

**Комп'ютеризована система Multi-Joint System MJS 403 Plus у превентивній реабілітації пошкоджень і захворювань плечового суглоба**

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

**Постановка наукової проблеми та її значення.** Незважаючи на використання у фізичній реабілітації при травмах і захворюваннях плечового суглоба (ПС) різноманітних технічних систем, застосування новітніх комп'ютеризованих систем із біологічним зворотним зв'язком (БЗЗ) для підвищення ефективності превентивної фізичної реабілітації (ПФР) пошкоджень і захворювань ПС є актуальною науковою та медико-соціальною проблемою.

У фізичній реабілітації пошкоджень і захворювань ПС використовують фізичні вправи [1, 507 і 6, 49], спеціалізовані СРМ-реабілітаційні тренажери [2, 625; 3, 113; 4, 166; 5, 383; 6, 51; 7, 64; 8, 61] та ін. Незважаючи на існування програм, що вирішують превентивні реабілітаційні завдання щодо травм і захворювань ПС [2, 623 і 3, 112], ще мало задіяні новітні комп'ютерні системи з використанням БЗЗ.

Постає проблема аналізу функціональних та конструктивних можливостей новітньої комп'ютеризованої системи з БЗЗ Multi-Joint System MJS 403 Plus [9–13] для забезпечення превентивної фізичної реабілітації травмування й захворювань ПС. 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».

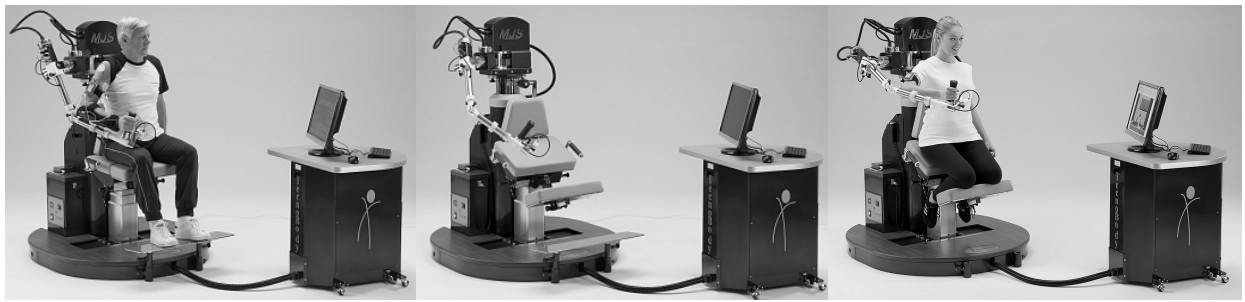
**Аналіз досліджень цієї проблеми.** Забезпечення відновлення функцій ПС – актуальна й важлива проблема. Нині основними засобами фізичної реабілітації є [1, 508] лікувальна гімнастика, масаж, фізіотерапія, механотерапія, переважно СРМ-тренажери різних типів (OptiFlex S Shoulder СРМ, «Magneciser» RB-660V, Fisiotek HP Rimec, Artromot-S3, Kinetec Centura 5 Shoulder СРМ, СРМ Shoulder S3) [4, 166; 5, 383; 6, 51; 7, 64; 8, 61] та ін.

**Формулювання мети й завдання дослідження. Мета роботи** – аналіз функціональних і конструктивних особливостей новітньої комп'ютеризованої системи Multi-Joint System MJS 403 Plus із БЗЗ для превентивної реабілітації пошкоджень і захворювань плечового суглоба.

**Завдання дослідження** – розглянути функціональні та конструктивні особливості новітньої комп'ютеризованої системи Multi-Joint System MJS 403 Plus із БЗЗ, яка забезпечує заходи для підвищення ефективності превентивної реабілітації пошкоджень і захворювань ПС.

