

Особливості застосування систем класу DIERS для аналізу стану хребта та нижніх кінцівок у реабілітаційних технологіях

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

Постановка наукової проблеми та її значення. Незважаючи на використання в реабілітації при травмах і захворюваннях хребта та нижніх кінцівок технічних засобів, роботизованих комплексів і систем із біологічним зворотним зв'язком (БЗЗ), підвищення ефективності відновлення після пошкоджень і захворювань хребтового стовпа й нижніх кінцівок людини є актуальною науковою та медико-соціальною проблемою.

У фізичній реабілітації після травм і захворювань хребта та нижніх кінцівок використовуються комп'ютеризовані [1, 2], роботизовані комплекси й системи [2, 3], мікропроцесорні, електромеханічні та механічні пристрої [3] тощо. Проте, незважаючи на існування різних реабілітаційних програм із відновлення нижніх кінцівок після їх травм і захворювань, проблем із хребтом [1–3], ще недостатньо використовуються новітні системи для аналізу стану хребта та нижніх кінцівок у фізичній реабілітації.

Відтак актуальна проблема аналізу функціональних і конструктивних особливостей та застосування систем класу DIERS для аналізу стану хребта й нижніх кінцівок [4–15] для підвищення ефективності комплексної реабілітації пацієнтів із травмами та захворюваннями хребта й нижніх кінцівок. Роботу виконано відповідно до плану НДР «Розробка технологій фізичної терапії та засобів їх здійснення» (№ державної реєстрації 0117U002933) кафедри біобезпеки і здоров'я людини НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського».

Аналіз останніх досягнень із проблеми. Якісний аналіз стану хребта й нижніх кінцівок – важлива компонента програми відновлення функцій пошкоджених (хворих) хребтового стовпа та нижніх кінцівок людини, а сучасними діагностичними засобами є різних типів роботизовані, комп'ютеризовані, мікропроцесорні, електромеханічні та механічні комплекси, системи й засоби [1–3].

Формулювання мети й завдання дослідження. Мета статті – проведення аналізу особливостей функціональних і конструктивних характеристик, застосування сучасних систем класу DIERS для аналізу стану хребта та нижніх кінцівок людини в реабілітаційних технологіях.

Завдання дослідження – розглянути функціональні й конструктивні особливості комплексу сучасних систем класу DIERS для аналізу стану хребта та нижніх кінцівок людини в реабілітаційних технологіях.

Виклад основного матеріалу та обґрунтування отриманих результатів дослідження. У житті суспільства прогресують різноманітні захворювання й травми хребтового стовпа та нижніх кінцівок, що призводить до втрати працездатності. Під час інтенсивних професійних дій, навчально-тренувальних занять і змагань хребет та нижні кінцівки людини (спортсменів, робітників) несуть значне статодинамічне навантаження. Одним із новітніх напрямів відновлення рухових функцій хребта й нижніх кінцівок є комп'ютеризована [1] та роботизована механотерапія [2], суть якої полягає у використанні спеціальних конструкцій і функцій багатофункціональних інтегрованих комплексів та систем із використанням БЗЗ, світло-оптичного 3D/4D-аналізу для визначення стану хребта й нижніх кінцівок людини.

Компанія *Diers International GmbH* (Німеччина) спеціалізується на дослідженнях біомеханіки, створенні сучасних біомеханічних систем виміру для задоволення все нових потреб міждисциплінарної медицини. Основним із напрямів досліджень є функціональний аналіз опорно-рухового апарату (ОРА). Увагу в дослідженнях і розвитку приділено світло-оптичному 3D/4D-аналізу хребтового стовпа й постави, аналізу тиску стоп та ходи й не менш важливому аспекту вимірюванню м'язової сили – лінії DIERS FAMUS (аналізу функціональності системи мускулатури).

Система DIERS formetric-технологія вимірювання – міжнародна й найпоширеніша система для світло-оптичного 3D-аналізу хребта та постави. Цей метод вимірювання створено провідними науково-

дослідними установами й університетами Європи. Головна мета – розробка системи для аналізу хребта, що працює без рентгенівського випромінювання для зменшення високого променевого навантаження на людину під час відновлення (лікування). Ця технологія дає змогу проводити непроменеву топографію поверхні тіла людини та 3D-реконструкцію її хребта.

Система відображає велику кількість клінічних параметрів об'єктивного та кількісного аналізу тіла й постави, у тому числі сколіозу та всіх форм викривлення хребта. Технологія Formetric аналізує форму спини без необхідності розміщення маркерів. Анатомічні орієнтири (VP, SP, DL, DR), а також геометрична вісь спини та спинне обертання автоматично виявляються системою. Із новим поколінням систем DIERS 4D motion досягнуто новий рівень у сфері аналізу хребтового стовпа – уперше можна виміряти хребет і поставу під час руху людини.

Ця технологія виміру заснована на фізичному принципі триангуляції. Система має оптичний проектор, оскільки проектує сітку ліній на спину людини, а результат реєструється відеокамерою. Програмне забезпечення (ПЗ) аналізує викривлення ліній і моделює 3D-поверхню спини за допомогою методу фотограметрії. На відміну від інших систем, DIERS formetric разом із поверхнею спини виробляє 3D-реконструкцію хребта *без нанесення спеціальних маркерів*. Автоматичне виявлення анатомічних орієнтирів і, використовуючи науковий метод моделі кореляції, що описує відношення між поверхневим викривленням й орієнтацією кожного хребця, тому можна відновити криву хребта та виміряти параметри положення таза. На відміну від стандартного рентгенівського обстеження, метод DIERS formetric дає змогу отримати всебічну інформацію про стан тіла за одне обстеження, наприклад викривлення хребта (фронтальна й бічна проекції), ротації хребців і положення таза. На підставі проведеного дослідження виявляється навіть м'язовий дисбаланс.

Забезпечується вимір таких параметрів, як нестійкість тулуба (VP-DM), перекіс таза (DL-DR), тазовий нахил (DL-DR), обертання таза, кути (кіфозу, лордозу, сколіозу), ротації хребців, бічне відхилення (VPDM).

