

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МЕДИЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра фізичної реабілітації та спортивної медицини

Павленко Ярослав Артемович

ВІРТУАЛЬНИЙ ПРОСТІР ТА 3D ТЕХНОЛОГІЇ В РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ  
ПРОГРАМАХ

Кваліфікаційна робота

Спеціальність: 6.010203 Здоров'я людини

Науковий керівник:

Бріжата Ірина Анатоліївна,

кандидат педагогічних наук

Суми 2019

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В МЕДИЦИНІ.....	7
1.1. Автоматизація діагностичних і лікувальних методик .....	7
1.2. Організаційно-інформаційна підтримка.....	9
1.3. Телереабілітація .....	10
РОЗДІЛ 2. ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ТРЕНАЖЕРІВ В РЕАБІЛІТАЦІЇ .....	14
2.1. Реабілітаційна система для верхніх кінцівок VIMEO PRO .....	14
2.2. Комп'ютеризована система для відновлення плечового суглоба Multi-Joint System.....	18
ВИСНОВКИ.....	24
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	26
ДОДАТКИ.....	32

## ВСТУП

Актуальність роботи. Питання реабілітації хворих які мають обмежені можливості є актуальним у всьому світі. За даними ООН, у світі число людей з порушеннями фізичного та психічного стану сягає близько 450 млн. За статистикою в Україні більше 2,8 млн людей мати обмежені можливості рухових та когнітивних функцій на підставі захворювань опорно-рухового апарату та нервової системи. З них 80% - це люди працездатного віку. [47] Через це страждає економіка країни, що спонукає розробляти новітні мультидисциплінарні технології. Залучення цих технологій в реабілітаційні програми сприяє значному підвищенню їх ефективності. [37] На сьогоднішній день активно створюються та розвиваються технології впливу на мозок за допомогою віртуальних технологій. Використання цих технологій здатно значно підвищити результативність відновлюючого процесу, зробити його швидшим та якіснішим в досягненні результатів. [5,6]

Важливою проблемою теперішнього суспільства є побудова гуманного відношення до осіб з функціональними проблемами, зокрема, адаптація їх до зручного існування в умовах соціуму. Через це багато дослідників (Lewis G.N., Rosie J.A., 2012, Wang Q., 2017, Пападюх Ю. А., 2018) Для фізичної, психологічної та соціальної реабілітації в наш час застосовують великий арсенал дієвих методів, які характеризують стан розвитку в усіх галузях знань[21]. Проте характерним для цього етапу суспільного розвитку є широке впровадження комп'ютерних технологій в усі сфери життєдіяльності людини, та в процес реабілітації людей з функціональними вадами. Але як показують данні в цій сфері, саме комп'ютерні технології відкривають нові можливості і завдяки цьому здобули визнання та розповсюдженість у розвинених країнах світу, але на жаль майже не використовуються вітчизняними фахівцями з реабілітації. Ці данні й роблять актуальним завданням висвітлення можливостей використання комп'ютерних технологій в діяльності

реабілітаційних закладів. Головним завданням медичної реабілітації є побудова теоретичного фундаменту, в рамках якого будуються науково обгрунтовані принципи побудови реабілітаційних програм. Фізична реабілітація — комплекс заходів, які встановлюються установами охорони здоров'я на стаціонарному, поліклінічному та санаторному рівнях, які націлені на відновлення, одужання та реабілітацію порушених функцій, які виникають в наслідок хвороб та травм, обмеження життєдіяльності та соціальної недостатності, пристосування хворого до нових умов життя та трудової, повсякденної життєдіяльності [8].

У реабілітації найважливіше значення має: обгрунтування методичних принципів, та побудова концептуальних положень комплексної реабілітаційної допомоги, впровадження організаційно-функціональних принципів системи інформаційного забезпечення реабілітаційних установ, та забезпечення сучасними технологіями реабілітації, що забезпечать гарантію якості та необхідний обсяг реабілітаційної допомоги.

Об'єктом дослідження є комп'ютерні та віртуальні технології у фізичній реабілітації.

Предметом дослідження є використання VR технологій в фізичній реабілітації для відновлення рухових здібностей хворих.

Мета роботи. Дослідити стан та тенденції розвитку віртуальних технологій у реабілітаційних програмах, та огляд можливостей сучасних комп'ютерних технологій у сфері фізичної реабілітації.

Публікацій у вітчизняній фаховій літературі на дану тему не багато, є також кілька робіт про залучення комп'ютерних технологій у різних сферах професійної діяльності[17], в яких також є можливість знайти інформацію на цю тему. Більшість дослідників даної теми вказують на доцільність використання технології віртуальної реальності для вирішення завдань в психотерапії та психологічної реабілітації. [10]

Так як реабілітація застосовується для розвитку функцій, які дозволяють вільно пристосуватися до вимог суспільства (фізичного та соціального), за основу було взято освоєння пацієнтами, які проходять реабілітацію, різних видів діяльності, в ході чого відбувається розвиток: фізичній, психічний та особистісний.

Завдання дослідження:

1. Аналіз науково-теоретичної та методичної літератури з проблеми використання VR технологій у реабілітації.
2. Опис основних напрямків залучення комп'ютерних технологій в медицині.
3. З'ясувати можливості використання VR-тренажерів, як засобу покращення ефективності реабілітаційного процесу.

## **Перелік умовних скорочень**

VR (з англ. Virtual reality) — віртуальна реальність.

ADL — функціонал повсякденного життя

АПК — апаратно програмні комплекси

ПЗ — програмне забезпечення.

БЗЗ — біологічний зворотній зв'язок.

ІВСЗ — інтерактивне віртуальне середовище з зануренням.

МІС — Медична інформаційна система

## **РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В МЕДИЦИНІ**

### **1.1. Автоматизація діагностичних і лікувальних методик**

Цей напрямок передбачає внесення нових методів діагностики та впливу на людину інформаційно-технологічними факторами (реабілітаційні засоби, апаратно-програмні комплекси), які базуються на передових технологіях кібернетики [1].

Реабілітаційний процес ґрунтується на відповідних реабілітаційних програмах, які створюються з врахуванням анатомо-фізичних та професійних характеристик пацієнта, але алгоритми цих програм є більш-менш однотипними. При побудові реабілітаційної програми враховують діагноз та стан пацієнта, який створюється в залежності від багатьох досліджень.

