

ОГЛЯДИ ТА ВЛАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 616-08-039.76:616-073:53.082.9

DOI 10.11603/2415-8798.2019.2.9971

©В. П. Марценюк¹, І. В. Качур², А. С. Сверстюк³, В. І. Бондарчук³, Ю. В. Завіднюк³,
В. Б. Коваль³, О. М. Мочульська³Університет в Бельсько-Бялій, Республіка Польща¹
Інститут проблем штучного інтелекту МОН і НАН України²
Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського³МОНІТОРИНГ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ЗА ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕНСОРІВ
У РЕАБІЛІТАЦІЙНІЙ МЕДИЦИНІ: СИСТЕМАТИЧНИЙ ОГЛЯД

Резюме. На сьогодні значно зростає потреба людей у швидких та ефективних реабілітаційних процесах. Людям з обмеженими функціональними можливостями необхідні сенсорні пристрої, які застосовують для реабілітації з метою покращення здоров'я людини та її повернення до належного рівня життя. Сенсорні пристрої використовують для системи моніторингу здоров'я людей, які поділяють на портативні та переносні. Адаптаційного лікування потребують пацієнти різної вікової категорії із серцево-легеневою патологією, неврологічними розладами, ортопедичними порушеннями тощо. У статті висвітлено електромеханічні, електричні, оптичні та теплові сенсори, перетворювачі акустичних сигналів або сенсори, чутливі до маси, сенсорні датчики та їх застосування на різних етапах реабілітації.

Мета дослідження – проаналізувати сучасну вітчизняну та зарубіжну літератури щодо видів сенсорів у реабілітаційній медицині.

Матеріали і методи. У дослідженні застосовано бібліосистематичний та аналітичний методи в наступних електронних базах даних: *Science Direct*, PubMed, Scopus і Google Scholar. Під час пошуку статті проаналізовано анотації. Критеріями включення були такі: 1 – фізична та медична реабілітація і/або допоміжна система, яка підтримується сенсорами і комп'ютером, 2 – системи, розроблені для організму людини, і 3 – документи, написані англійською мовою. Якщо очікуваний критерій було знайдено, повний текст переглядали.

Результати досліджень та їх обговорення. Під час виконання дослідження провели систематичний огляд та аналіз останніх публікацій, в основному зарубіжної наукової медичної, біологічної та технічної літератури щодо видів, принципів роботи, розробки та можливостей застосування сенсорів у реабілітаційній медицині. Сенсорні технології продовжують всебічно розвиватися і пропонують зручні можливості у використанні для поліпшення функціонального стану здоров'я. Широкий спектр досліджень, включених і відображених у цьому огляді, включав різні типи сенсорів. На сьогодні пристрої, що використовують для моніторингу фізичної активності, розділяють на сенсори, які вимірюють такі біологічні показники, як тиск, частоту серцевих скорочень, частоту дихання – пульсометр, тонометр, спірометр, та датчики руху – педометри, акселерометри, трекери активності. Деякими з найчастіших у використанні сенсорів у реабілітації є електроміографія, гальванічна реакція шкіри, електрокардіографія, електроенцефалографія та сенсорні датчики і системи, які контролюють рухову і фізіологічну активність людини. У статті для прикладів розглянуто: 1 – типовий алгоритм роботи пристроїв для моніторингу функціонального стану здоров'я людини, 2 – діагностичний прилад ALLADIN з сенсорами, який включає дев'ять компонентів. В електронних базах даних: *Science Direct*, PubMed, Scopus і Google Scholar не знайдено жодної роботи, раніше опублікованої, де б автори узагальнювали поєднання сенсорів із апаратними засобами, робототехнічними, комп'ютерними, системами для реабілітації пацієнтів різних вікових категорій.

Висновки. При аналізі сучасної вітчизняної та зарубіжної літератури щодо видів сенсорів у реабілітаційній медицині вивчено й описано розвиток і застосування сенсорних приладів у фізичній та медичній реабілітації. В усіх публікаціях вказується, що сенсорні датчики прикріплюються до пристроїв, які дають змогу вимірювати функціональні показники стану здоров'я людини. Тому сенсорні технології у реабілітаційній медицині продовжують всебічно розвиватися і часто застосовуються для діагностики, оцінки стану здоров'я людини та її реабілітації.

Ключові слова: фізична реабілітація; медична реабілітація; сенсори; сенсорні датчики.

ВСТУП На сьогодні здоров'я населення України є не тільки проблемою соціально-економічного та медичного характеру, а й чинником, що впливає на стійкість економіки до внутрішніх та зовнішніх загроз. Тому зважаючи на погіршення загального стану здоров'я громадян держави, а також на військовий конфлікт на Сході України, який суттєво впливає на стан здоров'я та якість життя населення в країні, важливо вивчати та досліджувати реабілітаційну медицину як інструмент підвищення рівня здоров'я людини та її повернення до належного рівня життя. Адаптаційна медицина – відновна терапія, яка спрямована на відновлення частково або повністю нейрокогнітивної функції і рухових здібностей пацієнта. Людям з обмеженими функціональними можливостями потрібні пристрої, які прості в експлуатації і можуть дати правильні результати без будь-яких затримок й легко доступні для користувачів [1–4].

Медичні технології в Україні та в інших країнах світу дуже швидко прогресують, тому на даний час значно зростає потреба людей у швидких та ефективних реабілітаційних процесах після операцій, порушень сенсорних функцій, інсультів, аварій, черепно-мозкових травм, хворобі Паркінсона, психологічних розладів, спортивних травм і, нарешті, для людей похилого віку. Реабілітаційного лікування потребують пацієнти різної вікової категорії із серцево-легеневою патологією, неврологічними розладами, ортопедичними порушеннями тощо [5–8]. Повного процесу відновлення можна досягнути з щоденною частотою процедур від декількох днів до місяців, а іноді років, що повністю залежить від стану здоров'я пацієнта та його бажання до швидкого одужання (Mohammaddan and Komeda, 2010) [1]. Щоб дотримуватися цієї прогресії, користувачам необхідні знання про засоби реабілітації, які можуть допомогти у швидкому одужанню пацієнта.

