Argeo [11–19] для забезпечення підвищення ефективності нейрореабілітації верхніх кінцівок людини. Роботу виконано згідно з планом 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. Забезпечення надійного відновлення функцій пошкоджених верхніх кінцівок людини – актуальна та важлива проблема. Основними засобами ФР є такі [3, 166; 4, 382; 7, 62; 9, 133, як лікувальна гімнастика, спеціальні фізичні вправи (у тому числі у воді та на вібротренажерах), фізіотерапія, масаж, механотерапія на базі мікропроцесорних СРМ-тренажерів різних типів: OptiFlex, Fisiotek, Artromot, Kinetec [4, 384; 5, 52; 6, 64], Opthomotion [10], механотерапевтичні пристрої [2, 1589] й ін.

Мета дослідження – аналіз функціональних і конструктивних особливостей, алгоритмів дії роботизованих комплексів серії Argeo для забезпечення нейрореабілітації верхніх кінцівок.

Завдання роботи – розглянути функціональні та конструктивні особливості, алгоритми дії новітніх роботизованих комплексів серії Argeo, що підвищують ефективність нейрореабілітації верхніх кінцівок людини.

Виклад основного матеріалу та обґрунтування отриманих результатів дослідження. Нині прогресують захворювання (травми) нервової системи, що призводять до ураження функції руху верхніх кінцівок (параліч, моноплегія, параплегія, парез, геміпарез) і, як наслідок – до втрати працездатності. Одним із новітніх напрямів відновлення рухових функцій кінцівок є роботизована механотерапія [1, 45; 11], суть якої – використання спеціальних роботизованих конструкцій із БЗЗ для тренування функцій верхніх (нижніх) кінцівок. Її перевага – досягнення найкращої якості тренувань, порівняно з традиційною ЛФК, завдяки збільшенню тривалості занять, високій точності циклічних багаторазово повторюваних рухів, незмінній рівномірній програмі тренувань, механізмам оцінки ефективності виконуваних фізичних вправ, можливості її показу пацієнту.

Розрізняють певні типи роботизованих реабілітаційних комплексів (систем). *Комплекс (система) для ФР верхніх кінцівок.* Він служить для відновлення функції кистей і пальців рук переважно при інсультах та черепно-мозкових травмах, можливе проведення реабілітаційних програм при посттравматичних і післяопераційних патологіях суглобів кистей рук, хронічних дегенеративних і запальних захворюваннях суглобів кистей рук. Його функціонування полягає в техніці зворотного навчання рухів верхніх кінцівок. У разі травми (інсульту) у ділянці поразки мозкової тканини клітини гинуть – і в цій ділянці мозку припиняється передача імпульсів, проте механізмом нейропластичності [11] мозок може адаптуватися до багатьох патологічних ситуацій.

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

Тренування на роботизованих реабілітаційних комплексах (тренажерах) забезпечують подібну програму стимулів, (тренажер виконує 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 проходять у стаціонарі щодня чи амбулаторно – по годинно 2–3 рази на тиждень.

Верхня кінцівка людини – найбільш розвинений та ефективний інструмент-орган, що являє собою складний кінематичний ланцюг, що має суглоби плечового пояса, ліктьового, променево-зап'ястного й суглобів кисті. Найбільш рухливий суглоб тіла людини – плечовий суглоб (ПС), котрий володіє 3-ма ступенями свободи, здійснюючи рухи в 3-х площинах і відносно 3-х основних осей. Його мобільність, крім можливості самообслуговування, забезпечує функцію захвату, дає змогу дотягнутися до віддалених предметів і забезпечити найбільш зручне положення кисті для захвату певного предмета.

Ліктьовий суглоб виконує дві різні функції: згинання/розгинання та пронація/супінація, забезпечує механічний зв'язок між плечем і передпліччям, дає змогу дотягнутися кистю до ПС і рота. Для успішного відновлення функції руки застосовують фізичні вправи, спрямовані на посилення м'язової сили й збільшення обсягу рухів у суглобах, зниження та нормалізацію підвищеного м'язового тону, усунення патологічних рухів, покращення координаційних можливостей, зменшення розладів чутливості, навчання побутових навичок.

Сучасну теорію рухового навчання побудовано на системній моделі рухового контролю, на основі якої розроблено нові методи кінезотерапії – цілеспрямованого рухового навчання. Цей метод, на відміну від традиційних, спрямованих на відновлення окремих рухів і функцій, орієнтований на тренування й відновлення певного рухового завдання. Одним із методів, покликаних інтенсифікувати рухове навчання, є примусове (форсоване) тренування, де здорову руку пацієнта фіксують, не даючи користуватися нею в щоденній діяльності, змушуючи його активніше користуватись ураженою рукою. Ефективність методу не викликає сумнівів, проте його застосування можливе лише в пацієнтів із легкими та помірними парезами. Необхідність забезпечення реабілітаційних заходів пацієнтам із грубими руховими порушеннями розгорнула створення роботизованих і механотерапевтичних засобів.