Інструментальний діагностичний метод досить відомий із загального клінічного досвіду. Що стосується психологічного, то можна відмітити, що ті обмеження, які існували в методологічному апараті діагностичних психологічних тестів були пов'язані з обмеженими можливостями людини. З розвитком цієї сфери основна частина психо-діагностичних тестів автоматизована. Окрім розвитку можливостей психодіагностики, інформаційно-комп'ютерні технології забезпечують психологів новими засобами психокорекції, зокрема розвитку пізнавальних здібностей людини. Низько розвиненим залишається напрямок корекції емоційних, особистісних та поведінкових якостей людини, хоча вже зараз з упевненістю можна сказати, що комп'ютерні програми мають значний потенціал у цій сфері. [41]

Засоби впливу на організм зовнішніми інформаційно-технічними факторами ділять на два класи, автоматизовані реабілітаційні системи, та системи з біологічним зворотнім зв'язком. Також перший клас можна ще поділити на два підкласи - роботизовані комплекси та реабілітаційно-діагностичні комплекси, а другий клас - на системи з програмним управлінням та замкнуті управляючі системи.

Автоматизовані реабілітаційні системи: новітні технології в приладобудуванні для медичної реабілітації, що базуються на мікропроцесорних інформаційних технологіях, вони дозволяють створювати новітні багатофункціональні АПК та роботизовані пристрої. Мікропроцесори дають змогу створити на одній технологічній базі з допомогою програмування багатофункціональні пристрої - комбайни, які включають в себе діагностичні та функціональні блоки. Єдина платформа програмується на індивідуальні програми та дозволяє проводити послідовно або паралельно поєднання дій. Необхідним атрибутом АПК є комп'ютер з спеціальним управляючим ПЗ. [3] До комп'ютеру підключається реабілітаційний апарат та датчики контролю стану організму хворого. Так, у ДЗ «НПМ РДЦ МОЗ України» використовується Система Ergo Watch, вона забезпечує проведення постійних серцево-судинних тренувань. Інша система — Комплекс ENTREE-M - універсальний тренажер з програмним забезпеченням для діагностики та лікування захворювань опорно рухового апарату.

Біоуправління - це комплекс ідей, методів та технологій, які базуються на принципах біологічного зворотного зв'язку (БЗЗ), спрямованих на розвиток механізмів саморегуляції фізіологічних функцій при патологічних станах. [39] Найпоширенішим є метод БЗЗ за параметрами електричної активності мозку. У цій сфері знайшли своє застосування комплекси по принципу «закритої системи». Приклад використання психофізіологічного комп'ютерного комплексу «Синхро-С». [42]

Ще одним напрямком розвитку технологій біоуправління є використання інтерактивних віртуальних середовищ з зануренням (ІВСЗ). Ця технологія забезпечує занурення людини в віртуальне середовище та взаємодію з цим середовищем з врахуванням різних особливостей людини (фізичних, психофізіологічних та особистісних). Інтерактивне віртуальне середовище з зануренням — інтегруюче поняття, тісно пов'язане з поняттями «віртуальний



світ», «віртуальна реальність», «біокібернетичний інтерфейс». Ця технологія знайшла своє призначення в реабілітаційних цілях. В Україні розвитком цього напрямку займається Інститут проблем медичної реабілітації. Результати досліджень і розробок можна переглянути в роботах професора Козьявкіна В. І. [17-18]

## **1.2. Організаційно-інформаційна підтримка**

Інформатизація реабілітаційної медицини в Україні на даний час не досконала. Вирішення питань про використання інформаційних технологій для вирішення проблем реабілітації розглядали в своїх роботах Козьявкін В. І. Качмар О. А. Качмар В. А. Маргосюк І. П. Панченко О. А. та ін. [24,11,17,18] Але потреба у дослідженнях по розвитку шляхів науково-технічних розробках залишається важливою. Загальний дизайн проведення медичних заходів щодо кожного хворого формує індивідуальний комплекс терапевтичних впливів.

Сучасні МІС пропонують різні варіанти вирішення для інформаційного забезпечення реабілітаційного процесу. В одних МІС це реалізовано на базі інтеграції двох підсистем: лікувальної та реабілітаційної: у других - усе заключається на реабілітаційних модулях, у інших - усе в рамках однієї МІС, що забезпечує потреби лікувально-реабілітаційного та діагностичного процесів, наукової та навчальної роботи реабілітаційної установи. Розробка кращого реабілітаційного плану несе за собою не тільки створення стратегії та тактики лікувального процесу, але і формування найкращого реабілітаційного процесу. В ДЗ «НПМ РДЦ МОЗ України» створено модуль «Маршрутизація», цей модуль виконує функції планування та формування маршрутного листа, облік процедур, та контроль за звітністю. [24]

Необхідною складовою забезпечення безперервності реабілітаційних заходів є створення єдиного інформаційного простору системи реабілітаційної допомоги. Під час проведення реабілітаційного процесу необхідна оперативна і вірна інформація не тільки про етапи та результати проведення

лікування та реабілітації, а і відомості щодо останніх наукових розробок, важливих для процесу реабілітації. Першочергове завдання може бути вирішено шляхом створення уніфікованої електронно-обмінної реабілітаційної карти пацієнта та забезпечення оперативного управління системою. Другою задачею є збір інформації про інновації в єдиній інформаційній базі та систематизація новітніх наукових розробок, та створення на їх базі науково-методичні засоби для залучення їх в реабілітаційних програмах. Метою створення інформатизації медицини є задоволення потреб хворих в інформації, що в свою чергу дозволяє своєчасно обрати якісне та доступне лікування. Сучасні МІС дають певну інформацію хворим, наприклад запис хворих на прийом до лікаря через мережу інтернет. [7 с33-36] Данні показують, що такий мінімальний сервіс здатний помітно полегшити та підвищити рівень відвідуваності. За допомогою можливостей комплексної МІС можливо надавати хворим більш великий та різноманітний спектр послуг.

### **1.3. Телереабілітація**

Телереабілітація це напрямок нуки направлений на розвиток технології дистанційного керування та контролю реабілітаційного процесу. Ця сфера найбільш поширена та застосовується в нейропсихології, розладах мовлення, фізіотерапії, ЛФК, ортопедії та неврології. [9] Основні види систем телереабілітації: синхронні, сенсорні, інтерактивні (роботизовані), біотелеметричні, мобільні та веб-інтегровані.

Синхронні системи телереабілітації ґрунтуються на сеансах відеоконференц-зв'язку між лікарем та пацієнтом для дистанційного контролю виконання заданої реабілітаційної програми. Сеанси здійснюються з допомогою Інтернету, або відеодзвінків через мобільний зв'язок. Під час дзвінків лікар контролює правильність виконання вправ, обсяг і точність рухів та надає інформацію про стан пацієнта, необхідні лікувальні дії та коригує відновлювальну програму, пацієнт в свою чергу виконує вправи та надає суб'єктивну інформацію про свій стан.