Сенсор – вимірювальний пристрій у вигляді конструктивної сукупності одного або декількох вимірювальних перетворювачів величини, що вимірюється і контролюється, та котрий виробляє вихідний сигнал, зручний для дистанційного передавання, зберігання та використання у системах керування і має нормовані метрологічні характеристики. Біосенсори – молекулярні сенсори, що мають аналітично селективну межу поділу фаз, до якої прилягає, або з якою інтегрований датчик, функція якого полягає в передачі взаємодії між поверхнею і аналітом прямо або через хімічні медіатори. Біосенсори є аналітичним пристроєм, який має дві складові: перша – біорецептор, друга – перетворювач. Біосенсори перетворюють біологічну відповідь в електричний сигнал.

Датчики (у медицині та реабілітації) – спеціальні технічні пристрої, що перетворюють одні фізичні явища в інші в еквівалентних величинах. У реабілітаційній медицині найчастіше застосовують датчики, що перетворюють механічне зміщення, інтенсивність світла, температуру та інші фізичні величини в електричні сигнали. Датчики зазвичай малого розміру, невеликої ваги, дають можливість вести телеметричні спостереження і реєстрацію, дозволяють вимірювати малі й швидко змінні величини. Всі датчики за конструкцією і принципом перетворення вхідного сигналу в електричний поділяють на динамічні та статичні. Серед динамічних датчиків широко використовують п'єзоелектричні й електродинамічні. П'єзоелектричні датчики застосовують для реєстрації різних процесів, пов'язаних із переміщенням і вібрацією частин тіла (пневмографія, пульсографія, механокардіографія, сфінгографія). До динамічних датчикам відносять і термодатчик, яку використовують для вимірювання температури органів і тканин. Електродинамічні датчики застосовують для реєстрації різного роду переміщень частин тіла (балістокардіографія, динамокардіографія). Фізіологічні датчики є однією із фундаментальних частин для обробки сигналів і для автоматизованої системи реабілітації. Останнє десятиріччя відзначено інтенсивним розвитком досліджень в галузі сенсорних пристроїв.

Метою дослідження було проаналізувати сучасну вітчизняну та зарубіжну літератури щодо видів сенсорів у реабілітаційній медицині.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ У дослідженні застосовано бібліосистематичний та аналітичний методи в наступних електронних базах даних: *Science Direct*, PubMed, Scopus і Google Scholar. Під час пошуку статті проаналізовано анотації. Критеріями включення були такі: 1 – фізична та медична реабілітація і/або допоміжна система, яка підтримується сенсорами і комп'ютером, 2 – системи, розроблені для організму людини, і 3 – документи, написані англійською мовою. Якщо очікуваний критерій було знайдено, повний текст переглядали.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ Нагальною проблематикою у сучасному світі є загальне обговорення, нові винаходи та аспекти розвитку нових сенсорних систем, які використовують у реабілітаційному процесі. В. Stefania, С. Sara, Р. Ilaria, L. Barbara (2010) [6] запропонували нову систему механотронної нейрореабілітації, яка може оцінювати функціональне відновлення після інсульту за допомогою вимірювань ізометричної сили усього тіла. G. V. Prange, M. J. A. Jannink, C. G. M. Groothuis-Oudshoorn, H. J. Hermens, M. J. Ijzerman (2006) [7] та M. Karatas, N. Cetin, M. Bayramoglu, A. Dilek, (2004) [8] обґрунтовують, чому реабілітаційний процес має

фундаментальне значення для відновлення рухових навичок після перенесеного інсульту. Особливу увагу вони приділяли обстеженням функціонального стану людини після інсульту через вимірювання її ізометричної сили та електрокардіографію. Багато науковців інтенсивно вивчали різні аспекти проблеми реабілітації пацієнтів з інсультом в домашніх умовах. Також вищеперелічені автори/науковці зосереджували свою увагу на деяких обмежених сенсорах, їх застосуванні в системах фізичного відновлення і порівнювали один з одним.

A. Pantelopoulos, N. Bourbakis (2008) [9] вивчали застосування портативних та переносних сенсорів для систем моніторингу здоров'я. M. T. Katherine, A. Y. Holly, J. David, J. M. Feil-Seifer Maja (2008) [10] розглянули роботизовану допоміжну технологію в клінічних аспектах і взаємодію людина-робот для медичної та фізичної реабілітації, проте вони не чітко згадали назви сенсорів. Janis and Jonathan (2008) [11] проаналізували методи обробки сигналів й алгоритми між мозковим і комп'ютерним інтерфейсом для системи неврологічної реабілітації.

У літературі, доступній нам, не знайдено жодної раніше опублікованої роботи, де б автори узагальнювали поєднання сенсорів із апаратними засобами, робототехнічними, комп'ютерними, системами для реабілітації пацієнтів різних вікових категорій.

Оглядова робота, яку ми опрацювали, – структурована, деталізована, організована та систематична для сенсорів, підтримуваних механізованими системами реабілітації з деякими іншими допоміжними технологіями, оскільки з самого початку ця систематична перевірка намагається відповісти на питання: Чи використовують датчики за допомогою різних програмних засобів, апаратних засобів або будь-яких інших допоміжних методів для розробки автоматизованої системи у фізичній та медичній реабілітації при порушеннях функцій організму людини?