Роботизованими є засоби, забезпечені двигунами для виконання необхідного руху або допомоги, що володіють антропоморфністю (схожістю з живим організмом, його частиною) та інтерактивністю (спроможністю змінювати стереотип своєї дії залежно від умов навколишнього середовища, з урахуванням показників убудованих датчиків). *Механотерапевтичними* є тренажери (засоби) з двигунами, що забезпечують запрограмований рух, вони мають датчики й використовують БЗЗ.

Поштовхом до розвитку цих засобів стала необхідність тренування хворих із грубими парезами в у пристрої, що забезпечує розвантаження ваги паретичної кінцівки для повноцінного тренування активних рухів. Забезпечення цілеспрямованого рухового навчання рухам вимагає від цих засобів максимальної відповідності анатомічним і біомеханічним особливостям руки, тому виникла необхідність створення засобів з екзоскелетною конструкцією.

Еволюція реабілітаційних технологій призвела до створення таких засобів з інтегрованою функціональною електростимуляцією (ФЕС). На сьогодні повноцінних екзоскелетних систем для руки з убудованою інтерактивною ФЕС не існує, у той же час активна робота над прототипами дає змогу очікувати їх появу в найближчому майбутньому. Особливу складність під час рухової ФР руки викликає відновлення дрібної моторики кисті, що виконує статичну, динамічну й сенсорну функції.

Витягнута вперед рука, відкрита, із прямими пальцями служить лопатою, совком, а зігнуті пальці – гачком, щипцями, а 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 положення.

В основі рухів лежать шість видів захвату – гачковий, міжпальцевий, площинний, щипковий, циліндричний, кульовий, а його точність і міцність здійснюється не тільки відділами кисті (пальцями, п'ястком, зап'ястям), але залежить від функції надпліччя, плеча, ліктя, передпліччя. Захват й утримання предметів – складний руховий акт, що має підготовчі моменти. Деякі роботизовані та механотерапевтичні засоби дають змогу тренувати циліндричний захват кисті за допомогою датчиків, що містяться в рукоятці пристрою та системі БЗЗ, але в пацієнтів із високим м'язовим тонусом у згиначах пальців і відсутністю активного розгинання тренування на цих засобах неможливе.

Більшість тренажерів і роботизованих засобів для тренування дрібної моторики кисті мають вигляд екзоскелета з електро- або пневмоприводами для кожного пальця. Як правило, ці пристрої виконані у формі рукавички жорсткої та м'якої конструкції, проте не всі роботизовані пристрої для тренування дрібної моторики мають вигляд екзоскелета. Незважаючи на широкий спектр роботизованих засобів і можливості сучасної ФР, не завжди вдається повністю відновити втрачену функцію руки.

Необхідність індивідуальної незалежності таких пацієнтів поряд із теорією СІ-терапії (терапія викликана обмеженням руху, новий підхід до реабілітації; утручання, засноване на концепції «дизнався незастосування» – механізмі, що запускається під час насильницької активізації порушеної функції; вона сприяє розвитку пластичності мозку, що корелює з його терапевтичним ефектом) привела до виникнення принципово нового виду технологій – роботів-асистентів.

Вони не призначені для відновлення функції, оскільки їхнє завдання – тільки забезпечення необхідної допомоги пацієнтові для правильного виконання необхідного завдання. Якщо обсяг активних рухів у руці значно обмежений, використовують роботизовані маніпулятори, керовані пацієнтом, – вони повністю виконують дії, які потрібні для людини.

За наявності мінімальних довільних рухів досить розвантажити власну вагу ураженої руки (ефект невагомості) для її активного використання в повному обсязі. Досвід застосування подібних засобів дав змогу визначити деякі вимоги й рекомендації до забезпечення високотехнологічної рухової нейрореабілітації: допомога роботизованих засобів повинна бути мінімальною, висока мотивація пацієнта до відновлення, різноманітність програм тренувань, застосування БЗЗ, регулярна оцінка моторної функції з подальшим коригуванням навантаження, потрібно уникати монотерапії.

Роботизовані технології та засоби дають змогу проводити максимально ефективну кінезотерапію практично всіх ізольованих і комплексних рухів руки, у тому числі цілеспрямованих. Розвиток технологій та розширення типів цих засобів роблять їх більш компактними й економічно доступними для пацієнтів, у яких з'являється можливість продовжити курс активної комплексної нейрореабілітації в домашніх умовах, після виписки зі стаціонару, що може значно прискорити відновлення рухової функції руки людини.