Сенсорні інтерактивні (роботизовані) системи використовуються для телереабілітаційних програм у пацієнтів з різними фізичними порушеннями.[9,16] Такі системи частіш за все складаються з комплексу пацієнта (комп'ютер: спеціальне ПЗ для виконання завданих вправ за допомогою комп'ютерних ігор та віртуальної реальності), електро-механічного або електронного тренажера або пристрої взаємодії, комплексу лікаря (сервер мед закладу, комп'ютер лікаря, спеціальне ПЗ, програмні або апаратно-програмні засоби дистанційного керування тренажером пацієнта), лінії зв'язку (Інтернет канал). Під час застосування сенсорної інтерактивної системи пацієнт виконує програму вправ за допомогою електромеханічного або електронного тренажера. При цьому здійснюється телеметрія та аналіз ефективності виконання вправ. Лікар-куратор оцінює дії та прогрес пацієнта, а також може синхронно брати участь та керувати виконанням реабілітаційної програми.

Типові сенсорні інтерактивні системи для телереабілітації:

1. Фізіотерапевтичні системи - дають змогу пацієнтам виконувати необхідні реабілітаційні вправи в домашніх умовах, або під час прогулянок, і бути на зв'язку з фізіотерапевтом.
2. Системи з віртуальним середовищем. Основною перевагою є те, що, крім тренування рухів, віртуальна реальність забезпечує зворотній зв'язок та дає миттєву інформацію про помилки. Особливим підкласом є інтернет-видання-системи, які ґрунтуються на ігрових технологіях. Ці системи розробляються в Міжнародній клініці відновного лікування. [18 с 188-192] Виконуючи задану вправу пацієнт одночасно грає в комп'ютерну гру. Реабілітаційні програми обираються на сайті <http://game.reha.lviv.ua>. Інформація про результати тренувань зберігається на сайті у вигляді графіків. Лікар контролює весь процес реабілітації та надає необхідні рекомендації пацієнту.

Біотелеметричні телереабілітаційні системи створюються на основі комплексів біотелеметрії (радіотелемоніторингу). Використання радіотелемоніторингу забезпечує об'єктивну оцінку адаптаційних функцій, контроль та керування процесом фізичного відновлення пацієнтів з серцево-судинною патологією шляхом дистанційної оцінки стану кардіо-респіраторної системи пацієнта. Система радіотелемоніторингу дає змогу безперервного, одночасного контролю електрокардіограм та інших показників пацієнта, який виконує фізичні вправи. Відеоспостереження за правильністю виконання фізичних вправ, об'єктивує характер реакції серцево-судинної системи хворого на той чи інший комплекс вправ.

Мобільні телереабілітаційні системи. Бездротові мобільні пристрої зв'язку (телефони, смартфони, комунікатори) використовують в системах телереабілітації таким чином: [2]

- Регулярні нагадування про необхідність виконання програми реабілітаційних вправ.
- Телеконтроль - увесь процес виконання вправ, та досягнення результатів фіксується у вигляді фото, або відео та відправляються своєму лікарю, у випадках коли потрібен більш точний контроль використовують відеозв'язок.
- Використовують як компонент біотелеметричної телереабілітаційної системи.
- За допомогою мобільного телефону лікар може спостерігати за процесом виконання психотерапевтичної відновної програми за допомогою спеціального веб-сайту.

Веб-інтегровані телереабілітаційні системи - це спеціалізовані Інтернет - портали з набором функцій спрямованих на виконання відновлюваних програм пацієнтами та дистанційний контроль даного процесу медичними працівниками. [4]

Роблячи висновки можна сказати, що комп'ютеризація в реабілітології розвивається в трьох основних напрямках: телереабілітація, організаційно-інформаційна підтримка та автоматизація діагностичних та лікувальних методик. Хоча між вказаними напрямками чіткої межі провести не можна, саме така градація найбільш повно та правильно відображає сучасний стан інформатизаційних процесів реабілітології. Комп'ютеризація реабілітаційної медицини в Україні в даний час далека від досконалості та потребує інтенсифікації науково-практичних досліджень в цьому напрямі. Проте виявлені тенденції прогресу показують ймовірність досягнення більш високого рівня функціонування, зниження і більш високої якості медичного обслуговування, що сприяє здійсненню реального реформування української медицини та еволюції організації охорони здоров'я та надання медичних послуг населенню.

## **РОЗДІЛ 2. ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ТРЕНАЖЕРІВ В РЕАБІЛІТАЦІЇ**

### **2.1. Реабілітаційна система для верхніх кінцівок VIMEO PRO**

Реабілітаційна система для верхніх кінцівок VIMEO PRO вироблена в компанії Kinestica та має різні режими фізичної реабілітації з різноманітними терапевтичними додатками. Один з режимів (бімануальний) дозволяє пацієнтам рухати постраждалою рукою за допомогою здорової, це дозволяє оцінити їх бімануальну координацію. [46] Усі режими у цій системі тренують хворих для виконання різних завдань, пов'язаних з повсякденними руховими діями, це дозволяє лікарям оцінити діапазон рухів у пошкоджених руках. Система VIMEO PRO була розроблена для покращення реабілітації пацієнтів, котрі відновлюються після інсульту або для тих хто страждає нервовими рухами. Також ця система показала гарний результат у лікуванні хворих на розсіяний склероз, аміотропний бічний склероз, а також для пацієнтів, які відновлюються після травм головного мозку, пошкоджень спинного мозку, відновлення пацієнтів з неврологічними та нейромоторними розладами, та інших порушень верхніх кінцівок.[50] Реабілітація з використанням новітньої системи VIMEO PRO відноситься до найсучасніших методів лікування, вона успішно поєднує ігрове VR-середовище з уже відомими традиційними методами реабілітації. Під час використання системи хворому рекомендується виконувати рухи пошкодженою рукою, яка підтримується рухом здорової руки. Підтримка виконується та контролюється за допомогою адаптації автоматичної терапії, яка доповнена рухами з повсякденних життєвих ситуацій, в той час як більш складні специфічні дії виконуються для оцінки об'єктивної рухової функції. Лікар з легкістю може відстежити якісні зміни у відновлені стану пацієнта та відрегулювати навантаження в реабілітації хворого відповідно до його потреб та його фізичного стану. Завдяки цьому реабілітація надає більш ефективний результат, а час на повне відновлення стає меншими. За рахунок використання різноманіт-

них додатків, видів відновлення та зручного, зрозумілого інтерфейсу система BIMEO PRO забезпечує досить широкий діапазон режимів терапії та способів реабілітації. Можливості системи вміщують в себе: унікальну терапію на опорній поверхні та у вільному просторі; бімануальну терапію; терапію зап'ясть у сфері підтримки; терапію з ізоляцією суглобів верхніх кінцівок; систему реабілітації, яка сполучає технологію для захвату руху з VR-середовищем та веб-платформу; VR-ігри, які керуються пацієнтом шляхом переміщення кінцівки, в цей час лікар може спостерігати за виконанням через інтернет платформу та адаптувати гру під особливості пацієнта; також фахівці можуть самостійно створювати та ділитися новими режимами та вкладеннями, завдяки простому та зрозумілому інтерфейсу новий режим терапії відкривається за декілька натисків.[29] Комплексна система BIMEO PRO має спеціальні датчики для контролю хворих, в той час як вони виконують спеціальні вправи, та ті, що розроблені спеціально для об'єктивної оцінки рухових функцій верхньої кінцівки. Це дає можливість відстежувати покращення пацієнтів та пристосувати програми відновлення та рівні складності до особистих потреб і можливостей пацієнта. Система дає змогу обрати 2 варіанти терапевтичних вправ: 1- мотивує хворих виконувати ізольовані дії як найточніше, а 2- Закликає виконувати більш складні рухи аналогічні тим які використовуються у повсякденному житті. [20]