Показання до застосування – діагностика та перехід до лікування (відновлення). Діагностика – статичний сколіоз/сколіотична хвороба, різна довжина ніг, функціональний аналіз, перекіс і скручування таза, больові синдроми постави, функціональні порушення положення стоп, гіперлордоз і гіперкіфоз, щелепно-лицьові порушення, баланс пози людини, дефіцит сили м'язів (тести Матіаса та Фламінго), неврологічні ознаки (тест Ромберга).

Перехід до лікування (відновлення) – це ортопедичні устілки для корекції постави, атаксія, лікування за допомогою корсетів, артроз, кістково-м'язові проблеми, блокади (шийна, грудна, поперекова, тазова), остеохондроз, остеопороз, хвороба Шейермана-Мау та Бехтерева.

Діагностика хребта на DIERS formetric абсолютно нешкідлива й безпечна, але має деякі технічні обмеження до застосування: діти до 3-х років, оскільки їм складно зберігати рівновагу та стояти в одній позі; люди з порушенням рівноваги; крайній ступінь ожиріння; неоднорідний відтінок шкіри, різкі сліди від одягу при засмазі; наявність великих шрамів, татуювань, щільного волосяного покриву, бинтів, тейпів і т. ін. на спині, що створюють перешкоди для оптичного дослідження.

До основних систем технології вимірювання DIERS formetric відносять DIERS formetric 4D (10 та 60 кадрів); DIERS 4D motion Lab; DIERS pedoscan; DIERS pedogait; DIERS SIM-platform; DIERS leg axis; DIERS cervical spine; DIERS digiscan; DIERS myoline professional. Терапевтичні рекомендації – DIERS body balance, DIERS posture balance, DIERS foot balance, DIERS pedofeedback.

Система DIERS formetric 4D (10 кадрів) – найбільш відома система оптичного аналізу, технологічний прорив у 3D/4D світло-оптичному (динамічному не променевому) аналізі хребта й постави (рис. 1).

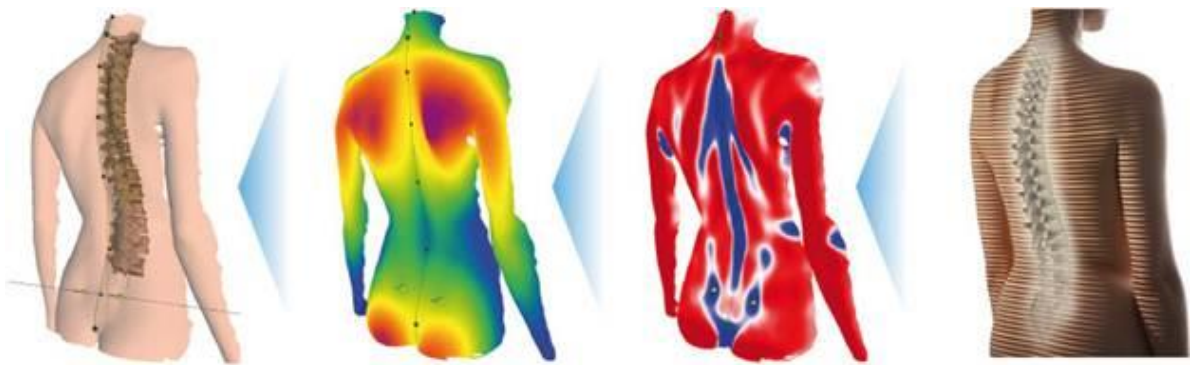


Рис. 1. Світло-оптичний аналіз хребтового стовпа

На відміну від рентгенівських променів, система надає вичерпну інформацію щодо хребта, постави та положення таза. Параметри викривлення поверхні спини дають змогу виявити м'язовий дисбаланс. Завдяки розширеним можливостям діагностики й додаткових опцій можливий комплексний аналіз стоп у спокої та під час ходьби. ПЗ DIERS значно розширене, створено нові програми (контрольні виміри впливу коригувальних устілок при компенсації різниці довжини ніг, залучено нові цільові групи – остеопати тощо).

У цій системі використовують технологію 4D, що дає змогу проводити точний функціональний аналіз хребта, плеча, таза тощо без рентгенівського опромінення. Вона уможливує швидке обстеження постави й хребта людини в статичному режимі. Вимір відбувається неінвазивно та без рентгенівського опромінення (рис. 2). У результаті фахівець отримує велику кількість параметрів для об'єктивного аналізу статичного тіла, постави, сколіозу й усіх форм деформацій хребта, а система будує 3D-модель хребта людини.



Рис. 2. Загальні види системи DIERS formetric 4D (10 кадрів)

Комплектація системи DIERS formetric 4D (10 кадрів) – оптична система – проектор смуг і відеокамера (60 fps); маркери з відблиском для ручного визначення анатомічних орієнтирів; спеціальний екран (чорний оксамит) стоїть на відстані 1 м перед людиною для отримання більш контрастного зображення досліджуваної поверхні тіла; підйомна колона з оптичною системою та вбудованим двигуном для швидкої й зручної зміни висоти; персональний комп'ютер (ПК) із TFT монітором; ПЗ DICAM; необхідна площа – 3 x 1,5 м.

Переваги цього методу діагностики – 100 % безпека; сканування без опромінення та контакту з тілом; відсутні протипокази до застосування; 4D-діагностика хребта доступна онкологічним хворим, особам з імплантами та кардіостимулятором, людям із боязливостю замкнутого простору, вагітним жінкам; людям будь-якого віку; точний результат і висока інформативність; створюється точна 3D-модель хребта; відповідність отриманих результатів у ході аналізу – 96 %; швидке (10–15 с) і просте дослідження та застосування системи; не вимагає від людини спеціальної підготовки до дослідження.

Показання для проходження діагностики постави – скарги на біль у спині, зміни зовнішнього вигляду, порушення ходьби, травми хребта, таза й кінцівок, зниження рухових можливостей та переносимості навантажень, хвороби кісткового скелета й м'язів, контроль ефективності реабілітації.