Широкий спектр досліджень, які включено і відображено у цьому огляді, включав різні типи сенсорів [9, 10, 12, 13, 19, 33]. Дослідники в основному використовували електромеханічні, електричні, оптичні та теплові сенсори, перетворювачі акустичних сигналів або сенсори, чутливі до маси, для розробки систем реабілітації. Одними з найчастіше використовуваних сенсорів, які застосовували в системах реабілітації, є електроміографія (ЕМГ), гальванічна реакція шкіри (ГРШ), електрокардіографія (ЕКГ), електроенцефалографія (ЕЕГ), одиниці виміру інерції [5, 10, 12, 14, 15]. O. Majdalawieh, J. Gu, T. Bai, G. Cheng (2003) [16] пояснили зв'язок між біомедичним сигналом та реабілітаційною інженерією з ЕМГ, ЕЕГ, Вейвлет-перетвореннями та перетвореннями Фур'є в огляді. На рисунку 1 представлено графічне зображення реєстрації сигналів ЕЕГ дитячого мозку [9].

У багатьох публікаціях [12, 14–16] автори акцентують увагу на моніторингу ЕМГ-сигналів у лікувальних закладах. Адаже ЕМГ є діагностичною процедурою для оцінки стану м'язів, нервів і нервових клітин, які їх контролюють. При виконанні цього дослідження периферичні нерви стимулюються короткотривалими електричними імпульсами. Методика неінвазивна, так як використовують електроди, що містяться на шкірі. Голкувату ЕМГ частіше застосовують при підозрі на наявність захворювань мотонейронів (спінальної аміотрофії, бічного аміотрофічного склерозу тощо) та власне м'язів (міопатії, запальні захворювання тощо). При цьому в м'яз вводять тонкий голчастий елек-



Рис. 1. Реєстрація сигналів електроенцефалографії дитячого мозку [9].

трод, який і реєструє активність м'язів у спокої і при скороченні. Електроміографія дає можливість підтвердити клінічний діагноз, проводити моніторинг перебігу та лікування захворювання, а також для надання реабілітаційних послуг.

О. V. Kozyavkina, N. V. Kozyavkina, M. S. Hordiyevych et al. (2018) [17], S. Enzo Pasquale, A. Gemignani, R. Paradiso, N. Taccini (2005) [18] та N. U. Ahamed, K. Sundaraj, T. S. Poo (2013) [19] проаналізували існуючі методи реабілітації, де лікарі та реабілітологи застосовують традиційні й інноваційні методи і технології, флатер-терапію, реабілітаційний масаж, технології і засоби інформаційно-хвильової терапії та апаратні методи для підвищення ефективності реабілітаційних заходів. Комп'ютерні системи реабілітації значно трудомісткі порівняно з традиційними системами терапії.

Вивчивши та проаналізувавши сучасну вітчизняну та зарубіжну літератури, можна стверджувати, що науковці у галузі медичної, біологічної та технічної наук багато зробили й описали комп'ютерні системи, які використовують у реабілітаційній медицині. У цих системах дослідники вказали різні типи інформації про апаратне і програмне забезпечення, які застосовують в якості основних елементів і мостів зв'язку для технології реабілітації. Серед загальноприйнятих комп'ютерних програм, що використовують у реабілітаційних системах, є:

1. *MatLab* – пакет прикладних програм для числового аналізу, а також мова програмування, яку застосовують у даному пакеті. Усі функції пакета написані на відкритій мові *MatLab*, що дозволяє користувачеві контролювати виконання алгоритмів, наприклад отриманий оцифрований ЕКГ-сигнал піддавали в системі комп'ютерної математики *Matlab* дискретному Вейвлет-перетворенню й обчислювали середньоквадратичні відхилення апроксимуючих Вейвлет-коефіцієнтів на різних масштабах [18–22];

2. *LabVIEW* – програма запису та перезапису цифрових каналів передачі даних у медичних приладах і системах із мікропроцесорним управлінням, наприклад цифровий тонометр і пульсоксиметр [14, 20];

3. Програмне забезпечення *Virtual Reality* – це широко відомі технології в іграх, але відносно нове в реабілітаційній медицині. Окремим ключовим аспектом і перспективами віртуальної реальності розроблені є програмні забезпечення, які використовують з метою

реабілітації. *Virtual Reality* – комп'ютерне моделювання тривимірного зображення, з яким людина може взаємодіяти, наприклад шолом з екраном зсередини, або електронні віртуальні рукавички, які є комп'ютерними моделями кисті пацієнта. Спеціальні датчики усередині рукавички можуть включати датчик кров'яного тиску, датчик дихання, датчик серцевого ритму і багато іншого. Дані відправляються з рукавичок на гаджет для представлення результатів [3, 4, 12, 23].

Сенсорні технології продовжують розвиватися і пропонують значні можливості для поліпшення стану здоров'я. В останні роки досягнень у галузі гнучкої електроніки, інтелектуальних матеріалів та малопотужних обчислень і мережевих технологій зменшилися бар'єри для доступності технологій, інтеграції та вартості, відкривши потенціал для моніторингу. В даному дослідженні також обговорюються останні досягнення в галузі сенсорних датчиків і систем, які контролюють рухову й фізіологічну активності людини. Адаптивна реабілітаційна медицина фізична активність є одним із найважливіших компонентів здоров'я людини [24–26].

Stanley Colcombe and Arthur F. Kramer (2003) [27] вказують на те, що фізична активність безпосередньо впливає на рівень фізичного і психологічного здоров'я людини, а також на емоційне самопочуття.

З потребою планування й організації фізичної активності виникає питання у моніторингу виконаної фізичної діяльності. Фізичну активність визначають сумою рухів, які проводить людина в процесі життєдіяльності. Під час вимірювання рухової активності використовують різні критерії та методики. Це дає змогу отримати достатньо об'єктивну інформацію й не потребуватиме складної апаратури. Одним із підходів до оцінки рівня фізичної активності є застосування спеціалізованих анкет і опитувальників, хронометражу денної активності. Хронометраж заснований на реєстрації видів діяльності людини протягом доби. Він дає змогу отримати повну інформацію про виконувану фізичну діяльність і тривалість окремого її виду, а також відпочинку, фізичних навантажень тощо [24–26].

Проте на сьогодні даний метод для оцінки фізичної активності має низку недоліків, таких, як: необхідність щоденної фіксації фізичної активності, неточності в заповненні анкет, а також вікові обмеження. Іншим підходом до оцінки фізичної активності людини з обмеженими руховими можливостями є використання спеціалізованих пристроїв моніторингу [17, 24, 28, 29].