Для того щоб підвищити мотивацію пацієнта у моторній реабілітації використовують технологію VR. Науковою групою доказано, що фізичні заняття з поєднанням реабілітаційної системи та VR надають набагато кращі результати, чим використання лише однієї системи, а платформи VR для моторної реабілітації в домашніх умовах надали забезпечення функціонального відновлення рук. VR- середовища найбільш схвалені в реабілітації верхніх кінцівок і можуть поділятися на функціонал повсякденного життя (ADL) і Gamelike VR. [49] ADL симулюють задачі повсякденного життя, наприклад, готування їжі та миття посуду.

Gamelike VR розвиває та тренує важливі рухи, наприклад, дотягнення та захват, відпрацьовуючи це в ігрових формах, таких як, ігри у бадмінтон, ловля звірів, або дайвінг. Суть ADL викривається в тому, що вони дають змогу легше переносити вивчені дії з віртуального середовища до реального життя. ADL та Gamelike VR запровадили декілька методів для збільшення мотивації хворого, де одним з найбільш досліджуваних є адаптація вправ: рівень складності та різновид завдань мають бути індивідуальними для кожного хворого, це дає змогу надавати важкий але приємний досвід реабілітації. [30]

Ця адаптація широко використовується в режимі реального часу під час вправ на основі показників ефективності хворого, основуєчись на показники ефективності у віртуальному середовищі, а також різних показників рухової активності, таких як швидкість рук, форма траєкторії руху кінцівок та середні межі взаємодії між кінцівкою та реабілітаційною системою. До того ж, що на них ґрунтується адаптація в навчанні, ці показники можуть використовуватися для зворотного зв'язку між хворими та лікарями. [34] Доведено, що хворі зазвичай одержують недостатньо відгуків відносно їх реабілітації, а використовуючи VR-середовище вони мають можливість навчатися та бачити зміни в своєму відновленні.

Окрім цього не всі віртуальні середовища підходять для всіх хворих. Таким чином віртуальна моторна реабілітація удосконалюється шляхом доповнення до неї когнітивного завдання — необхідність розпізнавати і запам'ятовувати різні об'єкти; не зважаючи на те, що такий спосіб реабілітації є захоплюючим і продуктивним для одних пацієнтів, для інших, які перенесли наслідки інсульту з суттєвими когнітивними порушеннями це може виражатися стресовим станом та заплутаною свідомістю.[33] Розглядаючи проблему того, що не всі реабілітаційні VR-середовища можуть бути використані при відновлюю чому процесі всіх хворих, яка виявилась при їх ство-



ренні, ці середовища дають змогу декільком хворим разом проводити реабілітацію, або хворому разом з лікарем чи членом сім'ї проводити необхідні відновлюючі дії.

Це може мати форму суперництва або кооперації. Проте, хоча деякі попередні випробування дали успішний результат на мотивацію, ряд лікарів помітили, що деякі хворі були надто зацікавленими конкуренцією. Було проведено опитування в ході якого виявилось, що людина за своєю сутністю надає перевагу завданням які направлені на конкуренцію, аніж кооперативним, тому більшості пацієнтам приємніше та цікавіше працювати в конкурентоспроможному VR-середовищі. При підборі двох «гравців» необхідно враховувати рівень їх кваліфікації, тобто зважати, що на одній платформі можуть грати наприклад пацієнт та фахівець, або хворі з різним рівнем підготовленості.

Інерційна система захвату руху BIMEO PRO має набір інерційних датчиків виміру (комбінації акселерометра, гіроскопа, магнітометра) які розміщуються на верхніх кінцівках, а також ручний датчик сили що дає можливість спостерігати за кінетикою рук з високою точністю, яка зменшується для дуже швидких рухів, які не розповсюдженні в моторній реабілітації і, частіше за все пов'язані з спазмами верхніх кінцівок. Система має VR-платформу з конкурентними та кооперативними факторами, використовуючи які пацієнти застосовують систему відстеження інерційного руху BIMEO PRO для реабілітації рук. На верхні кінцівки хворого закріплюються інерційні датчики вимірювання, а датчик сили пацієнт тримає в руці. [7]

Алгоритми пристосованості у даній системі створені для збалансованості та зручності для усіх «гравців». Створено два окремих алгоритми: перший — вимагає від «кращого гравця» виконувати складніші дії, тим самим перешкоджає йому грати, другий — полегшує задання «слабкішому гравцю», шляхом надання йому додаткових візуальних вказівок. [28] Додатком до конкурентного алгоритма з ускладненням адаптації, були створені

кооперативні вправи у віртуальних середовищах де гравці мають виконувати поставлені перед ними завдання разом заради спільної мети. Вони можуть грати разом «кожен гравець мусить піднімати великий VR-об'єкт», або окремо «VR-об'єкти розташовані в різних місцях і оди гравець може переміщати більшу кількість об'єктів». В Віртуальних середовищах, які націлені на конкурентну працю можуть грати тільки конкурентоспроможні гравці і їм необхідно поступова адаптація складності рівнів. Так як конкуренція відбувається між двома добре знайомими людьми (друзі, лікар або родина), адаптація труднощів не буде такою важкою. У Додатку А наведено приклад фізичних вправ з використанням реабілітаційної системи для рук BIMEO PRO.

Кооперативні віртуальні середовища є легшими у використанні, так як два гравці мають можливість створювати вигадані ролі у грі — здоровий гравець може виконувати більшу частину завдань, які хвора людина не може. [50] Однією з можливостей BIMEO PRO є те, що у випадку ефективності конкурентно спроможних і кооперативних VR-середовищ, створюють апаратне забезпечення яке робить можливим зворотній зв'язок пацієнта. Наприклад член родини може допомагати фізично хворому у віртуальній грі, шляхом руху його руки на реабілітаційній системі. Так як хворі на інсульт часто страждають на геміпарези, фізична реабілітація в домашніх умовах створена так, щоб одна з верхніх кінцівок підтримувала іншу та зрівноважувала її слабкі сторони, важливим моментом є сполучення інерційного пристрою відстеження руху з VR-платформою, що включає в себе конкурентно спроможні та кооперативні алгоритми. [30] Вони створені з значними потенційними перевагами аби пацієнт не засмучувався.