Основні особливості системи такі: за її допомогою здійснюється швидка та точна діагностика хвороб хребта й порушення постави. Автоматичне виявлення анатомічних орієнтирів у більшості випадків не потребує використання маркерів. Вона діє за принципом відеорастростереографії. На спину людини проєктуються лінії, що складають сітку. Отримана картина дає можливість сформувавши модель 3D-реконструкції поверхні спини та хребта. Зменшення впливу природних коливань тіла людини на результат дослідження для найточніших результатів обстеження.

Фахівці виділяють такі її переваги: можливість отримання вичерпної інформації про статичну поставу й тіла людини за одне дослідження; швидка діагностика хребта; 3D-реконструкція хребтового стовпа здійснюється без застосування маркерів, що відбивають світло як орієнтир; діагностику грижі міжхребцевих дисків (МХД) проводять безконтактним методом; висока відтворюваність вимірів поряд із їх точністю забезпечується інноваційною 4D-технологією (час + 3D); система автоматично визначає анатомічні маркери, гарантуючи надійність отриманих результатів; комп'ютерна діагностика хребта не має протипоказань.

Система виявляє сколіотичну поставу, статичний сколіоз, м'язову недостатність; остеопороз; лордоз, кіфоз; артроз; щелепно-лицьові порушення; відхилення постави в площинах, різну довжину ніг, нахил/розворот/перекіс таза, больові синдроми постави (крижово-клубового зчленування, грудного та поперекового відділів хребта) й ін. Полегшує діагностику поперекового відділу хребта (ПВХ) і частин хребта, функціональну діагностику, діагностику постави при використанні ортопедичних устілок.

Проведення процедури 4D-діагностики. Людина роздягається по пояс, повністю звільняє зону хребта (від шийного відділу до куприка) для огляду камерою та встає на спеціальну 3D-моделюючу платформу. Дослідження проводиться в повній темряві.

Прожектор створює на поверхні спини спеціальну розмітку, а камера фіксує дані зі швидкістю 50 кадрів за секунду. Отримані дані оперативно обробляються процесором комп'ютера. ПЗ у реальному часі формує 3D-модель хребта, на моніторі фахівця з'являються детальні графіки для аналізу його будови, кожен хребець можна розглянути детально у всіх ракурсах.

З'являється карта поверхні тіла з відображенням максимального й мінімального рельєфу та визначається кут сколіозу. Співвідноситься розподіл тиску між стопами. За даними обстеження ставиться точний діагноз.

Після закінчення дослідження людина отримує результати обстеження у вигляді яскравих і зрозумілих зображень разом із висновком фахівця та рекомендаціями з коригування виявлених порушень. Деякі зображення дії системи наведено на рис. 3.

Система DIERS formetric 4D (60 кадрів) дає змогу швидко обстежувати поставу й хребет людини в статичному режимі. Порівняно із системою DIERS formetric 4D (10 кадрів), ця система (завдяки високопродуктивній камері) проводить більш точне дослідження.

DIERS formetric 3D/4D здійснює швидко та безболісну діагностику хребта без впливу шкідливих лазерних променів. Обстеження проводять безконтактним способом 2-х видів: під час руху й у стані спокою. За допомогою такої методики можна з легкістю виявити багато хвороб ОРА, у тому числі й сколіоз. Її перевага полягає в роботі без додаткових маркерів, а діагностика проводиться автоматично, система визначає точки виміру хребтового стовпа. Після обстеження отримується 3D- або 4D-модель хребта та таза людини. Склад системи подібний до системи DIERS formetric 4D (10 кадрів). Приклад дії системи наведено на рис. 4 – перекіс таза: до та після відновлення (устілки).

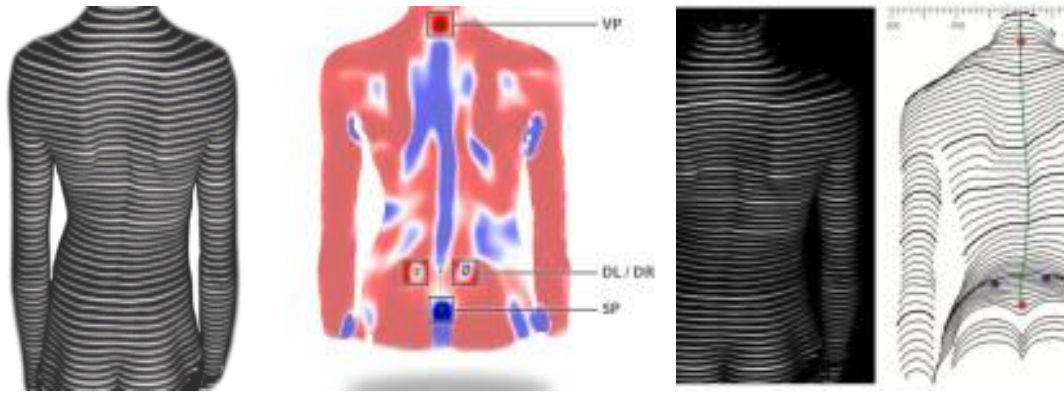


Рис. 3. Деякі зображення дії системи DIERS formetric 4D (10 кадрів)

