

**SECTION 7. MEDICAL REHABILITATION, PHYSIOTHERAPY AND SPA
TREATMENT**

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.MED.2.7.1

**7.1 Використання штучного інтелекту в фізичній реабілітації українських
військових, що втратили кінцівки**

У сучасному світі штучний інтелект (ШІ, Artificial intelligence, AI) широко використовується в різних сферах людської діяльності: розпізнавання образів (текстів, мови, графічних зображень, емоцій, запахів, шумів тощо), машинний переклад текстів різними мовами, аналітична діяльність, експертні системи, інтелектуальні системи інформаційної безпеки, робототехніка, творчість та ігри. У галузі охорони здоров'я штучний інтелект (ШІ) застосовується з метою діагностики і лікування [256]. З розвитком технологій штучного інтелекту та нейронних мереж з'явилися нові можливості для використання автоматизованих систем у фізичній терапії [257].

З початком збройної агресії РФ проти України унаслідок ракетних та артилерійських обстрілів і мінно-вибухових травм суттєво збільшилась кількість українців, які втратили кінцівку або кінцівки, більшість з них військові [258]. Втрата кінцівок може складати значні труднощі у подальшому житті людини. Це обмежує її можливості та може викликати почуття безпорадності, відчуття відірваності від суспільства і втрату власної значимості. Багато видів діяльності стають недоступними, включаючи навіть прості речі, такі як самообслуговування. Тому актуальною є фізична реабілітація українських військових за допомогою використання штучного інтелекту, що дозволить їм повернутися до повноцінного життя.

Довгий час людям, які втратили кінцівку (кінцівки), лікарі могли запропонувати протез, який хіба що за виглядом нагадує справжню кінцівку. Але розвиток науки й технологій призвів до розроблення біонічних протезів, що слугують не лише косметичній меті, а й функціонально відтворюють втрачену частину тіла, маючи подібну їй рухливість. Сучасні варіанти протезів оснащені

штучним інтелектом, за допомогою якого сприймаються сигнали від уцілілих частин руки / ноги та обробляються у такий спосіб, щоб штучний протез рухався так, як того бажає користувач [259].

Штучний інтелект (англ. artificial intelligence) – це область інформатики, яка займається розробкою інтелектуальних комп'ютерних систем, інтелектуальних комп'ютерних програм, які імітують роботу людського розуму [260]. ШІ знайшов широке застосування в сфері фізичної реабілітації, демонструючи значну ефективність у впровадженні автоматизованих реабілітаційних систем та систем біологічного зворотного зв'язку [261].

Через повномасштабну війну росії проти України щодня десятки українців отримують важкі поранення, багато військових і цивільних втрачають кінцівки. Станом на 2023 рік, за словами Ольги Рудневої, керівника центру реабілітації українських військових з ампутованими кінцівками Superhumans, з початку війни 20 тисяч українців пережили принаймні одну ампутацію, більшість з них солдати [262]. Проте, за словами Олександра Кобзарєва, керівника мережі медичних реабілітаційних центрів «Unbroken», лише у Львові минулого року лікарі провели понад 53 000 операцій (ампутацій кінцівки / кінцівок). Українські лікарі із спеціалізованих реабілітаційних клінік стверджують, що система охорони здоров'я перевантажена, і багато пацієнтів чекають на нову кінцівку – протез понад рік. Тому директор приватної клініки КСМ Костянтин Милиця із Запоріжжя, говорить, що центри, де лікують та реабілітують людей з ампутаціями, мають бути в кожному місті України: «Вони повинні бути такими ж звичайними, як стоматології» [263].