## **2.2. Комп'ютеризована система для відновлення плечового суглоба Multi-Joint System**

В наш час в житті суспільства збільшується кількість випадків захворювань та пошкоджень плечового суглоба, що в свою чергу зменшує рівень

працездатності. Проблема травматизму та реабілітація після цього в повсякденному житті або спорті ще мало вивчені, тож визначення дієвих засобів з профілактики травм та захворювань плечового суглобу — сучасна вагома наукова проблема, при вирішенні якої можна забезпечити покращення здоров'я людини у повсякденному житті, а також у спортивному процвітанні.[12 с 62-627] Виконуючи профілактику та відновлюючі процеси при пошкодженнях плечового суглоба застосовуються різні комплекси засобів та методів фізичної реабілітації: спеціальні фізичні вправи, лікувальна гімнастика, фізіотерапія та гідрокінезотерапія, механотерапія, комп'ютеризовані системи та ін. Однією з ефективних та новітніх комп'ютеризованих систем для фізичної реабілітації плечового суглоба є система Multi-Join Sistem 403 Plus .

Система Multi-Joint System MJS 403 PLUS створена для реабілітації плечового суглобу, вона допомагає хворим відновити втрачені можливості, вона сприяє відновленню після пошкоджень плечового суглобу, та відновленню рук пацієнтів після інсульту. [20]

Шляхи відновлення плечового суглобу та лікування парезу руки за допомогою системи MJS. У першу чергу необхідно зафіксувати руку з парезом в спеціальному ортезі системи, після цього на екрані — відображаються графічні завдання або ігри, які пацієнт виконує шляхом переміщення курсору на екрані комп'ютера хворою рукою. Лікар має можливість підтримувати та контролювати дії пацієнта, доповнюючи його рухи за допомогою використання цієї системи. Особливістю системи Multi-Joint System MJS 403 PLUS є те, що задачі для кожного пацієнта можна створювати максимально наближено до рухів в їх повсякденному житті. [48]

Механічна рука системи MJS - це об'єднана система, яка встановлюється паралельно до руки пацієнта, механічні руки створені відповідно до функціональних принципів біокібернетики. Ця механічна рука дає свободу руху хворому в тривимірному просторі та надає три діапазони «свободи», одночасно виявляється кожен рух пацієнта. [52] Хворому необхідно виконувати

у створеній завчасно певній траєкторії на екрані ПК, аби була можливість спостерігати найскладніші спільні рухи, які досліджуються та записуються для наступної оцінки й зіставлення з набором посилань на індекси. Це в свою чергу допоможе лікарю розробити індивідуальну програму фізичної реабілітації.

В системі комп'ютера рухи здійснюються навколо трьох головних осей — фронтальної, сагітальної та вертикальної. Також є можливість виконувати кругові рухи, це має назву ціркумдукція. Виконуючи рухи навколо фронтальної осі кінцівка виробляє згинання і розгинання, навколо сагітальної — відведення та приведення, а навколо вертикальної — обертання рук назовні і всередину. [26] Є можливість згинати і відводити верхню кінцівку але тільки до рівня плечей, так як подальший рух зупиняється натягом суглобової капсули та упором верхнього кінця плечової кістки. У випадку коли рух кінцівки триває вище від горизонталі, то він відбувається вже не в системі комп'ютеру, а вся рука рухається разом із поясом верхньої кінцівки, причому лопатка робить поворот зі зміщенням нижнього кута у перед та у бічну сторону.

Аби розширити потенціал система MJS має три регульовані блоки з самостійним управлінням сили: перший — для згинання та розгинання, другий — для відведення і приведення, третій — обертання кінцівки назовні і всередині з ціллю вдалого контролю рухових дій. [27]

Принцип системи Multi-Joint System MJS 403 Plus полягає в гідростатичному виштовхуванні вгору для допомоги фахівцям контролювати необхідну кількість навантаження на суглоб, ураховуючи підвищену чутливість і точність відносно м'язового втручання щодо хворого.

Основні характеристики системи Multi-Joint System 403 Plus: управління комп'ютером з дисплеєм 20 дюймів; антропоморфна рука з трьома ступенями свободи; електропневматична система регулювання потужності; Arm рух 3D; Інтра-додатковий діапазон обертання —  $90^{\circ}/90^{\circ}$ ; супінація-діапазон —  $90^{\circ}/90^{\circ}$ ; діапазон висоти —  $0-180^{\circ}$ ; кутове збільшення кроком —  $0,1^{\circ}$ ;

Flex-подовжувач  $-30^{\circ} +30^{\circ}$ ; латеральний дозвіл —  $0,1^{\circ}$ ; горизонтальне розширення діапазону перегину —  $45/120^{\circ}$ ; частота дискретизації — 20Гц; потужність модуляції на трьох осях руху з електропневматикою; функції кнопки болю, кнопки для активації навантажень, регулювання суглобового навантаження; модуль тиску руки; горизонтальне й вертикальне регулювання сидіння; підтримка Elbow для вправ у середині додаткового обертання; вага — 200кг.[48]

Система MJS розроблена таким чином що біль повідомляється певним сигналом. В той час як хворий буде виконувати тест він може доповідати про больові відчуття у руці і ця інформація буде зареєстрована програмним забезпеченням системи у реальному житті. Головним завданням є відновлення попереднього тесту і повторення його для перевірки чуттєвості болі хворого у тому ж місті. [52]

Система MJS має інерційний датчик для спостереження за рухом кінцівок пацієнта. Існує декілька видів рухів: один рух, наприклад рукою або подвійний рух - плечем й передпліччям. У першому варіанті є можливість керувати рухами плеча, а у другому - обертаннями кінцівок в середину і назовні, згинанням ліктя й тиском руки, які є корисними для професійної терапії. Прерогативою системи MJS являється вільні дії кінцівок, які залежать від системи антропометричних рухів. [34]

Система може використовувати електроміографію, поєднану з рухами кінцівок для оцінювання м'язової активації. Вона містить чотири канали сама по собі, але також є можливість підключити її до персонального комп'ютера через Bluetooth. [13]

Також система MJS має графічний модуль Flat View, який відображає чітке й якісне зображення тривимірного руху плеча або в режимі перегляду з плоским, у графічному режимі або в анатомічному режимі. У ході реабілітації хворий може сигналізувати про точки болю, натискаючи на відповідну кнопку. Координати точок болю залишаються в системі і можуть бути доступні для наступних перевірок через деякий час.

Модуль реабілітації та трасування — два важливих засоби для виконання точних пропріоцентивних тренувань та локальних точних оцінок. Кольорові точки дають зображення необхідних пунктів транзиту, саме тоді як червона лінія являє собою точний кінестичний шлях. Програма забезпечує постійне відображення зазору між точною кінестичною лінією та лінією трасування хворого — кількісної пропріоцептивної чутливості пацієнта (Додаток Б). [35]

Модуль оцінки рухів у плечовому суглобі, які виконуються навколо трьох головних осей: фронтальної, сагітальної та вертикальної. (Додаток В)

Віртуальний модуль трудотерапії. Ця програма відновлює повсякденне оточення та дозволяє хворому зосередити увагу на загальних рухах аніж на окремих. Також система забезпечує суттєве мотиваційне залучення видимого прискорення та збільшення ефективності відновного процесу (Додаток Г).