Роботизовані комплекси серії Armeo в нейрореабілітації верхніх кінцівок. *Реабілітаційний комплекс Armeo Spring* (фірма Hocoma, Швейцарія) дає змогу пацієнтам із геміпарезом, використовуючи залишкові функціональні можливості ураженої верхньої кінцівки, розвивати та посилювати локомоторну й функцію захвату (рис.1).



Рис. 1. Роботизований реабілітаційний комплекс Armeo Spring

Основа Armeo Spring – ергономічний екзоскелет руки із вбудованими пружинами. Він охоплює всю руку від плеча до кисті й компенсує частину ваги руки пацієнта, посилюючи залишкову функцію та нейром'язовий контроль, підтримуючи активний рух по всьому широкому 3D-простору. Чутлива до натиснення рукоятка служить пристроєм уведення для вправ й інтерфейсом для програмного забезпечення (ПЗ) і комп'ютерних ігор і може бути видалена для функціонального відпрацювання рухів із реального повсякденного життя.

Ергономічний екзоскелет руки дає змогу проводити такі рухи: згинання/розгинання кисті; пронація/супінація передпліччя; згинання/розгинання ліктя; згинання/розгинання, горизонтальне відведення/приведення, внутрішня/зовнішня ротація ПС. Комплекс сприяє власним активним рухам пацієнта, які проєктуються на екран комп'ютера за допомогою специфічних завдань, і самостійному тренуванню із зображенням БЗЗ (виконання).

Показання до застосування комплексу Armeo Spring: інсульт, черепно-мозкова травма, хребтovo-спинномозкова травма, розсіяний склероз, хвороба Паркінсона, кістково-м'язові захворювання та ін.

Клінічна проблема – залучення значно ослабленої кінцівки з невеликим об'ємом рухів у мотивовану функціональну терапію. Багато пацієнтів, які перенесли інсульт, травматичне пошкодження головного мозку, інші неврологічні захворювання чи кістково-м'язові ушкодження мають залишкову нейром'язову функцію верхньої кінцівки. Але виражена м'язова слабкість і власна вага кінцівки не дають змоги пацієнтам повністю відновити втрачену функцію.

Комплекс Armeo Spring компенсує вагу верхньої кінцівки та уможливорює виконання пацієнтом навіть із невеликими залишковими функціональними можливостями тренувального завдання в режимі 3D-симуляції реальних життєвих ситуацій. Можливість у реальному часі спостерігати успішне виконання завдань ушкодженою кінцівкою стимулює пацієнта тренуватися старанніше й виконувати відповідні вказівки. Система компенсації ваги дає змогу зміцнювати ушкоджену верхню кінцівку за допомогою фізичних вправ, що стимулюють повсякденну активність, поліпшуючи функції та запобігаючи несприятливим ефектам від вимушеної її тривалої нерухомості.

Програмне забезпечення й відеовправи мотивують пацієнтів і допомагають оцінювати прогрес реабілітації. Передбачено широкий вибір ефективних та цікавих вправ у формі відеоігор із різними рівнями складності для відповідності здібностям кожного пацієнта. Чутливий до тиску джойстик уловлює навіть невелике за силою стиснення кисті, полегшуючи виконання вправ для розвитку хапальної функції верхньої кінцівки на ранній стадії реабілітації. Спеціальні вправи, що поєднують пронацію та супінацію, допомагають пацієнтам значно розширити доступний обсяг рухів. Програмне забезпечення Armeo Spring точно реєструє рухи верхньої кінцівки, даючи можливість фахівцю оцінити координаційні здатності пацієнта й прогрес відновлення. Комплекс може використовуватися як комп'ютерна миша (джойстик) у середовищі MS Windows, уможливаючи роботу пацієнта в мережі Інтернет або керування стандартним ПЗ.

Комплекс пропонує цікаву, мотивовану терапію з пацієнт-специфічним БЗЗ і дає змогу точно оцінювати прогрес реабілітації. Він легко налаштовується під індивідуальні особливості пацієнта для досягнення кращих результатів. Легка його адаптація до хворих із різним зростом, вагою, правим/лівим геміпарезом. Рівень складності вправ, величина сили стиснення кисті, робочий простір легко пристосовують до індивідуальних можливостей пацієнта.

Опція Armeocontrol містить велику бібліотеку рухових вправ у формі гри, що підтримуються тренувальним середовищем віртуальної реальності, яка виконує мотивуючу та інформаційну функції, відображаючи функціональне завдання разом із негайним відображенням його виконання. Мотивують і самостійно виконувани вправи, які підключають проксимальні й дистальні компоненти, що специфічно належать до захвату/розчеплення, пронації/ супінації, згинання/розгинання кисті, функції дотягування та повернення назад.