Для повернення до повноцінного життя людей з ампутаціями кінцівок знадобляться протези. Влада і лікарі запевняють, що в Україні встановлюють сучасні протези і роблять це безоплатно та якісно. І хоча офіційних цифр влада не називає, щодня постраждалих внаслідок бойових дій з ампутаціями кінцівок стає все більше [264]. Тому застосування штучного інтелекту має великий потенціал у галузі протезування. Розробка спеціальних вузлів-посередників, які обробляють сигнали від нервових закінчень людини та передають їх у процесор

для управління механікою протезів, є ключовою для подальшого розвитку протезних систем. Завдяки розвитку комп'ютерних алгоритмів і програм, люди з ампутованими кінцівками можуть значно швидше адаптуватися до використання роботизованих протезів. Штучний інтелект дозволяє пристроям навчатися, аналізувати великий обсяг інформації і приймати рішення самостійно. Це значно збільшує ефективність реабілітаційних заходів, забезпечуючи пацієнтам швидший та більш комфортний процес відновлення. Такий підхід може відкрити нові можливості для відновлення та адаптації військових, які стали жертвами російської агресії, і поліпшити їхню якість життя [265].

Американські інженери застосували технологію штучного інтелекту з метою покращення точності керування протезом руки, під'єднаним до нервової системи користувача. Завдяки цьому учасники дослідження змогли у природний спосіб керувати пальцями та кистю біонічної руки силою думки із точністю до 99% [266]. Під час навчання штучного інтелекту розпізнавати сигнали електроди в ампутованій руці під'єднували до комп'ютера, і так само, під'єднували до комп'ютера здорову руку, натягнувши на неї рукавичку з сенсорами, що обробляють рухи руки. Після цього учасники намагалися здійснити різні жести обома руками – здоровою та фантомною. Так ШІ вчився розпізнавати нервові сигнали в ампутованій руці, зіставляти їх із відповідними жестами та запускати їх відтворення біонічною рукою.

Аналогічний підхід із застосування технології ШІ використовувався в розробці програмного забезпечення для роботизованого протеза нижньої кінцівки [267]. Експеримент проводився на пацієнті з ампутованою ногою, рівень ампутації якої трохи вище коліна. Новий алгоритм дозволив цьому пацієнту самостійно ходити вже через 10 хвилин після початку використання протеза. Налаштування «розумного» протеза передбачає підбір 12 параметрів, що враховують різні властивості, включаючи жорсткість колінного суглоба і діапазон руху ноги. Цей алгоритм навчався на обмеженому обсязі даних, зібраних за допомогою спеціальних сенсорів на протезах інших пацієнтів з

ампутованими ногами. Загалом технологія продемонструвала високу ефективність у керуванні біонічним протезом.

Біонічний протез, або біоелектричний, або міоелектричний, – це такий протез, який частково чи повністю замінює втрачений орган та виконує його функції [268]. На відміну від косметичного протезу, який створює лише зовнішню схожість руки чи ноги, але не рухається, біонічний протез забезпечує згинання та рух пальців. Найпростіші біонічні протези – механічні: вони згинаються і розгинаються за рахунок м'язів, що залишилися. У складніших біонічних протезах використовують датчики, які реагують на нервові імпульси і відтворюють складніші рухи, навіть дрібну моторику. На сьогодні, вже з'явилися протези, які з'єднані з головним мозком, і відповідають на його сигнали безпосередньо, мінаючи м'язи.

Аналіз наукової літератури дав змогу зрозуміти механізм роботи біонічного протезу. Біонічний протез працює за рахунок зчитування спеціальними міо-датчиками електричного потенціалу, що виробляється під час напруги м'язових тканин руки (ноги), що збереглися. Міо-датчики, які забезпечують коректне зчитування цього електричного потенціалу, складаються із чутливих електродів. Вони передають зчитуваний сигнал у мікропроцесор – «мозок» всього протезу, який здійснює обробку отриманої інформації за допомогою комп'ютерних алгоритмів. Цей мікропроцесор відповідно до отриманого сигналу миттєво, за частки секунди, формує команди і спрямовує їх у двигуни (мотори), які й надають руху активним частинам протеза. Справа в тому, що сигнали, які головний мозок передає на м'язи за допомогою нервових волокон, мають електричну природу. І їх можна вловити, посилити та інтерпретувати потім у команди для сервоприводів. При цьому нічого в шкіру не вживлюють, тому що вона добре пропускає електричні імпульси. Так, при подачі мозку команди на відсутні пальці імпульс однаково з'являється. Міо-датчик зчитує його з поверхні шкіри кукси і передає команду далі.