**Виклад основного матеріалу та обґрунтування отриманих результатів дослідження.** У сучасному житті суспільства прогресують захворювання й пошкодження ПС, що призводить до втрати працездатності. Близько 65–70 % усіх його ушкоджень пов'язані з ротаторною манжетою плеча (РМП), зріс ризик побутового й спортивного травматизму. Під час проведення інтенсивних професійних дій, навчально-тренувальних занять і змагань плечі спортсменів, наприклад у триатлоні, відчувають значні статодинамічні навантаження. Безпосередні обстеження триатлеток визначили характерні захворювання й пошкодження ПС, що визнано травмонебезпечними [2, 624; 3, 113]. Питання травматизму та його превентивної фізичної реабілітації в повсякденному житті, у спорті, наприклад жіночому триатлоні, ще мало вивчені, тому визначення ефективних засобів із профілактики пошкоджень та захворювань ПС – важлива наукова проблема, розв'язання якої забезпечить здоров'я пересічній людині, а також спортивне довголіття. Під час профілактики травмування ПС, його відновлення застосовують різноманітні методи і засоби фізичної реабілітації: спеціалізовані фізичні вправи [1–4; 6], лікувальну гімнастику [1–3; 6; 8], фізіотерапію та гідрокінезотерапію [1–4], механотерапію – сучасні мікропроцесорні СРМ-тренажери, комп'ютеризовані системи [4–8] й ін.

Однією із сучасних комп'ютеризованих систем для відновлення ПС є система Multi-Joint System MJS 403 Plus (рис. 1) фірми «TecnoBody» (Італія).



**Рис. 1.** Загальний вигляд системи Multi-Joint System MJS 403 Plus

До поширених пошкоджень плеча належать вивихи, пошкодження РМП, Банкарта, нестабільність і больовий синдром ПС. Лише в зимових видах спорту травми плеча становлять 10 % гірськолижних травм, 15 % усіх сноубордичних травм і майже 5 % травм скіборду. У практиці фізичної реабілітації (у тому числі й превентивної) потрібне застосування об'єктивних методик вимірювання та кількісної оцінки рухових характеристик ПС, просторова організація якого тісно пов'язана з проявами ушкоджень РМП.

Через патологічні зміни в пошкодженій РМП виникають зміни і в м'язах, що беруть участь у формуванні рухових актів у суглобі. Важлива проблема в ПС після інсульту – парез руки (у 100 % випадків порушена функція ПС і людина не може підняти руку вгору). Це ускладнює прийом їжі (неможливо піднести ложку до рота), одягання й роздягання (неможливо стягнути із себе одяг), а також дотримання особистої гігієни та ін.

Виконання цих дій дуже важливе як у плані виконання повсякденної діяльності, так і у фізичній реабілітації після захворювання на інсульт та пошкоджень ПС. Побутові навички – це складні багатофазні рухи, що формують більш якісний потік сенсорних імпульсів у головний мозок, що підвищують ефективність лікування та превентивної фізичної реабілітації.

Для розробки ПС створено систему Multi Joint System MJS 403 Plus, яка дає змогу відновити втрачені функції, що природно сприяє профілактиці пошкоджень ПС і відновленню руки людини після інсульту.

*Методика відновлення ПС та лікування парезу руки.* До спеціального ортезу системи фіксується рука з парезом. На екрані персонального комп'ютера (ПК) з'являються графічні або ігрові завдання, у ході яких пацієнт переміщає курсор на екрані ПК хворою кінцівкою. Фахівець може допомагати, доповнювати рухи хворого за допомогою системи. Завдання для хворого можна моделювати, максимально наближаючи їх до тих рухів, які він виконує в побуті (рис. 2).



**Рис. 2.** Розробка плеча на системі Multi-Joint System MJS 403 Plus

*Свобода рухів.* Плече системи (механічна рука) Multi-Joint System MJS 403 Plus – це об'єднана система, що розташована паралельно до кінцівки людини, правильні антропоморфні (механічні) руки розроблені відповідно до функціональних принципів біокібернетики. Ця механічна рука дає свободу

пацієнту в тривимірному просторі та забезпечує три діапазони «свободи», одночасно виявляється кожен рух. Пацієнт повинен слідувати заздалегідь розробленій певній траєкторії на екрані ПК, щоб досліджувати найскладніші спільні рухи, які відслідковуються та записуються для подальшої оцінки й порівняння з набором посилань на індекси. Зазначене допоможе фахівцю (оператору) правильно створити індивідуальний протокол (програму) фізичної реабілітації.