Комплекс підтримує ведення клінічної бази даних для зручної організації розкладу реабілітації, документування прогресу в пацієнта, можливість використовувати тренування в пристрої, що підтримує кінцівку в реальних життєвих ситуаціях (пацієнт може робити захват і переміщати різні об'єкти). Пристрій легко адаптується до потреб пацієнта, дає змогу тренуватися без допомоги асистента, прискорює процес реабілітації завдяки поєднанню підтримки верхньої кінцівки з високочутливим датчиком сили стиснення кисті та мотивації пацієнта за допомогою моделювання повсякденної активності.

Під час проведення клінічної оцінки терапії з використанням Armeo Spring, що проводилася в Реабілітаційному інституті Чикаго, де в дослідженні терапія з Armeo Spring була порівняна з традиційною, самостійно проведеною терапією у 28 пацієнтів після інсульту з хронічними ушкодженнями середньої й високої тяжкості, отримано такі результати: найкращі довгострокові результати отримано в групі, що використовувала комплекс Armeo Spring; кращі результати відновлення рухової функції в групі з Armeo Spring (шкала Fugl-Meyer) отримано через шість місяців після закінчення нейрореабілітації; найкраща мотивація пацієнтів була під час занять на комплексі Armeo Spring, що названий «більш ефективним» і «менш нудним», ніж традиційні методи нейрореабілітації.

Переваги нейрореабілітації на комплексі Armeo Spring: заняття дає змогу задіяти будь-яку залишкову рухову функцію рук; можливість проведення самостійних інтенсивних тренувань без присутності фахівця (інструктора) навіть у випадках серйозного порушення рухової функції; ергономічний великий робочий 3D-простір, що враховує індивідуальні можливості пацієнта; інтеграція залишкових рухових функцій пацієнта з інтенсивними, захоплюючими функціональними вправами; оптимальна інтеграція руки, кисті й зап'ястя дає змогу проводити терапію по всьому рухомому ланцюгу; додатковий модуль для кисті сприяє проведенню відновлення дрібної моторики пальців; підтримка кінцівки дає змогу пацієнту успішно маніпулювати рукою й удосконалювати залишкові нейром'язові функціональні можливості; містить чутливий до тиску джойстик для виконання завдань, спрямованих на відновлення та поліпшення хапальної функції верхньої кінцівки; мотивована й захоплююча відновна терапія руки та кисті моделюванням дій повсякденної активності; уможливує проведення точної оцінки координаційних здібностей; ступінь компенсації ваги кінцівки, розмір робочого 3D-простору, рівень складності вправ пристосовуються для індивідуальних потреб і можливостей пацієнта; зберігає дані про виконувану роботу, полегшує спостереження, оцінку й документування прогресу реабілітації.

Програмне забезпечення вміщує функціональні мотивуючі вправи для інтенсивних занять, що покращують рухливість та об'єм рухів, тренують функцію хапання рук, координовані рухи рук і кистей; усі вправи налаштовують за рівнем складності для стимуляції взаємодії пацієнта; база даних пацієнтів зі збереженням налаштувань, плану тренувань та результатів активності; автоматичне документування прогресу пацієнта; функція експорту даних у MS Excel для звітів, що легко читаються. *Додаткова функція* – ПЗ, що дає змогу використовувати комплекс як указівний пристрій у стандартних додатках Windows (малювання, пасьянс, Інтернет тощо).

Технічні характеристики – це колона з електромеханічним керуванням висоти (до 400 мм); суцільна платформа з інвалідними візками; ортез для руки з датчиками виміру й пружинним механізмом для регульованої компенсації ваги в 3D-просторі; додаткова вимірювана ступінь свободи для пронації/супінації; два незалежні модулі для передпліччя, швидкої зміни правої/лівої рук; ортези підходять для пацієнтів із довжиною передпліччя 290–390 мм і плеча 220–310 мм; манжети з липучками для фіксації до ортеза плеча та передпліччя; рукоятка з інтегрованим сенсором захвату; керуючий персональний комп'ютер (ПК) ArmeoControl PC; плоский РК-монітор 19 дюймів.

Роботизований реабілітаційний комплекс Armeo Spring Pediatric спеціально розроблений та адаптований для дітей із руховим дефіцитом верхніх кінцівок рук і кистей у зв'язку з неврологічними захворюваннями й травмами, дає змогу розвивати та посилювати локомоторну й хапальну функції (рис. 2).

Комплекс – ефективний інструмент для поліпшення якості терапії за допомогою застосування інтенсивних і функціональних рухових вправ, які включають мотивуючі завдання та ігри. Такий підхід забезпечує основу для успішної нейрореабілітації.



Рис. 2. Роботизований реабілітаційний комплекс *Armeo Spring Pediatric*

Головні переваги – те, що комплекс створено на базі комплексу *Armeo Spring*; довжина ортеза й значення підтримки ваги руки налаштовуються для дітей віком 4–12 років, тому його використовують для реабілітації дітей, яким можна пояснити, що вони повинні робити; як і всі засоби серії, *Armeo* роботизований реабілітаційний комплекс *Armeo Spring Pediatric* уключає в себе розширений БЗЗ і засоби оцінки для мотивації дітей-пацієнтів.