На сьогодні біонічні протези руки поділяють на два типи: односхопний і багатосхопний [269]. Односхопний протез оснащений одним єдиним мотором,

який у своїй роботі забезпечує односкладове змикання-розмикання пальців кисті руки при надходженні сигналу від процесора. Багатосхопний протез має двигуна для кожного пальця руки. Залежно від послідовності імпульсів, черговості та сили пальці складаються в певний жест. Це дозволяє виконувати безліч різних хватів (жестів) та видів змикання-розмикання біонічної кисті та використовувати її для приготування страв, письма, малювання тощо. Кількість жестів та їхніх різновидів програмується в мікропроцесор протеза і залежить лише від індивідуальних переваг конкретного користувача.

Такі біонічні протези руки відновлюють рухливість та дрібну моторику, дозволяють виконувати найтоншу роботу і реагують із мінімальною затримкою. З його допомогою можна брати дрібні предмети, займатися ручною роботою (хендмейдом, писати тощо), доглядати себе. Біонічний лікоть може згинати чи розгинати руку. Завдяки цьому значна кількість видів діяльності знову стає доступною людині, яка пережила ампутацію. Виробники біонічних протезів дають 2 роки гарантії на свої розробки, але зазначають, що середній термін експлуатації такого протеза складає 4-5 років, але його можна продовжити за рахунок бережливого використання. Проте є ризик, що протез може морально застаріти. Слід зазначити, що біонічний протез все ж має кілька недоліків: він досить дорогий, потребує періодичної підзарядки і боїться пилу та води – правда, дощ для нього не перешкода, але приймати душ або плавати з ним все-таки не можна. Також такі протези не рекомендують використовувати для важкої фізичної роботи, підйомів ваги понад 60 кілограмів, бо це може пошкодити механізм або травмувати кукси. У біонічній кисті руки сила стиснення становить 95 кілограм, але вона не розрахована на грубі види роботи. Деякі біонічні протези дозволяють зняти рухливу кисть і вкрутити в це кріплення гак або іншу насадку. У гака велика сила стиснення, і він розрахований на силові дії, наприклад, важкий ремонт, робота з перфоратором тощо.

Біонічний протез ноги забезпечує максимальний контроль руху [270]. Завдяки біонічному вузлу гомілковостопного суглоба, стопа може рухатися вгору та вниз, як здорова. Це допомагає людині почуватися безпечніше і краще

контролювати протез, коли вона піднімається або спускається сходами, йде по нерівній поверхні. Біонічне коліно може виконувати згинання, розгинання. Використання біонічного протезу дозволяє зробити ходу людини природнішою. Це зменшує дискомфорт. Людина менше втомлюється, а навантаження на попереk розподіляється рівномірно. Біонічний протез зменшує ризик травмування та виникнення вторинних травм: сколіозу та інших порушень хребта, постави.

Аналіз літератури підтвердив, що біонічні протезні системи, що активно розробляються, представляють собою перспективний напрям відтворення рухових функцій у людей з ампутаціями. Їхні можливості у відтворенні рухів відкривають необмежений потенціал застосування. Засновані на принципах взаємодії з нервовою системою та широкому функціональному спектрі, такі системи, як протез Biom від компанії Iwalk, здатні забезпечити вільне пересування та виконання різноманітних рухів, включаючи біг, стрибки та танці. Вони дозволяють виконувати рухи анатомічно і фізіологічно природно, що відрізняє їх від класичних небіонічних протезних систем [271].