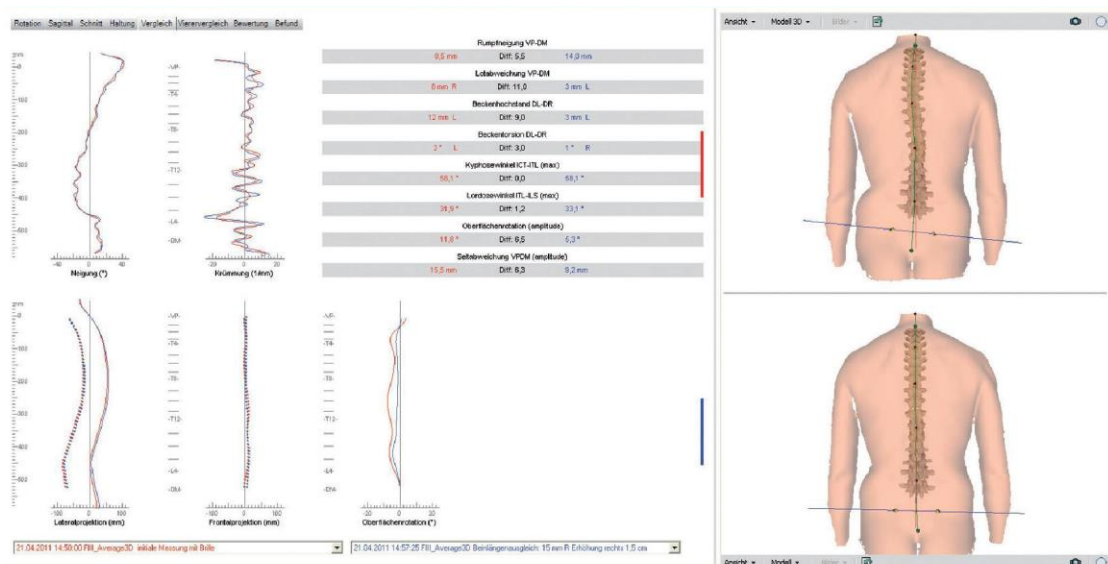


Рис. 4. Приклад виводу інформації на монітор дії системи

Система DIERS 4D motion Lab (аналіз ходи, відеозапис, 60 кадрів) – комплексна, для аналітичної діагностики динаміки ОРА, має високу точність результатів, компактна, із мінімальним енергоспоживанням. Вона створена на основі декількох розробок DIERS (рис. 5): 4D motion – аналіз динаміки хребта; pedogait – бігова доріжка, що розпізнає розподіл тиску на стопі; leg axis – відеоаналізатор ходи.

Корекція вальгусної деформації великого пальця стопи тепер потрібна не лише людям похилого віку. Ця проблема актуальна для юних дівчат і спортсменів, а плоскостопість, сколіоз та кіфоз діагностують майже у 85 % дітей віком від 14 років. Оптична DIERS-діагностика – це інноваційна технологія, яка точно визначає анатомічні зміни в хребті, над'яtkово-гомільковому та кульшовому суглобах, дає змогу підібрати оптимальний спосіб коригування деформації стоп і постави.

За допомогою системи можна отримати миттєві результати відповідних вимірювань, деталізований цифровий і відеоаналіз, об'ємну реконструкцію ОРА, динамічну ротацію хребців та таза, аналіз усіх фаз ходьби людини. DIERS-діагностика ґрунтується на використанні інноваційного ПЗ й оптичних систем, уможлиблюючи її проведення з будь-якою частотою для обстеження вагітних і дітей. Комплексна аналітика рухів та ротації ОРА сприяє підбору індивідуальних схем тренувань та відновлення, що актуально для безопераційної корекції деформації викривлень хребта й великого пальця стопи.

Система має два складники: DIERS 4D motion забезпечує динамічний вимір усього хребта, окремих хребців і таза; DIERS pedogait – бігова доріжка з інтегрованою платформою для діагностики стоп та ходьби людини. Комплектація аналогічна системі DIERS formetric 4D (10 кадрів) із додаванням бігової доріжки з датчиками тиску – Pedogait; необхідна площа – 4 x 2 м.



Рис. 5. Загальний вид системи DIERS 4D motion Lab

Покази до застосування системи DIERS 4D motion Lab – статичний сколіоз, сколіотична постава, відхилення постави в будь-якій площині, різна довжина ніг, нахил/розворот/перекіс таза, саме перекіс таза, больові синдроми постави (крижово-клубового зчленування, грудного відділу, ПВХ); щелепно-лицьові порушення, кіфози/лордози, функціональна діагностика, діагностика постави при використанні ортопедичних устілок.

Особливості системи – автоматичне виявлення анатомічних орієнтирів у більшості випадків без використання маркерів; 3D-реконструкція поверхні спини й хребта без рентгенівського опромінення; зменшення впливу природних коливань тіла людини на результат дослідження для найточніших результатів обстеження; 4D-технологія – запис і відтворення відео дає змогу проводити аналіз хребта й постави під час руху, тести Матіаса та Ромберга й т. ін.

Система DIERS pedoscan (платформа) забезпечує статичне та динамічне вимірювання тиску стоп людини, а також аналіз її кроку. Можливість швидкої й точної фіксації даних розподілу тиску стоп у часі дає змогу проводити аналіз у статиці та динаміці (рис. 6).



Рис. 6. Загальні види системи DIERS pedoscan

Клінічні дані, що стосуються якісного й кількісного аналізу розподілу тиску стоп, піків тиску та асиметрій рухів, фіксуються платформою для подальшого виявлення вади розвитку стопи або функціональних обмежень нижніх кінцівок людини. Точна високочастотна технологія виміру дає змогу фахівцям об'єктивно документувати навіть мінімальні та швидкі рухи загального центра мас (ЗЦМ) тіла й зміни навантаження стоп. Дані записуються з частотою 100–300 Гц, надаючи додаткову інформацію з неврологічних проблем і розширюючи діапазон застосування DIERS pedoscan (доступні

платформи довжиною 0,5/1,0/2,0/4,0 м шириною 48 см). Склад системи – платформа, ПЗ, інструкція користувача.

Система для світло-оптичного методу сканування має низку переваг і дає змогу за короткий час отримати точний результат дослідження, що документується, сприяє проведенню обстежень у необмеженій кількості й отримувати об'єктивні результати для усунення аномального положення стоп; лікування діабетичної стопи; індивідуального підбору спеціальних устілок; усунення дисбалансу та корекції ходи; оцінки характеристик і симетричності міжсегментних співвідношень; досліджень в ортопедії й протезуванні.

Режими обстеження – статичне; динамічне під час ходьби, уключаючи аналіз вектора сили й прискорення; баланс і тести на координацію людини. Приклад дії системи DIERS pedoscan – динамічне обстеження в процесі ходьби (рис. 7).