Клінічні результати – ефективна нейрореабілітація завдяки вмотивованій та захоплюючій системі тренувань верхніх кінцівок, спеціально розробленої для дітей; дає змогу відновлювати залишкові рухові функції кінцівок у дітей із неврологічним дефіцитом; позитивна динаміка від інтенсивної, повторюваної та спрямованої терапії в дітей із травмами та патологіями середнього й тяжкого ступенів; ергономічний і налаштований робочий 3D-простір під можливості пацієнта; оптимальний комплекс вправ об'єднує окремі ланки верхніх кінцівок у єдиний руховий ланцюг.

Комплекс Armeo Spring Pediatric діє таким чином. Рука закріплюється в пристрої, що її підтримує й розвантажує. Дитина за допомогою джойстика (рис. 3) здійснює різні рухи великої та дрібної моторики, виконуючи завдання, наведене на моніторі ПК у вигляді комп'ютерної гри.

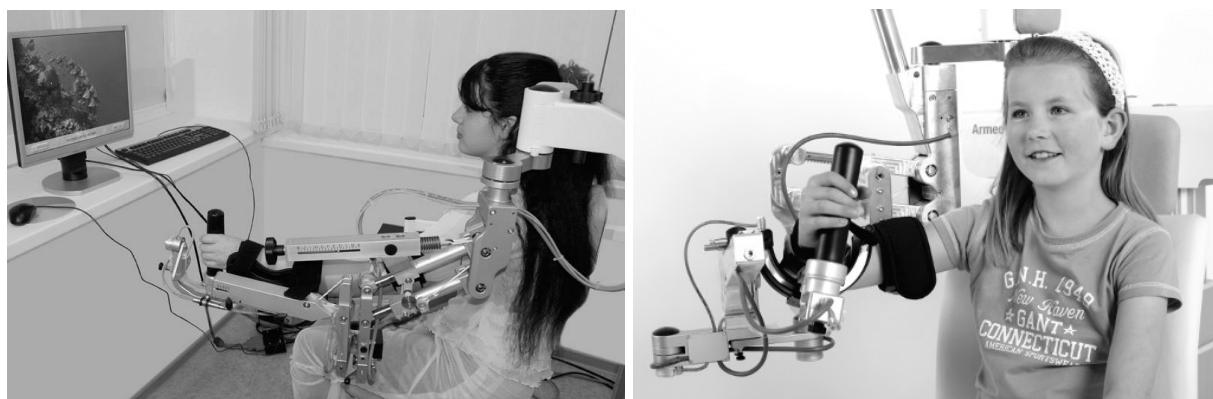


Рис. 3. Заняття дітей на комплексі *Armeo Spring Pediatric*

Комплекс сприяє розробці м'язів різних груп – плеча, передпліччя й кисті, покращенню функції руки, його застосовують при різних порушеннях і вадах розвитку верхньої кінцівки. Коли дитина народжується з недорозвиненою ручкою (відсутня кисть), їй оперативно пересаджують пальчики з ноги. Потім створену кисть розробляють. Ще одне показання (артрогрипоз) – вроджене захворювання, що викликає деформацію всіх кісток і суглобів. Їх спочатку виправляють хірургічним способом, а потім розробляють. Дітей із ДЦП (уражає й руки) рекомендовано тренувати на *Armeo Spring Pediatric*. Після ортопедо-хірургічного лікування майже завжди доводиться накладати гіпс на 3–4 тижні, а коли гіпсову іммобілізацію знімають, рука в цьому положенні застигає й усі рухи в суглобах розробляють. Комплекс добре справляється з цією проблемою. Розробка руки за його допомогою прискорює відновлення функції майже удвічі, порівняно з ЛФК, а сам процес дитині цікавий: вона сидить за ПК, грає й навіть не помічає, що в цей час розробляє свою ушкоджену руку.

Роботизований реабілітаційний комплекс для функціональної терапії верхніх кінцівок із розширеним БЗЗ Armeo Power – перший у світі доступний роботизований екзоскелет руки для нейро-реабілітації (рис. 4).



Рис. 4. Роботизований реабілітаційний комплекс Armeo Power

Armeo Power – це реабілітаційний тренувальний пристрій, що дає змогу проводити раннє відновлення рухових навичок і забезпечує інтелектуальну підтримку руки в широкому робочому 3D-просторі. Як частина загальної терапевтичної Armeo-концепції, створено комплекс на базі технології ARMin спеціально для хворих із гострими руховими порушеннями, за відсутності активності в м'язах верхніх кінцівок. Він являє собою роботизований ортез для верхньої кінцівки з автоматизованою підйомною колоною, дозволяючи максимально комфортно здійснювати налаштування висоти й ваги, створюючи підтримку ураженої кінцівки в широкому робочому 3D-просторі. Комплекс використовується для пацієнтів різного зросту з різним розміром руки. Для досягнення ергономічного тренування, система позиціонування комплексу точно коректує положення ПС, даючи змогу виконувати рух у всіх суглобах.