*Контроль над силою.* Рухи в ПС відбуваються навколо трьох головних осей – фронтальної, сагітальної та вертикальної. Існують також кругові рухи (ціркумдукція). Під час руху навколо фронтальної осі рука виробляє згинання й розгинання, навколо сагітальної – відведення та приведення, а вертикальної – обертання кінцівки назовні (супінація) і всередину (пронація). Згинання руки й відведення її можливе лише до рівня плечей, оскільки подальший рух гальмується натягом суглобової капсули та упором верхнього кінця плечової кістки. Якщо рух руки триває вище від горизонталі, то він відбувається вже не в ПС, а вся кінцівка рухається разом із поясом верхньої кінцівки, причому лопатка робить поворот зі зміщенням нижнього кута до переду й у латеральну сторону.

Для розширення потенціалу системи Multi-Joint System MJS 403 Plus (MJS) вона забезпечена трьома регульованими блоками з незалежним управлінням сили: перший – для згинання/розгинання, другий – відведення/приведення, третій – для пронації/супінації з метою досконалого контролю рухових вправ.

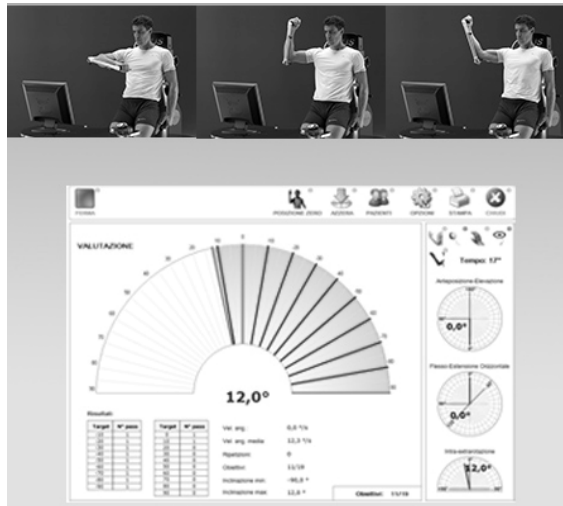
*Атенюатори MJS* забезпечують три різні види контролю сили й дають змогу змінювати силу: F1 – змінює опір у горизонтальній площині, F2 – змінює опір при зміщенні до переду та F3 – змінює опір усередині додаткового обертання. Три сили є двоспрямованими, вони можуть бути нейтральними або діяти проти опору. Функція навантаження (Light-G) корисна, тому що вона розвантажує суглоби ваги руки. Під час роботи в цьому режимі система плавно й поступово виштовхує руку вгору, що дає змогу пацієнтові працювати навіть під час гострої фази болю.

Система MJS застосовує принцип гідростатичного виштовхування нагору, щоб допомогти операторам регулювати потрібне навантаження на суглоб, при підвищеній чутливості й точності відносно м'язового втручання щодо пацієнта (рис. 3).



