

СУЧАСНІ МЕТОДИ СЕНСОМОТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ РУХОВОЇ АКТИВНОСТІ

Штофель Д. Х.¹, Сорочинський В. В.^{2*}

^{1,2}Вінницький національний технічний університет, Вінниця (Україна)

*e-mail: vsorochynskyi@vntu.edu.ua

Сенсомоторні реакції – важлива характеристика нейросоматичної організації рухової системи людини, інформативний показник функціонального стану людини: операторів складних технічних систем, водіїв, пілотів, спортсменів, військово-службовців, поліціантів, пожежників, рятувальників, водолазів тощо. Швидкість і правильність моторної відповіді людини на певні сенсорні стимули може бути критично важливою для наведених професій.

До того ж аналіз сенсомоторних реакцій може використовуватись для діагностики нейром'язових захворювань, особливо на ранніх стадіях розвитку [1]. Останній аспект важливий у контексті майбутнього повернення і професійної реінтеграції українських ветеранів до мирного життя.

Незважаючи на те, що сенсомоторні дослідження проводяться давно, і відомо багато методів визначення сенсомоторних реакцій [2], сьогодні бракує усталених методик визначення різних видів рухової відповіді, недостатньо досліджені зв'язки м'язової активності, що реєструється за допомогою електроміографії, та кінцевої моторної відповіді на сенсорний стимул [3]. Під час дослідження визначено набір сучасних вимірювальних методів, засобів та методик проведення випробувань для дослідження різних типових патернів моторної відповіді. Цей набір даних є основою для подальшого розроблення моделей, методів та апаратно-програмних засобів для мультимодальної автоматизованої системи вимірювання й аналізу різнотипних сенсомоторних реакцій людини в процесі виконання професійних завдань. Передбачається, що система дасть змогу не лише проводити діагностику і дослідження нейромоторних функцій, а й зможе використовуватись як тренажерний комплекс для реабілітації хворих та вдосконалення рухових навичок фахівців окремих професій.

Кінцевою метою подальших досліджень є створення системи реєстрації та аналізу досліджень сенсомоторних реакцій людей в процесі виконання ними типових професійних завдань для задач діагностики, тренування та реабілітації. Завданням дослідження було проаналізувати сучасні підходи до реєстрації сенсомоторних реакцій та визначити оптимальні методики їх вимірювання, що можуть бути застосовані в автоматизованій системі аналізу сенсомоторних реакцій людини в процесі виконання нею професійних обов'язків. Отже, найбільш перспективними сьогодні є такі методи визначення сенсомоторних реакцій.

Системи захоплення руху – відеореєстратори, які виконують оптичний знімок руху із застосуванням кількох камер і маркерів, розміщених на тілі для

відстеження рухів у трьох вимірах. Він надає високоточні дані про кути суглобів, положення тіла та траєкторії руху кінцівок.

Поверхнева електроміографія (ЕМГ) дає змогу вимірювати електричну активність тканин під час м'язового скорочення за допомогою електродів, розміщених на поверхні шкіри. Ця методика може бути корисною для оцінки моделей м'язової активації, координації, ступеня зусиль і втоми.

Відстеження рухів очей за допомогою відеотрекерів та інфрачервоних сенсорів для виявлення рухових відповідей, напрямку й точки фіксації погляду, а також сакад. Ці вимірювання важливі для виявлення зорової уваги, когнітивного або робочого навантаження та емоційного відгуку користувача. Ці методи широко використовуються у системах взаємодії людини з комп'ютером, у рекламних дослідженнях і медичній діагностиці.

Сенсори сили та тиску можуть використовуватися для вимірювання сили реакції опори під час ходіння, бігу, стрибків або стояння. Вони надають точні дані про вектори сил і центри тиску, тому використовуються для аналізу рівноваги, ходи, постави, а також під час аналізу виконання спортивних вправ.