Біологічний зворотний зв'язок. Комплекс Armeo Power володіє засобами оцінки обертань і кутових рухів: згинання/розгинання ліктьового суглоба; пронація/супінація передпліччя; згинання/розгинання, відведення/приведення, внутрішня/зовнішня ротація ПС; згинання/розгинання суглобів кисті. Комплекс оснащений ПЗ Armeocontrol зі спеціально розробленими мотивуючими вправами, іграми, симуляторами повсякденної активності для забезпечення самостійних функціональних тренувань.

Переваги нейрореабілітації на комплексі Armeo Power – рання реабілітація з часто повторюваним тренуванням для пацієнтів із серйозними ураженнями; висока ефективність і кращий догляд за пацієнтом; розширений робочий 3D-простір; розширений БЗЗ із мотивуючими вправами для відпрацювання рухів із повсякденної активності; автоматична підтримка (за необхідності) роботизованим екзоскелетом руки, що автоматично адаптується до можливостей пацієнта; об'єктивний аналіз і документація прогресу реабілітації пацієнта.

Роботизований реабілітаційний комплекс Armeo Power спеціально створено для відновлення функцій верхньої кінцівки на ранній стадії нейрореабілітації. Він дає змогу навіть пацієнтам із серйозними порушеннями виконувати вправи з високою частотою повторів, що є головним завданням для відновлення рухової функції ураженої верхньої кінцівки. Висока ефективність реабілітації забезпечується тим, що комплекс сприяє концентрації фахівця на пацієнті та безпосередній реабілітації, скоротивши свої фізичні зусилля.

Роботизований екзоскелет із 6-ма ступенями свободи дає змогу проводити тренування в розширеному робочому 3D-просторі, що мотивує людину відпрацьовувати рухи, важливі для прогресу реабілітації та використовуються в повсякденній активності. Для тренування рухів із повсякденною активністю розроблено велику бібліотеку мотивуючих вправ у формі гри. Під час виконання вправи БЗЗ дає змогу пацієнтам покращити рухові навички, що проявляється більшою самостійністю в повсякденному житті та покращує його якість. Комплекс розпізнає ситуації, під час яких пацієнт не здатний зробити рух і підтримує його руку стільки, скільки це потрібно для успішного досягнення мети виконуваної вправи.

Пристрій комплексу адаптує підтримку руки до індивідуальних потреб й умов, здібностей кожного пацієнта, що змінюються, – від повного ведення хворого з низькою руховою активністю до повного виключення підтримки для більш підготовлених пацієнтів. Підтримка, що підключається за

необхідності, уможлиблює й умотивовує активну участь самого пацієнта в тренуванні, що ефективно позначається на відновленні рухових навичок. Комплекс Armeo Power веде точний запис інформації, як пацієнти виконували та скільки їм було потрібно підтримки під час тренувальних занять. Стандартизовані аналітичні інструменти оцінюють роботу датчиків і двигунів пристрою для дослідження специфічних функцій. Результати використовують для аналізу та документування стану пацієнта й прогресу відновлення.

Показання до застосування комплексу Armeo Power – інсульт, черепно-мозкова травма, хребтотно-спинномозкова травма, розсіяний склероз, хвороба Паркінсона, кістково-м'язові захворювання та ін. Проведені дослідження з розробленим прототипом Armeo Power (ARMin robot) засвідчили, що реабілітація хворих після інсульту, із порушеннями високої й середньої тяжкості за його допомогою безпечна та ефективна.

Комплекс реабілітаційний для функціональної терапії верхніх кінцівок Armeo Boom забезпечує проведення реабілітаційних заходів для функціонального відновлення верхніх кінцівок в амбулаторних і в умовах стаціонару. Комплекс Armeo Boom (рис. 5) являє собою складну, легку й компактну систему з можливістю швидкого встановлення та транспортування. Після її налаштування пацієнт, який ознайомлений із комплексом, може самостійно виконувати тренування. В основі цього комплексу – підвісна система, що складається з тросів і терапевтичної манжети для розвантаження ваги ушкодженої верхньої кінцівки.

За допомогою комплексу пацієнт здатний виконувати в розширеному робочому 3D-просторі спрямовані рухи, що забезпечують ефективну нейрореабілітацію ураженої кінцівки.