**Рис. 3.** *Контроль сили плеча на системі Multi-Joint System MJS 403 Plus*

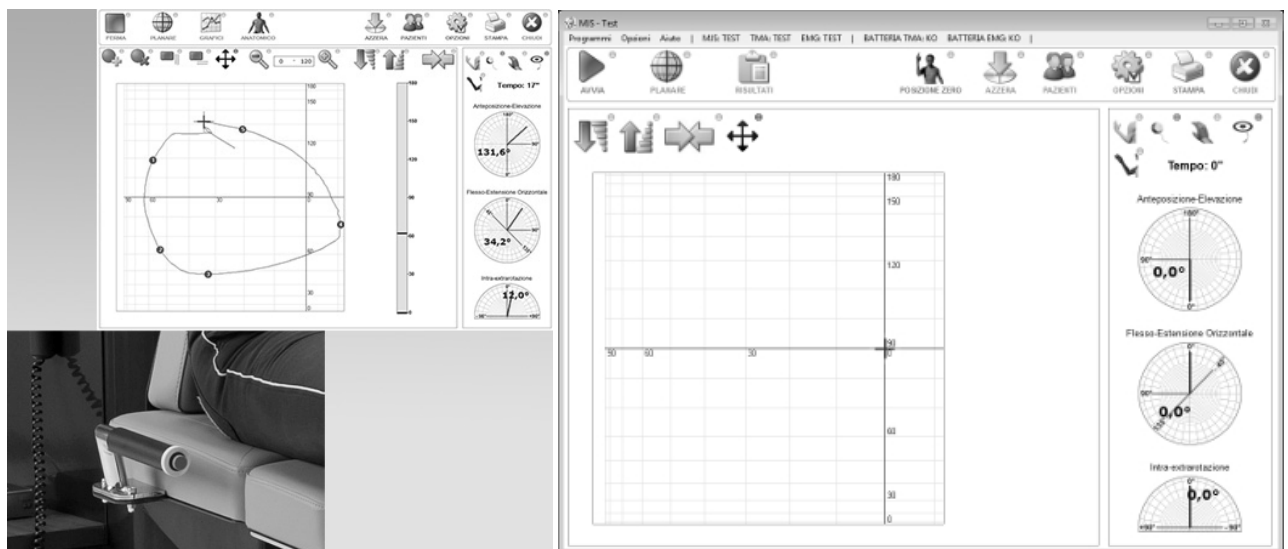
*Intra-екстра обертання.* Для надійної стабільності плеча потрібно відновити рівновагу між додатковою та внутрішньою мускулатурою (РМП). Для цього слід зігнути пошкоджену руку до кута  $90^\circ$  і використовувати двигун F3 із делікатною м'язовою підготовкою цієї ділянки з дуже поступовим та точним способом. Програмне забезпечення (ПЗ) системи дає змогу відображати різну інформацію відносно динамічного руху, кількості послідовностей, кутової швидкості й іншої інформації (рис. 4).



**Рис. 4.** Вивід інформації на ПК Multi-Joint System MJS 403 Plus

Система MJS оснащена кнопкою сигналізації болю. Під час виконання тесту пацієнт може сигналізувати про біль у руці, ця інформація буде зареєстрована ПЗ у реальному часі. Терапевтична й оцінна мета полягає в тому, щоб згадати попередній тест і повторити його для перевірки, відчуття болю пацієнтом у тому самому положенні (рис. 5.1).

Модуль оцінка забезпечує просторове дослідження плеча, пов'язане з діапазоном руху, який виявляється. Тест дає оператору набір показників пропріоцептивної чутливості, рухливості суглобів або розвиненої сили в ізометричному режимі (рис. 5.2).



1

2

**Рис. 5.** Контроль болю та модуль оцінки на ПК Multi-Joint System MJS 403 Plus

Система MJS має інерційний датчик для контролю руху руки пацієнта. Це може бути один (рука) чи подвійний рух (плече й передпліччя). У першому випадку можна управляти рухом плеча, у другому – пронацією та супінацією кисті, згинанням ліктя й тиском руки, що корисні для професійної терапії. Перевага системи – вільні рухи кінцівки, що залежать від системи антропометричних рухів (рис. 6).

Система MJS має можливість використовувати електроміографію (ЕМГ), синхронізовану з рухом кінцівок для оцінки м'язової активації. Вона складається з чотирьох каналів сама по собі, а також її можна підключити до ПК за допомогою Bluetooth.