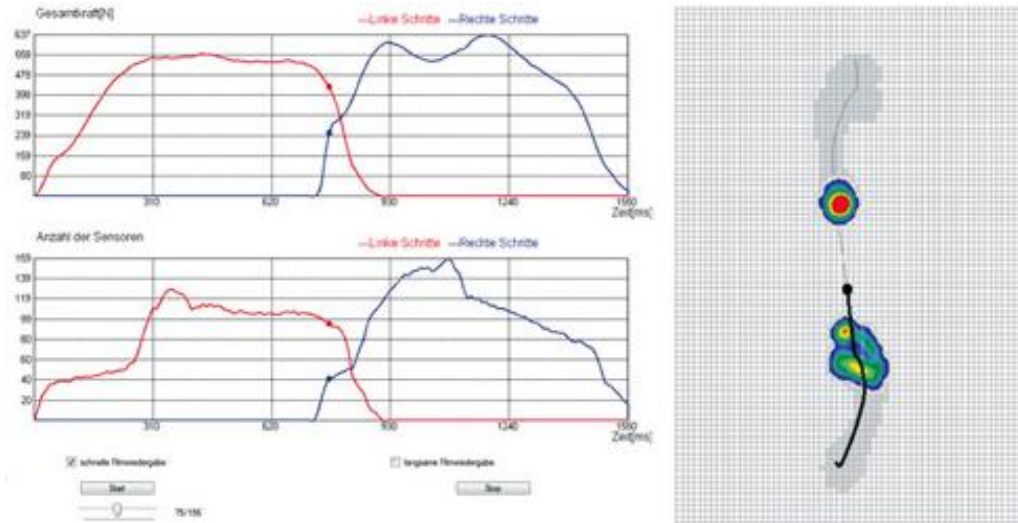


Рис. 7. Дія системи DIERS pedoscan – динамічне обстеження під час ходьби

DIERS pedogait – інтегрована вимірювальна платформа довжиною 1м для точного документування значень тиску, забезпечує статичний і динамічний аналіз розподілу тиску стоп, фіксує функціональний розподіл тиску стоп людини під час ходьби. Частота вимірів становить 100 Гц, що дає змогу нівелювати різні похибки й артефакти (рис. 8).



Рис. 8. Інтегрована вимірювальна платформа DIERS pedogait

Основні особливості такі: вона дає змогу виміряти розподіл тиску по стопі в статиці та динаміці, її можна використовувати в системі DIERS 4D Motion Lab. Платформа являє собою бігову доріжку, у яку інтегровано понад 5 тис. високочутливих датчиків, що діють на частоті 120 Гц. Вони забезпечують високу

точність вимірювань і гарантують надійність отриманих результатів. Аналіз тиску стоп займає невелику кількість часу.

Оброблені результати виводяться на монітор ПК. Платформа оперативно виконує аналіз стоп, її можна без обмежень застосовувати з такою метою:

- для діагностики дисбалансу й різних порушень ходи;
- під час дослідження для подальшого протезування або виготовлення ортопедичного взуття;
- для корекції викривлення стоп або їх хибного положення; підбору індивідуальних устілок;
- виконання постурального аналізу; лікування діабетичної стопи як видів результатів аналізу стоп на платформі DIERS pedogait (рис. 9).

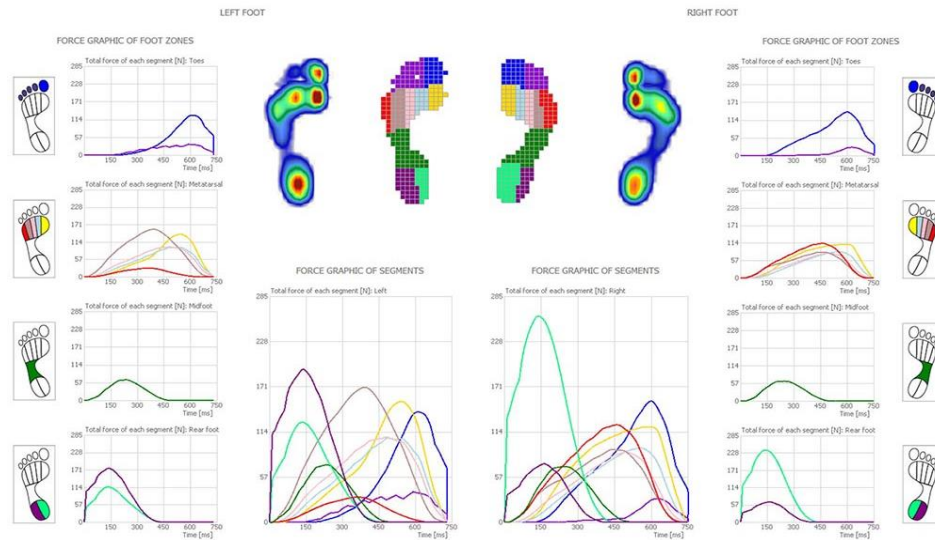


Рис. 9. Види результатів аналізу стоп на платформі DIERS pedogait

Режими обстеження – статичний, баланс і тести на координацію, динамічний під час ходьби, з аналізом вектора сили й прискорення; аналіз ходи. Технічні дані – розмір вимірювальної платформи – 1 x 0,48 м; габарити бігової доріжки (см) – Д x Ш x В: 211 x 76 x 111; швидкість – до 10 км/год.

DIERS SIM-platform призначена для оцінки різниці довжини ніг. Вплив лікування (відновлення) на хребет, таз і поставу можуть бути змодельовані за допомогою цієї платформи. Під час обстеження людина стоїть на двох незалежних один від одного майданчиках, які можна регулювати в трьох площинах (рис. 10). Крок корекції визначається з точністю до 1 мм. Однією з найпоширеніших ортопедичних проблем, що виявляються ще в підлітковому віці, є різниця довжини нижніх кінцівок. Ще кілька років тому для визначення цього параметра ортопеди використовували сантиметрову стрічку. Але отриманий результат не був 100 %. Більш точні результати можна отримати після МРТ-обстеження. Із появою DIERS SIM-platform фахівці за кілька хвилин можуть визначити різницю довжини нижніх кінцівок людини.

Особливості платформи, що використовується для проведення візуальної діагностики. Під час обстеження кожна нога людини стоїть на автономній частині платформи, яка піднімається або опускається за допомогою комп'ютерного управління (синхронізація виконується ПЗ Diers Formetric). Крок підйому частин платформи (1 мм) регулюється в 3-х площинах. Пристрій проводить аналіз різниці довжини ніг; визначення впливу різного рівня положення стоп на стан хребта й ОРА людини; діагностику патологій ступні.