Система MJS 401 прилаштована до механічної руки з тривимірним рухом, яка встановлена паралельно до руки хворого. Компонент навантаження керується тільки регулятором потужності (відмінно від моделі MJS 403, що має три незалежні регулятори потужності). [32]

Отже в даному розділі ми практично дослідили особливості, принципи дії та функції системи реабілітації для відновлення верхніх кінцівок Vimeo PRO для надання якісного результату в реабілітації верхніх кінцівок у випадках різних пошкоджень та захворювань. Було проаналізовано характеристики, функції та особливості роботи сучасної реабілітаційної системи для верхніх кінцівок Vimeo PRO. Судячи з цього, можна сказати, що виконання відновлюючих вправ використовуючи цю систему суттєво підвищує зацікавленість та мотивацію пацієнтам у реабілітаційному процесі, а також значно підвищує рівень ефективності відновлюючого процесу. Також у цьому розділі була розглянута комп'ютеризована система Multi-Joint System 403 Plus. Ця система застосовується при сучасному вирішенні проблем у реабілітаційних

процесах, а саме для відновлення після травм та захворювань плечового суглоба. Проведений аналіз особливостей функціонування та характеристик комп'ютеризованої системи MJS 403 Plus дає можливість підсумувати те, що використання її значно покращує ефективність фізичної реабілітації пошкоджень плечового суглоба. [46]

## ВИСНОВКИ

1. Отримані в процесі написання бакалаврської роботи висновки дозволяють стверджувати, що залучення новітніх комп'ютерних технологій надає великий спектр можливостей для покращення людського життя у медичній сфері. В процесі було проаналізовано науково-теоритичну та методичну літературу, у яких були висвітлені проблеми використання VR технологій у фізичній реабілітації. В цій роботі були розглянуті технології, які використовуються в реабілітаційному процесі людей з руховими обмеженнями в наслідок різних травм, пошкоджень та захворювань. Їх використання збільшує можливості фахівців в різних реабілітаційних установах, реалізує використання методики лікування, які раніше були не доступні через замалий розвиток технологій. Це в свою чергу збільшує кількість послуг які надаються установами, що значно покращує та задовольняє рівень потреб пацієнтів.

2. Одним з перспективних напрямків розвитку реабілітаційного комплексу є використання VR-технологій. Традиційні методи реабілітації, такі як гімнастика та механотерапія не завжди застосовують активне навчання пацієнта різним рухам, в той час як VR-технології з схожими налаштуваннями рухів завдяки винятковим можливостям відтворювати майже будь-яке середовище та надавати зворотній зв'язок активно залучає хворого в відновлюючий процес, під час якого пацієнт має можливість осмислювати та редагувати свої помилки під час виконання рухів. Для хворих з порушеннями опорно рухового апарату використання технологій створених на основі використання VR-середовища, надає якісні умови для реабілітації рухового дефіциту, зворотній тактильний зв'язок дає змогу відновлювати сенсорні функції, а VR-ігри значно покращують мотивацію пацієнта у ході відновлюючого процесу. Важливим є процес підбору VR-середовища для кожного пацієнта, адже це залежить від індивідуальних особливостей хворого, важкості його захворювання. Для кожного пацієнта необхідно персонально враховувати адаптаційно-компенсаторні можливості організму, так як кожен пацієнт має



різний рівень підготовленості та різний рівень адекватності психічних реакцій при лікуванні з використанням VR-середовища.

3. Але все ж впровадження VR-технологій у реабілітаційну діяльність надає значний діапазон можливих вирішень питань реабілітації за допомогою залучення різноманітних видів занять: ігрової, комунікативної, навчальної та трудової, які виконуються шляхом залучення відповідних VR-програм. Також використання віртуальних технологій надає змогу розширювати фахові можливості, для автоматизації досліджень, а також створення процесу реабілітації. Завдяки візуалізації трьохвимірних об'єктів з використанням деяких комп'ютерних програм, графічних та анімаційних елементів, уможливорюється імітація зорових, слухових і тактильних образів водночас. Це надає широкий потенціал щодо відновлення втрачених функцій, зокрема, у пацієнтів які втратили слух, частково зір або мовлення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Glinkowski W., Wasilewska M., Gil M. [et al.] Musculoskeletal 3G telerehabilitation : Ukr. Z. Telemed. Med. Telemat, 2007. Vol. 5, № 2. P. 189-190.
2. Lewis G.N., Rosie J.A. Virtual reality games for movement rehabilitation in neurological conditions: how do we meet the needs and expectations of the users? Disabil Rehabil 2012.
3. Parsons S. Authenticity in virtual reality for assessment and intervention in autism: a conceptual review. Educational Research Review 2016; 19: 138–157, <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.08.001>.
4. Reinkensmeyer D., Pang C., Nessler J., C. Painter / Web-Based Telerehabilitation for the Upper Extremity After Stroke // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. - 2002. - Vol.10, № 2. - P 102-108.
5. Saposnik G., Levin M.; Outcome Research Canada (SORCan) Working Group. Virtual reality in stroke rehabilitation a meta-analysis and implications for clinicians. Stroke 2011.
6. Wang Q., Markopoulos P., Yu B., Chen W., Timmermans A. Interactive wearable systems for upper body rehabilitation: a systematic review. J Neuroeng Rehabil 2017.
7. Борисов А., Борейко А. Портал для пациентов - новый уровень медицинского сервиса: довідник Врач и информационные технологии. 2010. № 5, С. 33-36.
8. Вальчук Э. А. Диспансеризация и медицинская реабилитация: 2009. - № 2, С. 16-21.
9. Владзимирский А. В. Телемедицина: монография. Донецк: Цифровая типография, 2011. 437 с.
10. Войскунский А, Меньшикова Г. О Применении систем виртуальной реальности в психологии : Вестник московского университета:Серия 14. 2008. № 1. С. 22–36.