На даний час сенсорні пристрої, які використовують для моніторингу фізичної активності, поділяють на:

- 1) сенсори, які вимірюють такі біологічні показники, як тиск, частоту серцевих скорочень, частоту дихання – пульсометр, тонометр, спірометр;
- 2) датчики руху – педометри, акселерометри, трекери активності.

Таким чином, при плануванні дослідження вибір пристрою моніторингу необхідно зіставляти з поставленими цілями і питаннями дослідження, кількістю учасників експерименту, типом вимірюваної фізичної діяльності та необхідної точності вимірювань [17, 24, 28, 29].

Сенсори у системі реабілітації, що складаються з гнучких і розтяжних матеріалів, мають потенціал для кращої взаємодії із шкірою людини, тоді як електроніка на основі кремнію є надзвичайно ефективною в обробці та передачі даних у датчики. Гнучкі медичні пристрої, призначені для

моніторингу життєво важливих функцій людини, таких, як температура тіла, частота серцевих скорочень, частота дихання, артеріальний тиск і глюкоза в крові. Дачики моніторингу стану здоров'я застосовують для медичної діагностики [29, 30].

Науковці у галузі реабілітаційної медицини активно вивчають спосіб дистанційного моніторингу фізіологічних показників людського тіла. Реабілітолог на пацієнтові закріплює пристрій чи пристрої, на якому розміщують датчики з автономним живленням, що реєструють фізіологічні показники та показники положення в просторі. Після проведених дій реабілітолог включає свій мобільний пристрій (телефон, планшет) і починає в реальному часі отримувати показники із сенсорних датчиків, які виводяться на монітор (дисплей, екран) у вигляді графіків, діаграм. А також фізичний терапевт/реабілітолог може відстежувати функціональний стан пацієнта безпосередньо під час виконання терапевтичних вправ та після їх завершення [17, 26, 29, 30].

На рисунку 2 показано систему моніторингу пацієнта, яка може працювати дистанційно, наприклад у гериатричних центрах або в лікарнях. У цій системі забезпечується один або більше пристроїв сітчастої "Mesh Network Appliances 8" для забезпечення бездротового зв'язку в домашній системі моніторингу. "Mesh Network Appliances 8" сітчастої мережі може включати в себе пристрої моніторингу домашньої безпеки, прилади домашнього контролю температури, пристрої пожежної сигналізації, тощо. "Mesh Network Appliances 8" сітчастої мережі може бути одним із декількох портативних фізіологічних перетворювачів, таких, як монітор артеріального тиску, монітор серцевого ритму, термометр, спірометр, одинарний або багатоканальний електрокардіограф [1, 16, 31].

Для прикладу розглянуто типовий алгоритм роботи пристроїв для моніторингу функціонального стану здоров'я людини. Пристрій, який носить пацієнт, включає в себе одну або двонаправлену бездротову лінію зв'язку (рис. 2), для передачі даних від "Mesh Network Appliances 8" до локального концентратора або приймаючої станції чи BASE SAON – LOCA. SERVER 20 за допомогою бездротового радіочастотного зв'язку, використовуючи протокол.

Наприклад, у межах будинку користувач може мати пристрої сітчастої мережі. У даному випадку людина, яка хворіє, може мати доступ до передавача сигналу тривоги. Інші датчики та/або детектори також можуть бути включені. Користувач може реєструвати ці прилади в центральній мережі безпеки, ввівши ідентифікаційний код кожного зареєстрованого пристрою та/або системи. У приміщенні розташовують камери моніторингу "10" які можна розміщувати в різних заздалегідь визначених точках будинку пацієнта "30". Базова станція/сервер 20 зберігає картину розміщення пацієнта і його життєві показники. Базова станція/сервер 20 доступна членам сім'ї пацієнта, лікарям, реабілітологам та медсестрам. Пацієнт "30" може носити один або більше приладів для моніторингу.

Пристрій, який носить чи використовує пацієнт, наприклад такий, як наручні годинники, пристрої для вимірювання ЕКГ, артеріального тиску, рівня цукру, включають сенсорні датчики "40". Датчики включають стандартну медичну діагностику для виявлення електричних сигналів тіла, що виходять із м'язів, головного мозку і кардіоваскулярної системи. Датчики, які використовують на нижні кінцівки, можуть включати п'єзоелектричні акселерометри, призначені для надання якісної оцінки руху кінцівок. Невеликий сенсорний

датчик може бути встановлений на палець пацієнта для виявлення частоти серцевого скорочення. Кожен з датчиків "40" може індивідуально передавати дані на сервер "20" із застосуванням провідної або бездротової передачі [1, 16, 26, 31].

А. Tsvyakh, А. Hospodarskyu (2017) [26] досліджували телемедичні технології у реабілітації пацієнтів з травмами нижніх кінцівок. Домашній дистанційний моніторинг пацієнтів включав використання смартфона з гіроскопом, G-sensor, магнітометр і барометр, який закріпили на травмованій нижній кінцівці. Програмне забезпечення для смартфона було розроблено в ДВНЗ "Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України", яке дозволило авторам здійснити моніторинг часу тренування, частоти активних рухів травмованої нижньої кінцівки, кількості кроків на годину і швидкості ходьби.