Рис. 5. Реабілітаційний комплекс Armeo Boom

– Характеристики комплексу Armeo Boom:

- широкий робочий 3D-простір дає змогу проводити весь обсяг рухів руки;
- система з низькою інерцією підтримки ваги руки забезпечує виконання функціональних рухів;
- система підтримки руки налаштовується незалежно для кисті й ліктя залежно від потреб пацієнта;
- швидка та легка установка – може використовуватися як для правої, так і для лівої руки;
- легка й компактна система легко транспортується та зберігається.

Розширений БЗЗ. Після налаштування, пацієнт може легко управляти комплексом за допомогою ПЗ Armeo Control, що містить великий набір мотиваційних вправ, які використовуються у всіх комплексах серії Armeo і є частиною Armeo-концепції. Вправи на Armeo Boom виконуються в таких робочих просторах: 3D-простір, фронтальна та горизонтальна площини.

Клінічна оцінка спрямованої рухової нейрореабілітації з використанням комплексу в пацієнтів з інсультом показала поліпшення моторних функцій, значне покращення діапазону активних рухів (9-годинний курс тренувань протягом шести тижнів, три рази по 30 хвилин).

Manovo Spring являє собою засіб для одночасної терапії кистей і рук (рис. 6). Поєднання засобів Manovo Spring з Armeo Spring – єдине рішення для повторюваних вправ із досяжності завдань і розуміння тренування у великому робочому 3D-просторі з опорним важелем ваги руки. Він одночасно включає в себе всю руку й руку від плеча до пальців.

Така інтеграція у всьому ланцюгу руху дає змогу найбільш ефективно й функціонально здійснювати нейрореабілітацію.

Підтримка фізіологічного руху руки. Пристрій Manovo Spring із механізмом регульованих пружин спеціально розроблений для протидії високому тонуусу м'язів згиначів зі слабкістю м'язів-розгиначів. На кожному етапі фізіологічного розкриття руки вона додає кількість сили, яка необхідна, для руху розкриття руки й великого пальця під час з'єднання. Отже, пацієнти, які показують лише обмежені активні рухи в пальцях, можуть брати участь у русі інтенсивних, повторюваних вправ.



Рис. 6. Засіб для одночасної терапії кистей і рук Manovo Spring

Велика бібліотека мотивуючих, ігрових вправ розроблені для навчання у своїй повсякденній діяльності. Безпосередній зворотний зв'язок допомагає пацієнтам покращити свої рухові здібності, що призводить до більшої незалежності в повсякденному житті й, отже, – поліпшення якості життя. У поєднанні з Armeo Spring Manovo Spring полегшує навчання пошуку та захват предметів із розширеним зворотним зв'язком, а також фіксує активні рухи рук пацієнта.

Manovo Spring – частина модульної Armeo Concept-терапії, першої концепції верхньої кінцівки у світі, яка охоплює весь «Континуум реабілітації» з однієї програмної платформи протягом ряду пристроїв, де кожне розроблене для конкретної стадії – від ранньої до більш пізніх стадій нейрореабілітації. Manovo Spring легко підключається до Armeo Spring або використовується при лівій/правій діяльності рук. Спільне використання ПЗ Manovo Spring і Armeo Spring дає змогу адаптувати навчання до індивідуальних потреб і здібностей пацієнта. У дослідженнях прототипів Manovo Spring (Handsome пристрої) пацієнти, які перенесли інсульт, показали значне збільшення діапазону руху при відкритті й закритті руки, підвищену здатність до функціонального захвату об'єктів. Manovo Spring дає змогу проводити навчання функціональних повторюваних рухів рук, а повторні навчання – ефективний метод відновлення руху та рухової функції.

Роботизована система реабілітації рук Manovo Power являє собою ручний модуль для Armeo Power (рис. 7).



Рис. 7. Роботизована система реабілітації рук Manovo Power

Модуль Manovo Power приводиться в дію вручну, спеціально створений для тренування рухів із захвату й звільнення для пацієнтів із порушеними функціями рук через інсульти, черепно-мозкові травми, інші неврологічні розлади. У поєднанні з Armeo Power модуль Manovo Power дає змогу навіть пацієнтам, які мають серйозно ослаблений на практиці захват, зрозуміти рухи на ранній стадії нейрореабілітації.

Висновки й перспективи подальших розвідок. Важливою проблемою в нейрореабілітації верхніх кінцівок є застосування роботизованих комплексів серії Armeo з біологічним зворотним зв'язком.

Наведений аналіз конструктивних і функціональних особливостей, алгоритмів дії роботизованих комплексів серії Armeo з БЗЗ дає змогу зробити висновок про те, що їх використання значно підвищить ефективність нейрореабілітації верхніх кінцівок.

Перспективи подальших досліджень – проведення відповідних заходів для підвищення ефективності нейрореабілітації верхніх кінцівок.