11. Дегтяренко Т. М. Інформаційні технології в системі корекційно-реабілітаційної допомоги : Інформаційні технології і засоби навчання. 2010. № 6 (20). С. 18-23.
12. Демиденко М. О. Концептуальні підходи з профілактики травмування плеча в жіночому триатлоні : матеріали XV Міжнар. наук. конгресу (Великобританія, Оксфорд, 06–08 вересня 2016). Оксфорд. 2016. С. 622 – 627.
13. Демиденко М. О. Профілактика повреждених плеча в женском триатлоне : по матеріалам XII междунар. заочной науч.-практ. конф. Харьков. 2016. С. 111 – 115.
14. Икоева Г. А. Использование системы «АРМЕО» после реконструктивных операций на верхних конечностях у детей с неврологическими нарушениями: труды научно-практической конференции. 2011. С. 39 – 43.
15. Качмар В. О. Інформаційні технології для системи інтенсивної нейрофізіологічної реабілітації за методом Козявкіна. 2007. 104 с.
16. Козявкін В. І., Качмар О. О., Аблікова І. В. та ін. Інтернет-система домашнього ігрового тренування рухових порушень: Соціальна педіатрія і реабілітологія. 2012. № 1. С. 24-29.
17. Козявкін В. І. Інформаційні технології в стандартизації та організації медичної реабілітації : Український журнал телемедицини та медичної інформатики. 2008. № 2. С. 211-213.
18. Козявкін В. І., Качмар О. О., Маргосюк І. П., Лунь Г. П. Реабілітація з легкістю гри : Соціальна педіатрія: зб. наук. праць. Інтермед, 2005. С. 188-192.
19. Козявкін В. І., Маргосюк І. П., Гордієвич С. М., Качмар О. О. Системи моніторингу в медичній реабілітації : Інтермед, 2005. С. 183-185.
20. Марченко О. К. Основы физической реабилитации: пособие. Киев, 2012. 528 с.
21. Медведев А. С. Основы медицинской реабилитологии: Минск. 2010. 435 с.
22. Мінцер О. П. Проблеми виявлення нових знань із сховищ медичних даних: Перше повідомлення: Медична інформатика та інженерія. 2012. № 2, С. 5-10.

- 23.Панченко О. А. Информатизация реабилитационно-диагностического процесса в современных медицинских учреждениях: сборник: КВИЦ, 2012. С. 175-189.
- 24.Панченко О. А. Модуль “Маршрутизация” в медицинской информационной системе лечебного учреждения : Український журнал телемедицини та медичної інформатики. 2012. № 1, С. 107-108.
- 25.Плоткин Ф. Б. Компьютерное биоуправление: прогрессивные технологии - в практику здравоохранения : Военная медицина. 2012. № 2, С. 106 -110.
- 26.Попадюх 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. унту ім. Лесі Українки. – № 4 (20).Луцьк, 2012. С. 380–386.
- 27.Попадюх Ю. А. Пути восстановления биомеханики плечевого сустава после артроскопического лечения поврежденной вращательной манжеты плеча : Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка. Серія: Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт. Чернігів: ЧНПУ, 2014. № 118 (3), С. 60–67.
- 28.Попадюх 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, 2014. С. 62–66.
- 29.Попадюх Ю. А. Сучасні комп'ютеризовані комплекси та системи у технологіях фізичної реабілітації: Навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2017. 300 с.
- 30.Попадюх 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.

31. Попадюх Ю.А. Современные СРМ-тренажеры для восстановления двигательных функций кисти и пальцев руки: Научно-практический журнал № 4, 2017. С. 364 - 376.
32. Попадюх 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 Східно-європейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Фізичне виховання і спорт. Випуск 23, Луцьк, 2016. С. 104 - 111.
33. Попадюх 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. Науковопедагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт). 36. наукових праць. К.: Вид-во НПУ імені М.П.Драгоманова, 2012. Випуск 22. С. 48 - 60.
34. Попадюх Ю.А. Пути восстановления биомеханики плечевого сустава после артроскопического лечения повреждений вращательной манжеты плеча: Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. Серія: Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт. Чернігів: ЧНПУ, 2014. № 118 (3), С. 60 – 67.
35. Попадюх 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.
36. Прокопчук Ю. А. Интеллектуальные медицинские системы: формально-логический уровень :Днепропетровск: Институт технической механики НАН Украины и НКА Украины, 2007. 259 с.
37. Разумов А.Н., Мельникова Е.А. Современные подходы к индивидуальному прогнозированию восстановления больных с инсультом в процессе реабилитации: обзор литературы и результаты собственного исследования. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры 2015.

38. Попова С. Н. Физическая реабилитация: учебник для студентов высших учебных заведений под общ. ред. проф. Ростов н/Д: Феникс, 2005. 608 с.
39. Соколов А. В. Современные направления и перспективы развития аппаратных средств биоуправления: Медицинская техника. 2007. № 4, С. 39-41.
40. Флешель А. Опыт применения приборов биологической обратной связи в психотерапевтической практике: Режим доступа: <http://www.fleshel.org/article.php7article>
41. Хлебалкин И. В. Информационные технологии в психологии: Режим доступа: [www.conf.mfua.ru/2005/tesis/28.doc](http://www.conf.mfua.ru/2005/tesis/28.doc).
42. Чумак Т. Э. Биоакустическая коррекция в системе реабилитации невротических и связанных со стрессами расстройств: Т. Э. Чумак, Л. В. Панченко: Реабилитация и абилитация человека. Клиническая и информационная проблематика: сборник научн. Работ. К.: КВИЦ, 2012. С. 285-291.
43. Шевцов А. Новітні технології навчання в освіті студентів із фізичними вадами: Актуальні проблеми виховання та навчання людей з особливими потребами: Зб. наукових праць. К.: Університет "Україна", 2002.
44. Штарк М. Б., Павленко С. С., Скок А. Б., Шубина О. С.: Биоуправление в клинической практике: Неврологический журн. 2000. № 5, С. 52-56.
45. [Электронный ресурс]. Аппараты Биологической Обратной Связи – Режим доступа: [http://biofeedback.at.ua/index/apparaty\\_biologicheskoy\\_obratnoj\\_svjazi/0-5](http://biofeedback.at.ua/index/apparaty_biologicheskoy_obratnoj_svjazi/0-5).
46. [Электронный ресурс]. Реабілітаційна система Vimeo PRO. Режим доступу: <http://www.delo.si/gospodarstvo/podjetja/slovenski-podjetji-do-50-000-evropskih-evrov.html>.
47. [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrhelp.net/en/statistika-invalidizatsii-v-ukraine.html>
48. [Электронный ресурс]. – Система Multi-Joint System MJS 403 Plus. – Режим доступу: <http://www.alphamedsnc.it/riabilitazione-umana/Sistema-MultiJoint-System-MJS-403-Plus.html>