Науковці вітчизняного Інституту проблем штучного інтелекту МОН і НАН України розробили інтелектуальну систему психофізіологічної корекції людини, яку можна використовувати у процесі реабілітації. Система являє собою сукупність методик оцінки, діагностики і корекції психофізіологічного стану організму людини і комплекс програмно-технічних засобів для їх реалізації. Елементи програмно-технічних засобів реалізовані у вигляді систем і технологій розпізнавання зорових й мовних образів. Дана науково-технічна розробка не вирішує усіх проблем реабілітації, у зв'язку з тим, що це комплексна проблема, але надає один з інструментів у цьому напрямку, так як заснована на створенні технічних засобів контролю за фізіологічними показниками людини, з розробкою інтелектуальних технологій аналізу стану й управління ним з урахуванням зворотного біологічного зв'язку. Метою

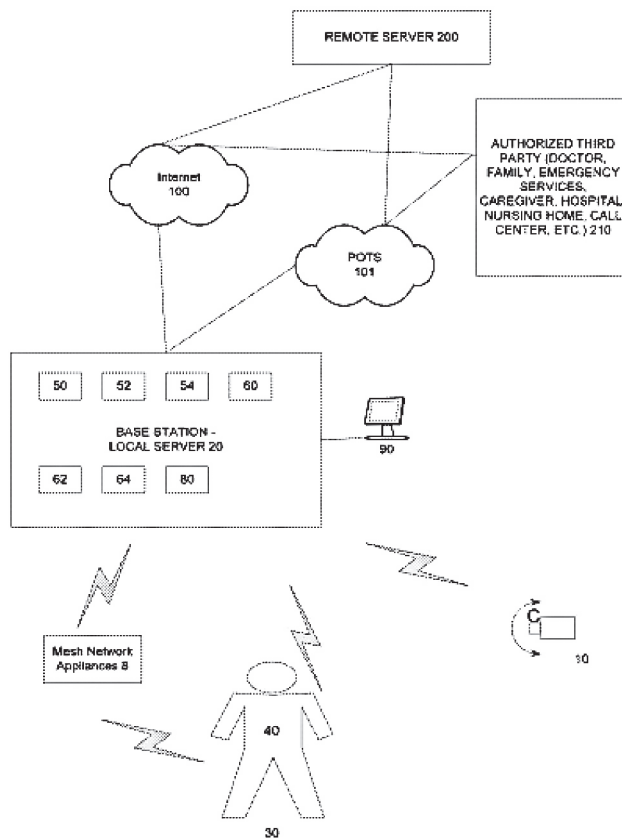


Рис. 2. Система моніторингу людини/пацієнта [31].

роботи стало створення нової високоефективної системи психофізіологічної корекції в умовах дії надекстремальних факторів за рахунок розробки інтелектуальної системи діагностики і корекції психофізіологічного стану людини на основі нових і удосконалення існуючих методик психофізіологічної діагностики й корекції. Представлена система психофізіологічної корекції являє собою комп'ютеризовану двоетапну експертну систему з базою даних та базою знань, що надає можливість медику-спеціалісту контролювати за динамікою кількісних біологічних параметрів організму, корегувати (упродовж усього сеансу лікування) психофізіологічний стан людини [12, 23, 32].

В інтелектуальну систему (ІС) подаються сигнали з датчиків основних вітальних показників, які є маркерами реалізації стрес – реакції (частота серцевих скорочень, показники варіабельності серцевого ритму, показники дихання, дані міограми, температура, шкірно-гальванічний потенціал і т.д.). Блок прийому спрямований на формування баз даних інформації; блок обробки інформації перетворює й ідентифікує сигнали, таким чином, що керуючий блок ІС приймає рішення і формує відповідні сигнали збудження або гальмування. База знань, яка міститься в блоці обробки інформації, поповнюється масивами інформації, яка згодом інтерпретується експертною системою для формування того чи іншого типу впливів [12, 23, 32].

Конструктивно система являє собою шолом (з метою виконання захисної функції), оснащений віброактуаторами, пристроями масажу рефлексорних зон поверхні голови, пристроями для подачі звукових і відеорядів для досягнення необхідного дозованого ефекту. Система передбачає застосування в стаціонарних або польових умовах для проведення психофізіологічної корекції безпосередньо в зоні надекстремальних впливів.

Принцип дії інтелектуального шолома заснований на ефекті біологічного зворотного зв'язку, основний принцип – саморегуляції усіх біологічних систем, для здійснення котрого пацієнтові в режимі реального часу надають інформацію про стан організму і про необхідні напрямки змін з метою усунення проблем або розширення можливостей. Фізіологічно дію шолома засновано на біоадаптивному управлінні [12, 23, 32].

Дослідження інтелектуальної системи, яка в режимі реального часу здійснює моніторинг показників психофізіологічного стану, обирає процедури, які найбільше підходять конкретній людині на основі прийняття рішень в експертній системі. До ІС включено базу даних про пацієнтів, поточну інформація про проведені процедури і їх результати, що дозволяє оперативно аналізувати результати і вносити корективи в процедури і програмне забезпечення системи. Перевагами даної інтелектуальної системи є об'єктивний контроль за психофізіологічним станом пацієнта, можливість адаптації процедури реабілітації до індивідуальних особливостей людини, адаптація самої процедури безпосередньо під час релаксації, збір і статистичний аналіз даних про стан пацієнта зі зберіганням інформації у базі даних, вивчення динаміки стану пацієнта з можливістю оцінки стану пацієнтів за допомогою телемедицини, інформативність методів [12, 23, 32].

S. Mazzoleni, J. Van Vaerenbergh, A. Toth, M. Munih, E. Guglielmelli and P. Dario (2005) [33] описали діагностичний прилад ALLADIN із сенсорами, що складається з декіль-

кох компонентів: модульна платформа, де пацієнт оснащений вісьмома датчиками Force/Torque, які отримують дані під час виконання імітаційної "activities of daily life"; бази даних, яку використовують для зберігання усіх отриманих даних; комп'ютерний операторський інтерфейс, яким користуватиметься фізичний терапевт/реабілітолог.

Для прикладу представлено діагностичний прилад ALLADIN (рис. 3), який включає дев'ять компонентів, і який використовують у нейрореабілітації для оцінки постінсультного функціонального відновлення. Пристрій включає базу даних, в якій зберігаються усі функціональні показники та інші клінічні показники пацієнта [7, 8, 33, 34].



Рис. 3. Компоненти діагностичного пристрою ALLADIN.