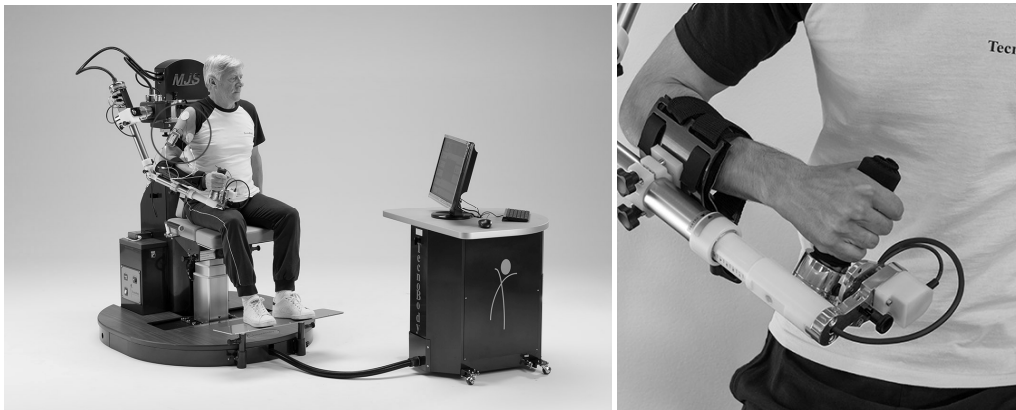
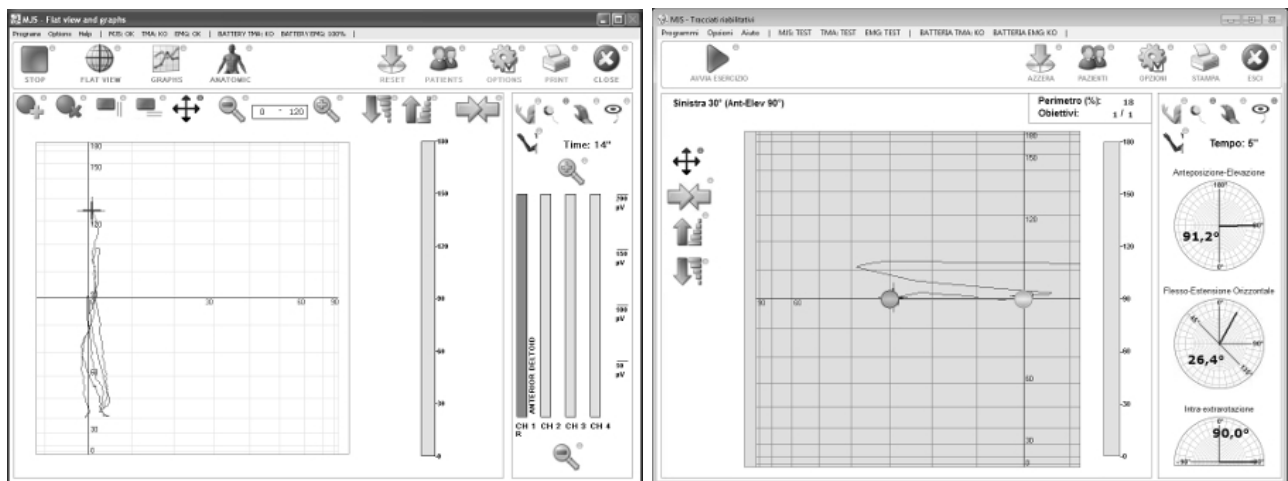


Рис. 6. Контроль інерції та ЕМГ на Multi-Joint System MJS 403 Plus

*Flat View і графічний модуль.* Цей програмний модуль дає чітке й розбірливе відображення тривимірного руху плеча або в режимі перегляду з плоским, у графічному режимі або в режимі анатомічному (рис. 7.1). У ході відновного процесу пацієнт має можливість сигналізації точки болю, натиснувши на кнопку болю. Координати точок болю зберігаються в системі й можуть бути доступні в більш пізні терміни для подальшої перевірки.

Модуль реабілітації та трасування – два особливо корисні засоби для здійснення правильних пропріоцептивних тренувань і локальних точних оцінок. Кольорові точки зображують обов'язкові пункти транзиту (спільні Sense позиції), у той час як червона лінія являє собою ідеальний кінестетичний шлях. Програма передбачає безперервне відображення зазору між ідеальною кінестетичною лінією й лінією трасування пацієнта – кількісної пропріоцептивної чутливості пацієнта (рис. 7.2).