Рис. 10. Загальні види DIERS SIM-platform

Максимально точний аналіз довжини ніг людини дає змогу підібрати оптимальний варіант лікування певної хвороби. Клінічне застосування – моделювання компенсації перекосу або розвороту таза, моделювання положення стоп під час призначення ортопедичних устілок, моделювання при компенсації різниці довжини ніг. Спільно з Diers Formetric вона дає змогу побачити вплив різних компенсацій положення стоп на хребет і поставу.

DIERS leg axis – додаткові модулі (задня та бічна камери) для забезпечення компоновки нових систем DIERS (рис. 11). Додатковим модулем DIERS leg axis (задня камера) для DIERS 4D motion забезпечується аналіз геометричних осей ніг на додаток до аналізу хребта й постурального аналізу. Це дає змогу фахівцю аналізувати вплив різних корекцій на вісі нижніх кінцівок. Додатковий модуль DIERS Leg axis (бічна камера) для аналізу геометрії осей ніг у бічній проекції доповнює систему аналізу рухів DIERS 4D motion Lab.

DIERS formetric + DIERS leg axis (модуль осей ніг). Застосовують додатковий модуль осей ніг для документації двовірної геометрії осей ніг – вид іззаду (PA) як доповнення до аналізу хребта й постави. Це дає змогу безпосередньо включити вплив корекції неправильного положення стоп на вісі ніг. Для модуля осей ніг (leg axis) системі DIERS formetric 4D потрібна додаткова система камер.



Рис. 11. Загальні види додаткових модулів *DIERS leg axis*

DIERS leg axis входить до складу додаткових модулів для системи DIERS 4D motion Lab, що здійснює відеоаналіз ходи й стану хребта. Він оснащений задньою та бічною камерами для більш повного й наочного аналізу ніг, проведеного до та після корекції положення стоп. Ці модулі для геометричного аналізу ніг мають високу якість виконання, надійність в експлуатації, згідно з вимогами з безпеки. Реєстрація геометрії осей ніг проводиться з кадровою частотою 60 fps. Управління відбувається за допомогою ПЗ Diers Formetric.

Геометричний аналіз ніг здійснюють за допомогою інноваційних оптичних технологій. Це дає змогу визначити положення й стан нижніх кінцівок у доповненні до хребта. Діагностика ніг модулями DIERS leg axis – хода, особливості стоп і постава – впливають на стан хребта людини та його здоров'я. При плоскостопості, деформації пальців, клишоногості формується хибна хода з помітним порушенням постави. Перед коригуванням постави здійснюють ретельний аналіз ніг. Модуль DIERS leg axis дає змогу виконати 2D-реєстрацію геометрії осей ніг, має бічну й задню камери для максимально точної діагностики ніг. Аналіз ніг проводять до корекції положення стоп і після неї.

Відеоаналіз ходи дає змогу уникнути подальшої деформації, знизити навантаження, виправити стан стоп на вісі ніг; поліпшити поставу; забезпечити стан суглобів і хребта; виробити індивідуальну систему вправ; підібрати правильне ортопедичне обладнання, спеціальне взуття; досягти красивої ходи людини. Модуль DIERS leg axis особливо актуальний при захворюваннях хребтового стовпа, для боротьби із сутулістю, а також при ортопедичних захворюваннях (артрити, наслідки травм та операцій).

Модуль *DIERS cervical spine* застосовується для аналізу рухливості шийного відділу хребта, аналізує його рухливість у 3-х площинах. Використовуючи цей модуль, рухливість шийного відділу хребта (діапазон руху) записується в 3D-масштабі. Аналізують напрями руху: згинання, розгинання, бічного згинання лівого та правого, обертання ліворуч і праворуч. Дані вимірювань та їх асиметричність представляються графічно. Рух голови фіксується спеціальною камерою, яка стежить за шоломом, одягненим на голову людини (рис. 12). Наведені вище модулі використовуються спільно з комплексом DIERS

formetric. Точний аналіз рухливості шийного відділу хребта здійснюється за допомогою спеціальної камери (частота 60 fps) і шолома, на який нанесено спеціальні світловідбивальні мітки.

Отримані дані, що проаналізовані за допомогою ПК, виводяться на екран у наочній формі й дають можливість судити про дійсний стан шийного відділу та з упевненістю виявляти й діагностувати наявні порушення або зміни.



Рис. 12. Загальні види модуля *DIERS cervical spine*

Виділяють такі переваги використання пристрою в діагностиці: мінімальний час обстеження (на відміну від інших методів); можливість проведення численних вимірювань; повна безпека для здоров'я людини через відсутність іонізуючого випромінювання та інвазивного втручання; висока економічна ефективність; малі габарити; об'єктивні результати аналізу шиї; наочні документовані дані. Клінічні застосування – асиметрії руху, обмеження руху внаслідок м'язової напруженості, блокади хребта.

Система DIERS digiscan являє собою вбудований подоскоп і систему сканування стоп. Вона розрахована на обстеження стоп у статиці за допомогою системи дзеркал для контролю процесу лікування (відновлення), наприклад пропріоцептивними устілками, для швидкої реєстрації за допомогою сканера і для зв'язку з програмою DIERS DICAM з опцією електронної передачі даних. Вона забезпечує рішення «2 в 1», компактні розміри, швидку процедуру обстеження (рис. 13).

Застосування системи – обстеження стоп у статиці в положенні стоячи, асиметрії в навантаженні стоп, неправильне положення стоп і їх корекція, лікування пропріоцептивними й звичайними ортопедичними устілками.

Подоскопія вивчає ноги та комплексний догляд за кістками, м'язами, суглобами, шкірою й нігтями здорових і хворих ніг. *Подологія* зосереджена безпосередньо на ногах, статично й динамічно досліджує їх та обробляє ортопедичними вставками й медичним взуттям, займається профілактикою та лікуванням болючих станів і функціональних розладів стоп відносно ОРА в цілому. Подологічне консультування має завдання вирішення труднощів та болю стопи й ніг. Вивчення ніг є необхідною умовою для точної оцінки не лише рухових труднощів, пов'язаних із ходьбою, але й при болях у спині (ПВХ, шийний відділ хребта).