Джерела та література

1. Архипов М. В. Обзор состояния робототехники в восстановительной медицине / М. В. Архипов, В. Ф. Головин, В. В. Журавлев // Механотроника, автоматизация, управление. – № 8. – Москва, 2011. – С. 42–50.
2. Клочков А. С. Роботизированные и механотерапевтические устройства для восстановления функции руки после инсульта / А. С. Клочков, Л. А. Черникова // РМЖ. – 2014. – № 22. – С. 1589.
3. 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. – Вип. 14. – 2009. – С. 165–168.
4. Попадюха Ю. А. Використання реабілітаційних тренажерів у фізичній реабілітації після артроскопічної реконструкції ротаторної манжети плеча / Ю. А. Попадюха, М. А. Адель 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.
5. Попадюха Ю. А. Методы и средства физической реабилитации при распространенных повреждениях плеча / Ю. А. Попадюха, М. А. Адель 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.
6. Попадюха Ю. А. Реабилитационные тренажеры в физической реабилитации после артроскопической реконструкции ротаторной манжеты плеча спортсменом / Ю. А. Попадюха, М. А. Адель Марайта // Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности : сб. материалов III Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 13–14 февраля 2014. – С. 62–66.
7. Попадюха Ю. А. Пути восстановления биомеханики плечевого сустава после артроскопического лечения поврежденных 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. Технологии послеоперационного восстановления плечевого комплекса с повреждениями ротаторной манжеты / 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. – 2015. – Вип. 3К2 (57) 15. – С. 270–274.
9. Попадюха Ю. А. Основы программы физической реабилитации больных после реконструктивных операций на ротаторной манжете плеча / Ю. А. Попадюха // Молодіжний науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. – Серія : Фізичне виховання і спорт. – Вип. 17. – Луцьк, 2015. – С. 129–134.
10. Современные методы механотерапии в медицинской реабилитации : науч.-метод. пособие / ред. И. З. Самосюка. – Київ : Наук. свит, 2009. – 184 с.
11. [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://gidmed.com/novosti/robotizirovannaja-mehanoterapija.html#> – Роботизированная механотерапия – новый метод реабилитации.
12. [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://www.hocoma.com/usa/us/products/armeo/armeospring/> - Реабілітаційна система Armeo Spring.
13. [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://www.armeo.com/> - Реабілітаційна система Armeo.
14. [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://www.medimex-ukr.kiev.ua/mexanoterapiya-i-reabilitaciya/funkcionalnaya-terapiya-verxnix-konechnosteic/armeo@power.html> - Роботизированный экзоскелет Armeo Power.
15. [Електронний ресурс]. – Режим доступа : http://ru.anagennisimedicalresort.com/rehabilitation/Rehabilitation_methods/Armeo_therapy – Armeo комплекс.
16. [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mednt.ru/catalog/reabilitacionnoe-oborudovanie/vostanovlenie-dvizheniy-v-ruke/aparat-robotizirovannoy-mehanoterapii/> – Комплекс роботизированный реабилитационный ReoGo.
17. [Електронний ресурс]. – Режим доступа : http://robotics.ua/shows/series_robots_and_humans/3345-your_health_health_robotics_today – Роботи у медицині.
18. [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://www.hocoma.com/world/en/media-center/media-images/armeo-manovo/> - Реабілітаційна система Armeo Manovo.
19. [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://en.fysioline.fi/collections/hocoma-armeo> – Система Armeo.

Анотації

У статті розглянуто особливості дії роботизованих комплексів серії Armeo в нейрореабілітації верхніх кінцівок. **Мета роботи** – аналіз функціональних і конструктивних особливостей, алгоритмів дії роботизованих комплексів серії Armeo для забезпечення нейрореабілітації верхніх кінцівок.

Ключові слова: нейрореабілітація, роботизована механотерапія, верхні кінцівки, екзоскелет, біологічний зворотний зв'язок.

Юрий Попадюха. Особенности применения роботизированных комплексов серии Arteo в нейрореабилитации верхних конечностей. В статье рассмотрены особенности действия роботизированных комплексов серии Arteo в нейрореабилитации верхних конечностей. **Цель работы** – анализ функциональных и конструктивных особенностей, алгоритмов действия роботизированных комплексов серии Arteo для обеспечения нейрореабилитации верхних конечностей.

Ключевые слова: нейрореабилитация, роботизированная механотерапия, верхние конечности, экзоскелет, биологическая обратная связь.

Yuriy Popadiukha. Rehabilitation Exoskeletons – Modernity and Perspectives of Application. The article deals with functional and constructive peculiarities of rehabilitation exoskeletons. The objective of the work is to analyze functional and constructive peculiarities of modern and perspective exoskeletons for the use in rehabilitation technologies.

Key words: rehabilitation, exoskeleton, exoskeleton suit, robots, musculoskeletal system, injuries, diseases.