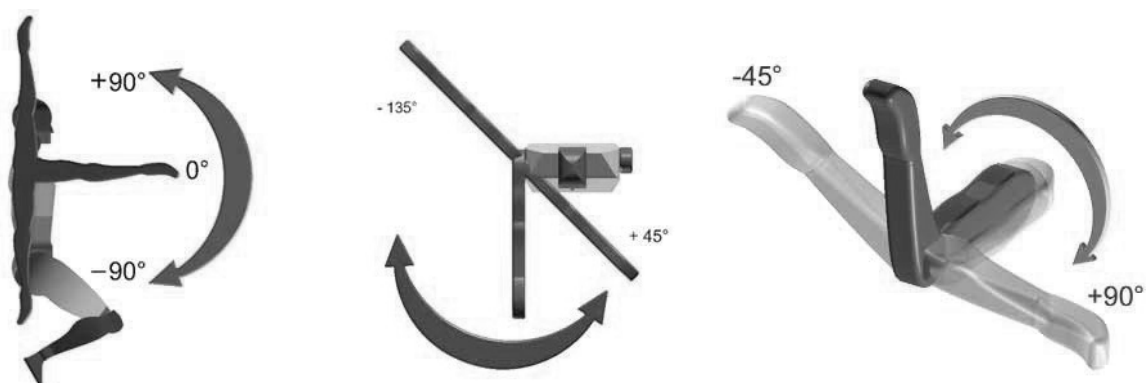
1

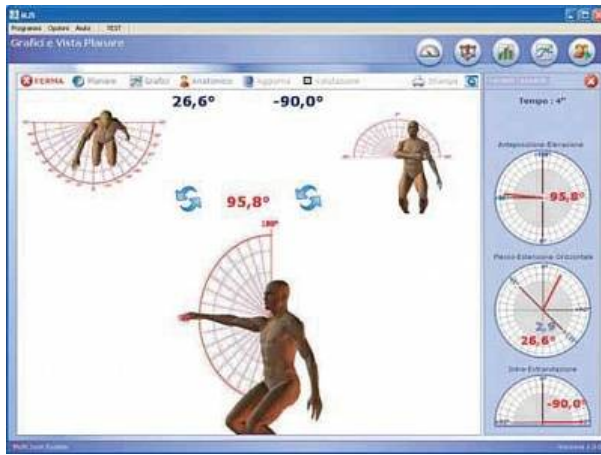
2

Рис. 7. Контроль інерції та ЕМГ, модуль реабілітації й трасування на ПК MJS

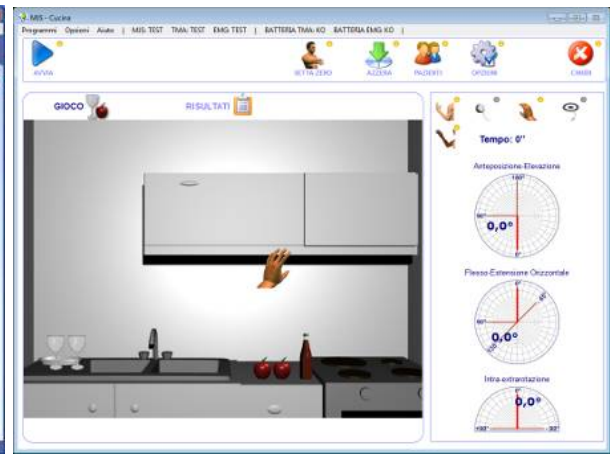
*Модуль оцінки рухів у плечовому суглобі,* що відбуваються навколо трьох головних осей: фронтальної, сагітальної та вертикальної (рис. 8.1).

*Віртуальний модуль трудотерапії.* Зазначена програма реконструює практично повсякденне оточення й дає пацієнтові можливість зосередитися на загальній руховій функції, на відміну від окремих рухів. Програма також забезпечує істотне мотиваційне залучення помітного прискорення та підвищення ефективності процесу фізичної реабілітації (рис. 8.2).





1



2

Рис. 8. Модулі оцінки рухів у ПК та трудотерапія на ПК системи MJS

Система MJS – модель низової лінії декількох Joint System (рис. 9). Як і всі моделі лінії MJS, система 401 пристосована до антропоморфної механічної руки з тривимірним рухом, що розміщена паралельно до руки пацієнта. Компонент навантаження управляється тільки регулятором потужності (на відміну від моделі MJS 403 P, яка має три незалежні регулятори потужності).