Рис. 13. Загальні види системи *DIERS digiscan*

Висновки й перспективи подальших розвідок. Важливим засобом у відновленні є застосування систем класу DIERS для аналізу стану хребта та нижніх кінцівок у реабілітаційних технологіях.

Представлений аналіз особливостей конструкції, функціонування й характеристик систем класу DIERS дає підставу зробити висновок про те, що їх використання підвищить ефективність аналізу стану хребта та нижніх кінцівок.

Перспективи подальших досліджень – проведення реабілітаційних заходів із використанням систем класу DIERS для підвищення ефективності реабілітаційних технологій.

Джерела та література

1. Попадюха Ю. А. Сучасні комп'ютеризовані комплекси та системи у технологіях фізичної реабілітації : навч. посіб. / Ю. А. Попадюха. – Київ : Центр учб. літ., 2017. – 300 с.
2. Попадюха Ю. А. Сучасні роботизовані комплекси, системи та пристрої у реабілітаційних технологіях : навч. посіб. / Ю. А. Попадюха. – Київ : Центр учб. літ., 2017. – 324 с.
3. Попадюха Ю. А. Сучасні комплекси, системи та пристрої у реабілітаційних технологіях : навч. посіб. / Ю. А. Попадюха. – Київ : Центр учб. літ., 2018. – 656 с.
4. DIERS pedofeedback [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://diers.eu/en/products/therapy-proposals/diers-pedofeedback/>. (дата звернення: 28.01.2018).
5. DIERS – исследование ОДА [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://vniifk.ru/Diers.php>. (дата звернення: 28.01.2018).
6. Анализ опорно-двигательного аппарата – DIERS 4D MOTION [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://euromed.academy/vidy-terapii/diagnosti-ka-diers>. (дата звернення: 29.01.2018).
7. DIERS 4D posture Lab [Elektronik resourse]. – Mode of access : <http://diers.eu/es/productos/sistemas-combinados/diers-4d-posture-lab/>. (дата звернення: 29.01.2018).
8. DIERS pedogait [Elektronik resourse]. – Mode of access : <http://diers.eu/es/productos/analisis-del-pies/diers-pedogait/>. (дата звернення: 29.01.2018).
9. 3D-Simulation Platform [Elektronik resourse]. – Mode of access : <http://diers.eu/es/productos/analisis-de-la-columna-vertebral/componentes-adicionales/3d-simulation-platform/>. (дата звернення: 30.01.2018).

10. DIERS digiscan [Elektronik resourse]. – Mode of access : <http://diers.eu/ru/продукция/анализ-ног/diers-digiscan/>. (дата звернення: 30.01.2018).
11. Системи DIERS [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.diersmedical.com/Template.aspx?page=24>. (дата звернення: 01.02.2018).
12. DIERS formetric 4D (10 кадров) [Elektronik resourse]. – Mode of access : <http://med-progress.ru/produksiya/osnovnie-komplekti/diers-formetric-4d/>. (дата звернення: 01.02.2018).
13. DIERS 4D motion Lab [Elektronik resourse]. – Mode of access : <http://med-progress.ru/produksiya/osnovnie-komplekti/diers-4d-motion-lab/>. (дата звернення: 01.02.2018).

Referens

1. Popadiukha, Y. (2017). *Suchasni kompyuterizovani komplekxy ta systemy u tekhnolohiyakh fizychnoi reabilitatsii: Navchalnyi posibnyk* [Modern computerized complexes and systems in the technologies of physical rehabilitation: Manual]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury. (in Ukrainian).
2. Popadiukha, Y. (2017). *Suchasni robotyzovani komplekxy, systemy ta prystroi u reabilitatsiynykh tekhnolohiyakh: Navchalnyi posibnyk* [Modern robotic complexes, systems and devices in rehabilitation technologies: Manual]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury. (in Ukrainian).
3. Popadiukha, Y. (2018). *Suchasni komplekxy, systemy ta prystroi u reabilitatsiynykh tekhnolohiyakh: Navchalnyi posibnyk* [Modern complexes, systems and devices in rehabilitation technologies: Manual]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury. (in Ukrainian).
4. *DIERS pedofeedback* (2018). Retrieved from: <http://diers.eu/en/products/therapy-proposals/diers-pedofeedback/>
5. *DIERS – issledovanie ODA* [DIERS – studying of locomotor apparatus] (2018). Retrieved from: <http://vniifk.ru/Diers.php> (in Russian).
6. *Analiz oporno-dvigatel'nogo apparata – DIERS 4D MOTION* [Analysis of the musculoskeletal system – DIERS 4D MOTION] (2018). Retrieved from: <http://euromed.academy/vidy-terapii/diagnosti-ka-diers>
7. *DIERS 4D posture Lab* (2018). Retrieved from: <http://diers.eu/es/productos/sistemas-combinados/diers-4d-posture-lab/>
8. *DIERS pedogait* (2018). Retrieved from: <http://diers.eu/es/productos/analisis-del-pies/diers-pedogait/>
9. *3D-Simulation Platform* (2018). Retrieved from: <http://diers.eu/es/productos/analisis-de-la-columna-vertebral/componentes-adicionales/3d-simulation-platform/>
10. *DIERS digiscan* (2018). Retrieved from: <http://diers.eu/ru/продукция/анализ-ног/diers-digiscan/>
11. *Systemy DIERS* [DIERS systems] (2018). Retrieved from: <http://www.diersmedical.com/Template.aspx?page=24>
12. *DIERS formetric 4D (10 kadrov)* [DIERS formetric 4D (10 frames)] (2018). Retrieved from: <http://med-progress.ru/produksiya/osnovnie-komplekti/diers-formetric-4d/> (in Russian).
13. *DIERS 4D motion Lab* (2018). Retrieved from: <http://med-progress.ru/produksiya/osnovnie-komplekti/diers-4d-motion-lab/>

Анотації

Мета дослідження – проведення аналізу особливостей функціональних і конструктивних характеристик, застосування сучасних систем класу DIERS для аналізу стану хребта та нижніх кінцівок людини в реабілітаційних технологіях. Основним із напрямів досліджень є функціональний аналіз опорно-рухового апарату (ОРА). Увага в дослідженнях і розвитку приділяється світло-оптичному 3D/4D-аналізу хребтового стовпа й постави, аналізу тиску стоп і ходи та не менш важливому аспекту вимірювання м'язової сили – лінії DIERS FAMUS (аналіз функціональності системи мускулатури). Система для аналізу хребта працює без рентгенівського випромінювання для зменшення високого променевого навантаження на людину під час відновлення (лікування). Ця технологія дає змогу проводити непроменеву топографію поверхні тіла людини й 3D-реконструкцію її хребта.