- 49.[Електронний ресурс] – Пристрій для інтерактивної і когнітивної реабілітації верхніх кінцівок Myro. – Режим доступу: <http://www.beka.ru/ru/catalog/vosstanovlenie-funktsiy-verkhnikh-konechnostey/myro>
- 50.[Електронний ресурс] – Система Vimeo PRO. – Режим доступу: <http://www.roboticare.nl/bimeo-pro/>
- 51.[Електронний ресурс]. - Реабілітаційна система для верхніх кінцівок Vimeo PRO – Режим доступу: <https://www.omniagmd.com/product/bimeo-pro-0..>
- 52.[Електронний ресурс]. - Система Multi-Joint System MJS 403 Plus. – Режим доступу:[http://www.workshopcare.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=152&Itemid=391](http://www.workshopcare.com/index.php?option=com_content&task=view&id=152&Itemid=391)
53. [Електронний ресурс] – Створення електронного реєстру пацієнтів Вінницької, Дніпропетровської, Донецької областей та м. Києва (Короткий опис проекту. Методичні рекомендації) – Режим доступу: <http://www.cmsi.donetsk.ua>
- 54.[Электронный ресурс]- Режим доступа: <http://www.lib.ua.ru.net/diss/cont/20420.html>.
- 55.[Электронный ресурс].Биологическая обратная связь.-Режим доступа: <http://bekhterev.ru/index.php?cid=471>.
56. [Электронный ресурс]. БОС (Биологическая обратная связь) терапия— метод реабилитации 21 века. - Режим доступа: [http://badYin.com/bos-biologicheskaya-obratnayasvyaz-terapiya-metod-reabilitatsii-21 -veka/](http://badYin.com/bos-biologicheskaya-obratnayasvyaz-terapiya-metod-reabilitatsii-21-veka/).
- 57.[Электронный ресурс]. Игры та обладнання для корекційно-розвиваючих занять з дітьми з особливими освітніми потребами: <http://game.reha.lviv.ua>.
- 58.[Электронный ресурс] – Реабилитационные комплексы «Локомат» и «Армео» в институте Турнера – Режим доступа: <http://www.medsovet.info/articles/2164>.
- 59.

## ДОДАТКИ

## Додаток А



**Рис 1. 2.1**(Приклад фізичних вправ з використанням реабілітаційної системи для рук VIMEO PRO)



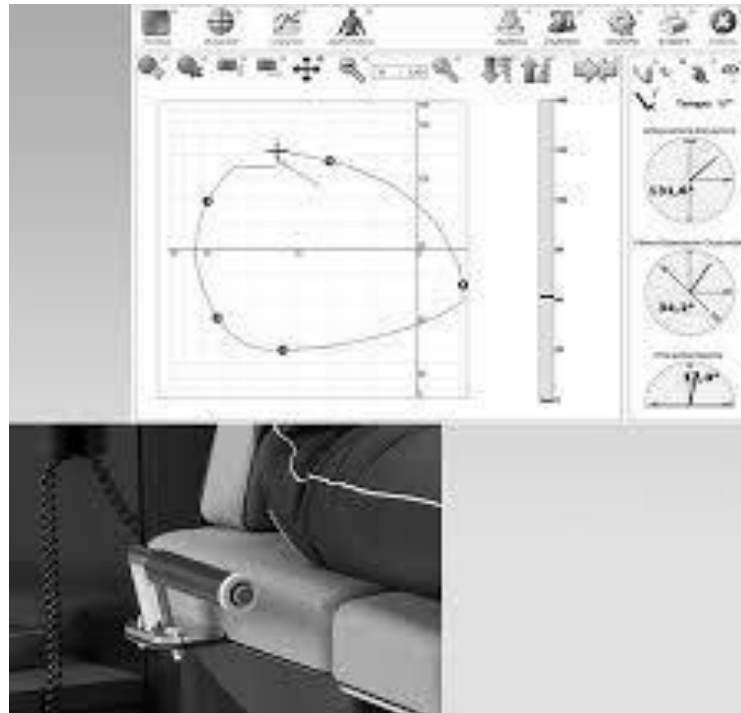
**Рис 2. 2.1**(Приклад фізичних вправ з використанням реабілітаційної системи для рук VIMEO PRO)



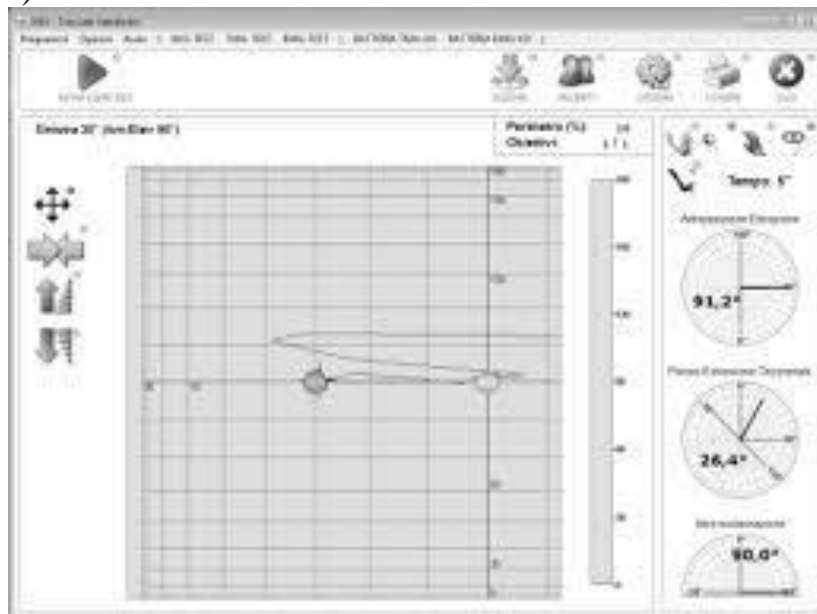


**Рис 3.2.1**(Приклад фізичних вправ з використанням реабілітаційної системи для рук VIMEO PRO)

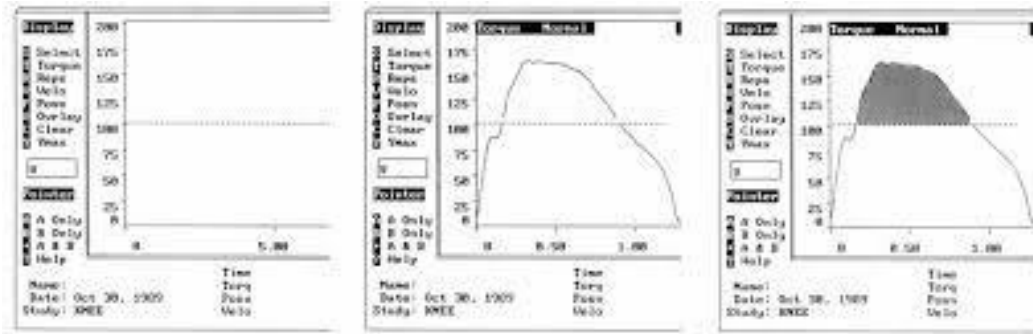
## Додаток Б



**Рис 1. 2.2**(Відстеження рухів та контроль програмою Multi-Joint System MJS 403 Plus)



**Рис 2. 2.2**(Відстеження рухів та контроль програмою Multi-Joint System MJS 403 Plus)



**Рис 3. 2.2**(Відстеження рухів та контроль програмою Multi-Joint System MJS 403 Plus)





**Рис 1. 2.2**(зображення віртуального модулю системи Multi-Joint System MJS 403 Plus)



**Рис 1. 2.2**(зображення роботи віртуального модулю системи Multi-Joint System MJS 403 Plus)