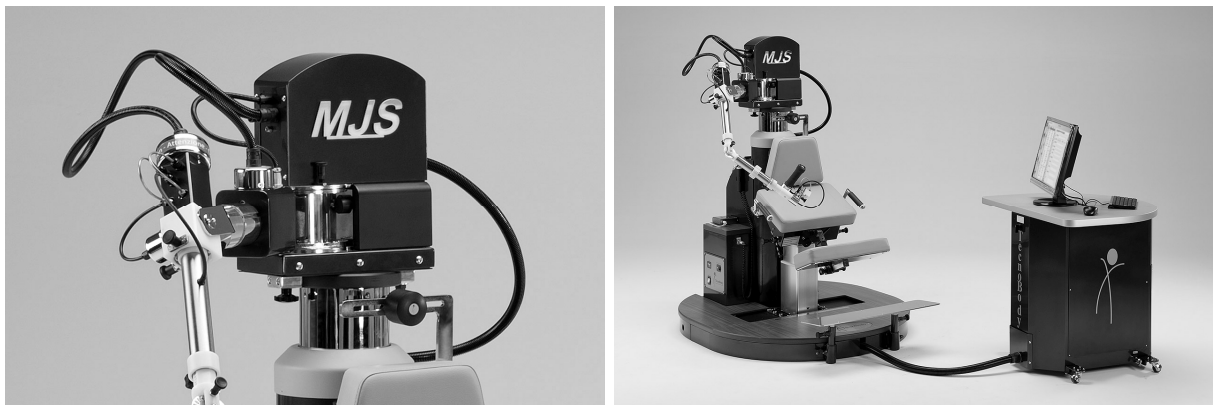


Рис. 9. Модель MJS 401 низової лінії декількох Multi-Joint System

Деякі основні характеристики системи MJS 403 Plus: управління ПК із дисплеєм 20 дюймів; антропоморфна рука з трьома ступенями свободи; електропневматична система регулювання потужності (F1-F2-F3); Argm рух 3D; Intra-додатковий діапазон обертання – 90°/ 90°; супінація-діапазон – 90°/90°; діапазон висоти – 0–180°; кутове збільшення кроком – 0,1°; Flex-подовжувач -30°+30°, -30°+30°; латеральний дозвіл – 0,1°; горизонтальне розширення діапазону перегину – 45/120°; частота дискретизації – 20Гц; потужність модуляції на 3-х осях руху з електропневматикою (F1 і F2 – 50 Нм, F3 – 30 Нм); функції кнопки болю, кнопки для активації навантажень, регулювання суглобового навантаження; модуль тиску руки; горизонтальне й вертикальне регулювання сидіння; підтримка Elbow для вправ у всередині додаткового обертання; габарити (ДхШхВ): 2000x1100x1600 мм; вага – 200 кг.

**Висновки й перспективи подальших досліджень.** Важлива проблема в реабілітації (у тому числі превентивній) – використання новітньої комп'ютеризованої системи Multi-Joint System MJS 403 Plus для реабілітації пошкоджень і захворювань плечового суглоба.

Наведений аналіз особливостей функціонування та характеристик комп'ютеризованої системи з БЗЗ Multi-Joint System MJS 403 Plus дає підставу зробити висновок про те, що її застосування підвищить ефективність фізичної реабілітації (і превентивної) пошкоджень та захворювань плечового суглоба.

Перспективи подальших досліджень – проведення превентивних реабілітаційних заходів для попередження пошкоджень і захворювань плечового суглоба, зміцнення м'язів верхнього плечового пояса людини.