Система відображає велику кількість клінічних параметрів об'єктивного та кількісного аналізу тіла й постави, у тому числі сколіозу та всіх форм викривлення хребта. Технологія Formetric аналізує форму спини без необхідності розміщення маркерів. Анатомічні орієнтири (VP, SP, DL, DR), а також геометрична вісь спини й спинне обертання автоматично виявляються системою. Із новим поколінням систем DIERS 4D motion досягнуто новий рівень у ділянці аналізу хребтового стовпа – уперше можливо виміряти хребет і поставу під час руху людини. Ця технологія виміру заснована на фізичному принципі триангуляції, тому система має оптичний проектор, що проектує сітку ліній на спину людини, а результат реєструється відеокамерою. Програмне забезпечення (ПЗ) аналізує викривлення ліній і моделює 3D-поверхню спини за допомогою методу фотограметрії. На відміну від інших систем, DIERS formetric разом із поверхнею спини виробляє 3D-реконструкцію хребта без нанесення спеціальних маркерів. Автоматичне виявлення анатомічних орієнтирів і використання наукового методу моделі кореляції, що описує відношення між поверхневим викривленням й орієнтацією кожного хребця, уможливають відновлення кривої хребта та вимірювання параметрів положення таза.

Ключові слова: реабілітація, захворювання, моніторинг, хребет, нижні кінцівки, світло-оптичний аналіз, зворотний зв'язок.

Юрий Попадюха. Особенности применения систем класса DIERS для анализа состояния позвоночника и нижних конечностей в реабилитационных технологиях. Цель исследования – проведение анализа особенностей функциональных и конструктивных характеристик, применение современных систем класса DIERS для анализа состояния позвоночника и нижних конечностей человека в реабилитационных технологиях. Основным из направлений исследований является функциональный анализ опорно-двигательного аппарата (ОДА). Внимание в исследованиях и развитии уделяется светло-оптическому 3d/4d-анализу позвоночного столба и осанки, анализу давления стоп и ходы и не менее важному аспекту измерения мускульной силы – линия DIERS FAMUS (анализ функциональности системы мускулатуры). Система для анализа позвоночника работает без рентгеновского излучения для уменьшения высокой лучевой нагрузки на человека во время возобновления (лечения). Эта технология позволяет проводить нелучевую топографию поверхности тела человека и 3d-реконструкцию ее позвоночника. Система отображает большое количество клинических параметров объективного и количественного анализа тела и осанки, в том числе сколиоза и всех форм искривления позвоночника. Технология Formetric анализирует форму спины без необходимости размещения маркеров. Анатомические ориентиры (VP, SP, DL, DR), а также геометрическая ось спины и спинное вращение автоматически оказываются системой. С новым поколением систем DIERS 4d motion достигнуто нового уровня в области анализа позвоночного столба: впервые возможно измерять позвоночник и осанку во время движения человека. Эта технология измерения основана на физическом принципе триангуляции, потому система имеет оптический проектор, который проектирует сетку линий на спину человека, а результат регистрируется видеокамерой. Программное обеспечение (ПО) анализирует искривление линий и моделирует 3d-поверхность спины с помощью метода фотограмметрии. В отличие от других систем, DIERS formtric вместе с поверхностью спины производит 3d-реконструкцию позвоночника без нанесения специальных маркеров. Автоматическое выявление анатомических ориентиров и использование научного метода модели корреляции, которая описывает отношение между поверхностным искривлением и ориентацией каждого позвонка, помогает возобновить кривую позвоночника и измерять параметры положения таза.

Ключевые слова: реабилитация, заболевание, мониторинг, позвоночник, нижние конечности, светло-оптический анализ, обратная связь.

Yuriy Popadiukha. Peculiarities of the Use of the DIERS Class Systems for the Analysis of the Condition of Spine and Lower Extremities in Rehabilitation Technologies. The objective of the study is to analyze the characteristics of the functional and structural characteristics, the use of the modern DIERS class systems, for the analysis of the state of the spine and lower limbs in rehabilitation technologies. The main area of the research is the functional analysis of the musculoskeletal system (MSS). Attention in the research and development is given to light optical 3d/4d analysis of the spinal column and posture, pressure analysis of feet and walk, and the DIERS FAMUS line (analysis of the functionality of the muscular system). The system for the spine analysis works without X-rays for reduction of the high radiation load on a person during the resumption (treatment). This technology allows conducting the non-rayed topography of the human body and 3d-reconstruction of the spine. The system displays a large number of clinical parameters of objective and quantitative analysis of the body and posture, including scoliosis and all forms of spinal curvature. The Formetric technology analyzes the shape of the back without the necessity to place the markers. Anatomical landmarks (VP, SP, DL, DR), as well as the geometric axis of the back and spinal rotation automatically turn out to be a system. With the new generation of the DIERS 4d motion systems, a new level has been achieved in the field of spinal column analysis – for the first time it is possible to measure the spine and posture during movement of a person. This measurement technology is based on the physical principle of triangulation, because the system has an optical projector that projects a grid of lines on a person's back, and the result is recorded by a video camera. Software (SW) analyzes the curvature of lines and simulates the 3d-surface of the back using photogrammetry. Unlike other systems, DIERS formtric, together with the back surface, produces a 3d-reconstruction of the spine without special markers. Automatic detection of the anatomical landmarks and using the scientific method of the correlation model which describes the relationship between the surface curvature and orientation of each vertebra, therefore, you can resume the spinal curve and measure the parameters of the pelvis.

Key words: rehabilitation, disease, monitoring, spine, lower limbs, light optical analysis, feedback.