Примітка. 1) дошка для зберігання аксесуарів, 2) інвалідна коляска, 3) монітор для пацієнта, 4) подіум, 5) магістральний пристрій, 6) пристрій для ніг, 7) важіль пристрою, 8) пристрій для рук, 9) сидіння.

Застосування діагностичного пристрою разом із системами для візуалізації мозку (наприклад функціональна магнітно-резонансна томографія), методик моніторингу активності мозку – ЕЕГ та моніторингу фізичної активності дозволять контролювати ступінь функціональних змін на різних етапах реабілітації.

Таким чином, результати аналізу сучасної зарубіжної літератури щодо видів сенсорів та їх застосування у реабілітаційних заходах вказує на те, що у реабілітаційному процесі вони дійсно наявні й постійно використовуються.

ВИСНОВКИ При аналізі сучасної вітчизняної та зарубіжної літератури щодо видів сенсорів у реабілітаційній медицині вивчено й описано розвиток і застосування сенсорних приладів у фізичній та медичній реабілітації. В усіх публікаціях вказується, що сенсорні датчики прикріплюються до пристроїв, які дають змогу вимірювати функціональні показники стану здоров'я людини. Тому сенсорні технології у реабілітаційній медицині продовжують всебічно розвиватися і часто застосовуються для діагностики, оцінки стану здоров'я людини та її реабілітації.

Перспективи подальших досліджень Перспективи застосування сенсорів у реабілітаційній медицині розширюються, адже для дослідників розуміння біосинтезуючих

систем реабілітації та процедур її аналізу допоможуть створити більш потужні, гнучкі, реальні та добре організовані

програми, пов'язані з системами відновлення. Тому дослідження в цьому напрямку будуть розвиватися й далі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Mohammaddan S. Wire-driven mechanism for finger rehabilitation devices / S. Mohammaddan, T. Komeda // *Proceedings of the IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automation in China*. – 2010. – P. 1015–1018.
- Young H. L. What is a biosensor? / *Sensor technology handbook* / H. L. Young, Raj Mutharasan // *Science Direct*. – Chapter 6. – 2005. – P. 161–180.
- Al-Jumaily A. Electromyogram (EMG) driven system based virtual reality for prosthetic and rehabilitation devices / A. Al-Jumaily, R. A. Olivares // *11th Int Conf on Information integration and web-based applications and services. Malaysia. ACM*. – 2009. – P. 582–586.
- Goto S. Development of meal assistance orthosis for disabled persons using EOG signal and dish image / S. Goto, M. Nakamura, T. Sugi // *International Journal of Advanced Mechatronic Systems*. – Vol. 1, Issue 2. – 2008. – P. 107–115.
- Gupta R. Development of an embedded system and MATLAB-based GUI for online acquisition and analysis of ECG signal / R. Gupta, J. N. Bera, M. Mitra // *Measurement*. – Vol. 43. – 2010. – P. 1119–1126.
- Early assessment of neuro-rehabilitation technology: a case study / P. Silvia, M. Stefano, B. Stefania [et al.] // *J. Biomed. Eng. Technol. IndraSci*. – Vol. 4, Issue 3. – 2010. – P. 232–244.
- Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke / G. B. Prange, M. J. A. Jannink, C. G. M. Groothuis-Oudshoorn [et al.] // *Journal of Rehabilitation Research and Development*. – Vol. 43, Issue 2. – 2006. – P. 171–184.
- Trunk muscle strength in relation to balance and functional disability in unihemispheric stroke patients / M. Karatas, N. Cetin, M. Bayramoglu, A. Dilek // *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. – Vol. 83, Issue 2. – 2004. – P. 81–87.
- Pantelopoulos A. A survey on wearable biosensor systems for health monitoring / A. Pantelopoulos, N. Bourbakis // *Proceedings of the 30th Annual IEEE int. conf. on engineering in medicine and biology society in BC, USA*. – 2008. – P. 4887–4890.
- Survey of domain-specific performance measures in assistive robotic technology M. T. Katherine, A. Y. Holly, J. David, J. M. Feil-Seifer Maja // *Proceedings of the 8th workshop on performance metrics for intelligent systems in USA*. – 2008. – P. 116–123.
- Janis J. D. Brain-computer interfaces in neurological rehabilitation / J. D. Janis, R. W. Jonathan // *J. Lancet. Neurol*. – Vol. 11, Issue 17. – 2008. – P. 1032–1043.
- Steinisch M. Virtual reality and robotics for neuro-motor rehabilitation of ischemic stroke patients / M. Steinisch, B. M. Guarnieri // *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*. – 2009. – P. 61–63.
- Martsenyuk V. P. Study of classification of immunosensors from viewpoint of medical tasks / V. P. Martsenyuk // *Medical Informatics and Engineering*. – Vol. 1, Issue 41. – 2018. – P. 13–19. DOI: <https://dx.doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2018.1.8887>.
- A home-based care model for outpatient cardiac rehabilitation based on mobile technologies / Antti Särelä, Jukka Salminen, Esa Koskinen [et al.] // *3rd Int. Conf. on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. – 2009. – P. 1–18.
- Development of a new rehabilitation system based on a brain-computer interface using near-infrared spectroscopy / T. Nagaoka, K. Sakatani, T. Awano [et al.] // *Adv. Exp. Med. Biol*. – Vol. 662. – 2010. – P. 497–503.
- Biomedical signal processing and rehabilitation engineering: a review / O. Majdalawieh, J. Gu, T. Bai, G. Cheng // *Proceedings of IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing in Canada*. – Vol. 2. – 2003. – P. 1004–1007.
- Forecasting caused by Kozyavkin© metod changes in hand function parameters in children with spastic form of cerebral palsy at their baseline levels as well as EEG, HRV AND GDV / O. V. Kozyavkina, N. V. Kozyavkina, M. S. Hordiyevych [et al.] // *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. – No. 4. – 2018. – P. 17–35.
- Performance evaluation of sensing fabrics for monitoring physiological and biomechanical variables / S. Enzo Pasquale, A. Gemignani, R. Paradiso, N. Taccini // *IEEE T Inf. Technol. B*. – Vol. 9, Issue 3. – 2005. – P. 345–352.
- Ahamed N. U. Design and development of an automated, portable and handheld tablet personal computer-based data acquisition system for monitoring electromyography signals during rehabilitation / N. U. Ahamed, K. Sundaraj, T. S. Poo // *Proc. Inst. Mech Eng. Part H-J. Eng. Med*. – 2013. – P. 262–274.
- SHIMMERTM: A Wireless Sensor Platform for Noninvasive Biomedical Research / A. Burns, B. R. Greene, M. J. McGrath, O'Shea // *IEEE Sens. J*. – Vol. 10, Issue 9. – 2010. – P. 1527–1534.
- Schabowsky C. N. Development and pilot testing of HEXORR: hand Exoskeleton rehabilitation robot / C. N. Schabowsky, S. B. Godfrey // *J. Neuroeng Rehabil*. – Vol. 7. – 2010. – P. 36.
- Sasidhar S. A real time control algorithm for a myoelectric glove for the rehabilitation of wrist and elbow of stroke patients / S. Sasidhar, S. K. J. Xu. Panda // *8th IEEE Int Conf on control and automation*. – 2010. – P. 745–749.
- Virtual reality training may be as effective as regular therapy after stroke. Online issue of *Neurology®* // *Medical Journal of the American Academy of Neurology*. – 2017. – Access mode : <https://www.sciencedaily.com/releases/2017/11/171115175655.htm>.
- Janet M. Warren, Ulf Ekelund, Herve Besson, Alessandro Mezzani, Nickos Geladas, Luc Vanhees. Assessment of physical activity – a review of methodologies with reference to epidemiological research: a report of the exercise physiology section of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation / *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*. – Vol. 17, Issue 2. – 2010. – P. 127–139.
- Аналіз фізичної активності студенток першого року навчання в Тернопільському державному медичному університеті імені І. Я. Горбачевського / Д. В. Попович, О. О. Сопель, В. І. Бондарчук, М. М. Дяченко // *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. – 2019, Вип. 4. – С. 123–127.
- Tsvyakh A. Telerehabilitation of patients with injuries of the lower extremities / A. Tsvyakh, A. Hospodarsky // *Telemed J. E Health*. – Vol. 23. – 2017. – P.1011–1015. DOI: 10.1089/tmj.2016.0267.
- Stanley Colcombe. Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study / Stanley Colcombe, Arthur F. Kramer // *Psychological Science March*. – Vol. 14, Issue 2. – 2003. – P. 125–130.
- Логинов С. И. Возможности оценки физической активности человека с помощью датчиков движения-акселерометров / С. И. Логинов // *Вестник новых медицинских технологий*. – 2007. – Т 14, № 1. – С. 149–150.
- Use of a low-cost, commercially available gaming console (Wii) for rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy / Judith E. Deutsch, Megan Borbely, Jenny Filler [et al.] // *Physical Therapy*. – Vol. 88. – 2008. – P. 1196–1207.
- Sensors, vision and networks: From video surveillance to activity recognition and health monitoring / Prati, Andrea, Shan Caifeng [et al.] // *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*. – Vol. 11. – 2019. – P. 5–22.
- Patent application publication US 2015/0125832 A1, G09B 19/0092 (2013.01); G09B5/00 (2013.01). Health monitoring system /