Комплексний тактильний аналіз може забезпечуватися завдяки використанню мережі сенсорів дотику, наприклад, сенсорних рукавичок, які містять систему сенсорів для вимірювання тиску, локальної сили та сили захоплення пальців і долоні. Вони використовуються для вивчення рухів рук, динаміки захоплення предметів та контролю дрібної моторики. До того ж такі сенсори можуть бути інтегровані в систему зворотного зв'язку з використанням вібросигналу, силового, температурного або електричного сигналу для імітації тактильних відчуттів. Особливо корисною така технологія є для симуляторів та систем дистанційного керування.

Методи електроенцефалографії (ЕЕГ) дають змогу реєструвати електричну активність мозку, що допомагає картувати діяльність мозкових центрів під час виконання рухових завдань, когнітивних функцій і людино-машинної взаємодії. ЕЕГ є неінвазивною і має високу часову роздільну здатність.

Можуть бути корисними окремі види **нейровізуалізації, як-от ближня інфрачервона функціональна спектроскопія**, яка забезпечує визначення зміни об'єму та оксигенації крові в головному мозку, що відображає нейронну активність у ньому. Цей метод ставить менше вимог до дослідження, порівняно з традиційною функціональною МРТ, і його можна використовувати у природних умовах для вивчення когнітивного навантаження та процесів прийняття рішень.

Надзвичайно перспективними є легкі ношені інерціальні сенсори, вбудовані у пристрої індивідуального користування – розумні годинники, браслети, нарукавні пов'язки та одяг, щоб постійно відстежувати моделі рухів, поставу та фізичну активність. Їх все частіше використовують для моніторингу здоров'я, спортивних

тренувань і реабілітації. Інерціальні засоби вимірювання включають акселерометри, гіроскопи і магнітометри для відстеження орієнтації, прискорення та обертального руху кінцівок. Вони легкі, портативні та підходять для використання в польових умовах. Сенсори електродермальної активності вимірюють провідність шкіри для виявлення фізичної активності, фізіологічного збудження, ознак стресу та емоційних реакцій. Вони також часто інтегруються в портативні пристрої для психологічних і сенсомоторних досліджень.

Сенсори варіабельності серцевого ритму і пульсоксиметрії забезпечують оцінювання серцево-судинної реакції та рівня кисню в крові під час сенсомоторних завдань. Вони є індикаторами стресу, навантаження та активності вегетативної нервової системи. Сенсори частоти дихання контролюють стан дихальної системи, який можна корелювати з когнітивним навантаженням і стресом під час виконання фізичних завдань.

Сучасні системи передбачають інтеграцію та поєднання різних методів для одержання більш повної картини сенсомоторних характеристик. Поширеним трендом також є використання машинного навчання та штучного інтелекту – розширених алгоритмів для аналізу великих наборів даних під час сенсомоторних вимірювань, прогнозування ефективності й визначення індивідуальних особливостей професійної діяльності або навчання.

Отже, сенсомоторні вимірювання мають вирішальне значення для аналізу рухів людини, контролю, сприйняття та взаємодії з різними механізмами. Результати дослідження будуть використані під час розроблення системи аналізу сенсомоторних реакцій у процесі професійної діяльності. Така система може застосовуватися під час розроблення та оптимізації людино-машинних інтерфейсів, для ергономічних досліджень технічних систем, підвищення безпеки та вдосконалення методів посттравматичної реабілітації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Paterson M. How we became sensorimotor: Movement, measurement, sensation. University of Minnesota Press, 2021. 300 p.
2. Reaction parameter and modified sensorimotor reaction method for assessment of functional potential of nervous system / D. Shtofel, K. Navrotska, S. Kostishyn et al. *Biomedical engineering and electronics*. 2018. № 1(20). P. 68–78.
3. A. Vázquez-Guardado, Y. Yan, A. J. Bandodkar, J. A. Rogers Recent advances in neurotechnologies with broad potential for neuroscience research. *Nature neuroscience*. 2020. Vol. 23(12). P. 1522–1536.