#### 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. Демиденко М. О. Профилактика поврежденных плеча в женском триатлоне / М. О. Демиденко, Ю. А. Попадюха // Развитие науки в XXI веке : сб. ст. науч.-информ. центра «Знание» по материалам XII междунар. заочной науч.-практ. конф. – Ч. 5, Харьков. – Днепропетровск : науч.-информ. центр «Знание», 2016. – С. 111–115.
  4. Попадюха Ю. А. Технические средства для восстановления руховых функций верхних конечностей человека / Ю. А. Попадюха, Н. І. Пеценко // Научный журнал НПУ им. М. П. Драгоманова. – Серия 5 : Педагогические науки: реальность и перспективы. – Вып. 14. – 2009. – С. 165–168.
  5. Попадюха Ю. А. Использование реабилитационных тренажеров в физической реабилитации после артроскопической реконструкции ротаторной манжеты плеча / Ю. А. Попадюха, Адель М. А. Марайта, Л. Д. Катюкова // Физическое воспитание, спорт и культура здоровья в современном обществе : сб. науч. работ Волин. нац. ун-та им. Леси Украинки. – № 4 (20). – Луцк, 2012. – С. 380–386.
  6. Попадюха Ю. А. Методы и средства физической реабилитации при распространенных повреждениях плеча / Ю. А. Попадюха, Адель М. А. Марайта, Н. П. Литовченко // Научный журнал НПУ им. М. П. Драгоманова. – Серия 15 : Научно-педагогические проблемы физической культуры (физическая культура и спорт) : сб. науч. работ. – Киев : Вид-во НПУ им. М. П. Драгоманова, 2012. – Вып. 22. – С. 48–60.
  7. 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.
  8. Попадюха Ю. А. Пути восстановления биомеханики плечевого сустава после артроскопического лечения поврежденной вращательной манжеты плеча / Ю. А. Попадюха // Вестник Черниговского национального педагогического университета имени Т. Г. Шевченка. – Серия : Педагогические науки. Физическое воспитание и спорт. – Чернигов : ЧНПУ, 2014. – № 118 (3). – С. 60–67.
  9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tecnobody.it/ENG/default.aspx?PAG=2&MOD=PRD&f=9&p=66> – Система Multi-Joint System MJS 403 Plus.
  10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [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) – Система Multi-Joint System MJS 403 Plus.
  11. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.alphamedsnc.it/riabilitazione-umana/Sistema-Multi-Joint-System-MJS-403-Plus.html> – Система Multi-Joint System MJS 403 Plus.
  12. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : Multi-Joint System (MJS) – TecnoBody. Каталог оборудования.
  13. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : BTL–TecnoBody\_CA T\_CZ 100 – TecnoBody. Каталог оборудования.

#### **Анотація**

У статті розглянуто особливості застосування системи Multi-Joint System MJS 403 Plus для забезпечення технологій превентивної реабілітації пошкоджень і захворювань плечевого суглоба. **Мета роботи** – аналіз функціональних та конструктивних особливостей системи Multi-Joint System MJS 403 Plus для превентивної реабілітації пошкоджень і захворювань плечевого суглоба.

**Ключові слова:** превентивна реабілітація, пошкодження, захворювання плечевого суглоба, технічні засоби, біологічний зворотний зв'язок.

**Юрий Попадюха, Марина Демиденко. Компьютеризированная система Multi-Joint System MJS 403 Plus в превентивной реабилитации поврежденных и заболеваний плечевого сустава.** В статье рассмотрены особенности применения системы Multi-Joint System MJS 403 Plus для обеспечения технологий превентивной реабилитации поврежденных и заболеваний плечевого сустава. **Цель работы** – анализ функциональных и конструктивных особенностей системы Multi-Joint System MJS 403 Plus для превентивной реабилитации поврежденных и заболеваний плечевого сустава.

**Ключевые слова:** превентивная реабилитация, повреждения, заболевания плечевого сустава, технические средства, биологическая обратная связь.

**Yuriy Popadiukha, Maryna Demydenko. Computerized Multi-Joint System MJS 403 Plus in Preventive Rehabilitation of Injuries and Diseases of the Shoulder Joint.** In the article it is observed the peculiarities of application of Multi-Joint System MJS 403 Plus for securing technologies of preventive rehabilitation of injuries and diseases of the shoulder joint. **The objective of the work** is to analyze functional and constructive peculiarities of Multi-Joint System MJS 403 Plus for preventive rehabilitation of injuries and diseases of the shoulder joint.

**Key words:** preventive rehabilitation, injuries, shoulder joint diseases, facilities, biological feedback.