Bao Tran, Saratoga, CA (US); Applicant & Inventor: Current Assignee Koninklijke Philips NV. – Appl. No.:14/071,623 Filed: Nov. 4. – 2013, Pub. Date: May 7. – 2015.

32. Качур И. В. Разработка интеллектуальной системы с биоадаптивным управлением для психофизиологической реабилитации / И. В. Качур // материалы Международной научно-технической конференции “Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы” (Be-Safe 2016), г.Беларусь. – 2016. – С. 23–26.

33. ALLADIN: a novel mechatronic platform for assessing post-stroke functional recovery / S. Mazzoleni, J. Van Vaerenbergh, A. Toth [et al.] // Proceedings of the International Conference on Rehabilitation Robotics. Chicago, IL, USA. – 2005. – P. 156–159.

34. Development of a soft metal hydride actuator using a laminate bellows for rehabilitation systems / S. Ino, M. Sato, M. Hosono, T. Izumi // Sens actuator B-Chem. – Vol. 136, Issue 1. – 2009. – P. 86–91.

Отримано 02.04.19

©V. P. Martsenyuk¹, I. V. Kachur², A. S. Sverstyuk³, V. I. Bondarchuk³, Yu. V. Zavidnyuk³, V. B. Koval³, O. M. Mochulska³

University of Bielsko-Biala, Republic of Poland¹

Institute of Artificial Intelligence Problems²

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University³

HEALTH MONITORING BY FUNCTIONAL INDICATORS WITH SENSORS ASSISTANCE IN REHABILITATION MEDICINE: SYSTEMATIC REVIEW

Summary. At present, people's need for rapid and effective rehabilitation processes is growing significantly. People with limited functional capabilities need sensor devices that are used for rehabilitation in order to improve human health and to return to a decent standard of living. Sensory devices are used for the health monitoring system of people that are divided into portable and movable. After all, rehabilitation treatment requires patients of different age groups with cardio-pulmonary pathology, neurological disorders, orthopedic disorders, etc. The article covers electromechanical, electric, optical and thermal sensors, acoustic signal transducers or sensitive sensors, sensors and their application at different stages of rehabilitation.

The aim of the study – to conduct an analysis of modern domestic and foreign literature on types of sensors in rehabilitation medicine.

Materials and Methods. The study used biblio-semantic and analytical methods in the following electronic databases: Science Direct, PubMed, Scopus and Google Scholar. When looking for an article, annotations are analyzed. Inclusion criteria were: (1) physical and medical rehabilitation and / or auxiliary system supported by sensors and computer, (2) systems developed for the human body, and (3) documents written in English. If the expected criterion was found, the full text was reviewed.

Results and Discussion. During the study, a systematic review and analysis of recent publications, mainly foreign scientific medical, biological and technical literature on the types, principles of work, development and the possibilities of using sensors in rehabilitation medicine was conducted. Sensory technologies continue to be fully developed and offer convenient opportunities to use to improve the functional state of health. A wide range of studies included and reflected in this review included various types of sensors. To date, devices used to monitor physical activity are divided into sensors that measure biological parameters such as pressure, heart rate, respiratory rate - pulse meter, tonometer, spirometer and motion sensors – pedometers, accelerometers, trackers of activity. Some of the most commonly used sensors used in rehabilitation are electromyography, galvanic skin reaction, electrocardiography, electroencephalography and sensory sensors and systems that control motor and physiological activity of a person. The article for examples considered: 1 – a typical algorithm for the operation of devices for monitoring the functional state of human health, 2 – diagnostic tool ALLADIN with sensors, which includes nine components. In the electronic databases: Science Direct, PubMed, Scopus and Google Scholar, no previously published work was found whereby the authors synthesized a combination of sensors with hardware, robotic, computer, and rehabilitation systems for patients of different ages.

Conclusions. In the analysis of modern domestic and foreign literature on types of sensors in rehabilitation medicine, the development and application of sensor devices in physical and medical rehabilitation has been studied and described. All publications indicate that sensory sensors are attached to devices that allow measuring functional performance of a person's health. Therefore, sensory technologies in rehabilitation medicine continue to develop in a comprehensive manner and are frequently used to diagnose, assess and monitor the health of a person.

Key words: physical rehabilitation; medical rehabilitation; sensors; touch sensitive tool.

©В. П. Марценюк¹, И. В. Качур², А. С. Сверстюк³, В. И. Бондарчук³, Ю. В. Завиднюк³, В. Б. Коваль³, О. Н. Мочульская³

Университет в Бельско-Бялий, Республика Польша¹

Институт проблем искусственного интеллекта МОН и НАН Украины²

Тернопольский национальный медицинский университет имени И. Я. Горбачевского³

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ С ПОМОЩЬЮ СЕНСОРОВ В РЕАБИЛИТАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЕ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Резюме. На сегодняшнее время значительно возрастает потребность людей в быстрых и эффективных реабилитационных процессах. Людям с ограниченными функциональными возможностями необходимые сенсорные устройства, которые применяются для реабилитации с целью улучшения здоровья человека и его возвращение к надлежащему качеству жизни. Сенсорные устройства применяются для системы мониторинга здоровья людей, которые подразделяются на портативные и переносные. Ведь реабилитационного лечения требуют пациенты различной возрастной категории с сердечно-легочной патологией, неврологическими расстройствами, ортопедическими нарушениями и тому подобное. В статье освещены электромеханические, электрические, оптические и тепловые сенсоры, преобразователи акустических сигналов или чувствительностью сенсоры, сенсорные датчики и их применения на различных этапах реабилитации.

Цель исследования – провести анализ современной отечественной и зарубежной литературы по видам сенсоров в реабилитационной медицине.

Материалы и методы. В исследовании применены библиосистематичный и аналитический методы в следующих электронных базах данных: Science Direct, PubMed, Scopus и Google Scholar. При поиске статьи проанализированы аннотации. Критериями включения были: 1 – физическая и медицинская реабилитация и/или вспомогательная система, которая поддерживается сенсорами и компьютером, 2 – системы, разработанные для организма человека, и 3 – документы, написанные на английском языке. Если ожидаемый критерий был найден, полный текст пересматривался.

Результаты исследований и их обсуждение. Во время выполнения исследования был проведен систематический обзор и анализ последних публикаций, в основном зарубежной научной медицинской, логической и технической литературы по видам, принципам работы, разработке и возможностям применения сенсоров в реабилитационной медицине. Сенсорные технологии продолжают всесторонне развиваться и предлагают удобные возможности в использовании для улучшения функционального состояния здоровья. Широкий спектр исследований, включенных и отраженных в данном обзоре, включал различные типы сенсоров. На сегодняшний день устройства, используемые для мониторинга физической активности, разделяют на сенсоры, которые измеряют такие биологические показатели, как давление, частоту сердечных сокращений, частоту дыхания – пульсометр, тонометр, спирометр, и датчики движения – педометры, акселерометры, трекеры активности. Некоторыми из наиболее часто используемых сенсоров, которые применялись в реабилитации, является электромиография, гальваническая реакция кожи, электроэнцефалография, электрофаллография и сенсорные датчики и системы, которые контролируют двигательную и физиологическую активность человека. В статье для примеров рассмотрены: 1 – типичный алгоритм работы устройств для мониторинга функционального состояния здоровья человека, 2 – диагностический прибор ALLADIN с сенсорами, который включает девять компонентов. В электронных базах данных: Science Direct, PubMed, Scopus и Google Scholar не найдено ни одной ранее опубликованной работы, где бы авторы обобщали сочетание сенсоров с аппаратными средствами, робототехническими, компьютерными, системами для реабилитации пациентов разных возрастных категорий.

Выводы. При анализе современной отечественной и зарубежной литературы по видам сенсоров в реабилитационной медицине изучено и описано развитие и применение сенсорных приборов в физической и медицинской реабилитации. Во всех публикациях указывается, что сенсорные датчики прикрепляются к устройствам, которые позволяют измерять функциональные показатели состояния здоровья человека. Поэтому сенсорные технологии в реабилитационной медицине продолжают всесторонне развиваться и часто используются для диагностики, оценки состояния здоровья человека и его реабилитации.

Ключевые слова: физическая реабилитация; медицинская реабилитация; сенсоры; сенсорные датчики.

Адреса для листування: В. І. Бондарчук, Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського, майдан Волі, 1, Тернопіль, 46001, Україна, e-mail: bondarchykvi@tdmu.edu.ua