Більшість компаній, що розробляють біонічні протези, закордонні. Проте, і в Україні є розробники високотехнологічного протезного обладнання. Так український стартап Esper Bionics розробив біонічну руку з електричними датчиками, які дозволяють сигналам м'язів ефективно рухати протезом. Esper Hand – роботизована рухома кисть із 288 деталей. Протез керується набором від двох до 16 електроміографічних датчиків, які кріпляться на передпліччя, плече чи груди людини, зчитують імпульси від м'язів і передають «команди» роботу. Найважливіша складова роботи – це програмне забезпечення з алгоритмами, що аналізують зібрані дані й постійно вдосконалюють керування. Протез навчається, підлаштовується під поведінку користувача [272]. Компанія Esper Bionics виготовляє і встановлює разом з клініками протези верхніх кінцівок поки у невеликій кількості, а також навчає українських фахівців. У компанії відзначають великий інтерес та велику кількість ініціатив у галузі протезування в Україні. Не зважаючи на низку проблем у сфері протезування в Україні (брак

сучасних швидких технологій з виготовлення куксоприймача, кваліфікованих лікарів-реабілітологів), операційний директор компанії Анна Белеванцева зазначає, що пріоритетом їхньої роботи є «можливість забезпечити постраждалих українських військових і цивільних хорошим протезом і підтримувати їх упродовж користування нашим девайсом». Співзасновник компанії Esper Bionics Дмитро Газда має великі амбіції: через два роки буде готовий повноцінний протез ноги, через п'ять – перші імпланти для вдосконалення людського тіла. Засновники Esper Bionics роблять ставку на розвиток розумних імплантів – вживлення електроніки не в людський мозок, над чим працює Ілон Маск, а в периферійну нервову систему та біля м'язів [272].

З огляду на зазначене, протезування дарує пацієнтові з ампутацією кінцівки (кінцівок) радість повноцінного життя. Проте, слід зауважити, що багато що залежить не від технічної якості самого протезу, а від фізичних можливостей і фізичної підготовки пацієнта з ампутованою кінцівкою (кінцівками) [273]. Щоб почати користуватися протезом та знову навчитися ходити, здійснювати рухи верхніх кінцівок важливо розвивати черевний прес, м'язи спини, здорової та пошкодженої руки чи ноги. Під наглядом та керуванням фізичного терапевта пацієнту після хірургічної ампутації слід виконувати вправи з легкими гирями, еластичною стрічкою або еспандером на розвиток сили. Поступово вправи слід ускладнювати та виконувати сидячи на стільці або стоячи спочатку разом з фізичним терапевтом, а потім вже самостійно. Час, за який пацієнт навчиться керувати протезом руки чи ходити на протезі, залежить від рівня ампутації, а також від його витривалості та рухової активності, функціонування м'язів кукси руки / ноги і здорової руки / ноги, координації. Перші кроки пацієнт з протезом ноги робить за допомогою брусів в якості опори. Головне на цьому етапі – навчитися переносу маси тіла на протез. Перша вправа, яку виконують пацієнти – ходьба приставним кроком боком. Для цього потрібно встати рівно, розподіливши вагу на обидві ноги. Під час виконання ходьби не варто дивитися вниз, повертати тазовий пояс або різко переносити вагу на здорову ногу. При переміщенні пацієнт повинен триматися за бруси.

Наступним кроком є ходьба в 4 або в 2 кроки з опорою на два бруса. У звичайних умовах чергування рук і ніг при ходьбі здійснюється по діагоналі, і дана вправа покликана відпрацювати цей шаблон поведінки заново як найприродніший. При ходьбі в 4 кроки у кожен момент у пацієнта є не менше 4 точок опори, при переході на 2 кроки таких точок в кожен момент стає дві. Ця техніка отримує розвиток вже без брусів, з двома канадськими тростинами – тобто, тростини з упором для передпліччя. Важливо пам'ятати, що у всіх вправах перший крок здійснюється із збереженої ноги. Ходьбу по сходах і пандусах тренують спочатку приставним кроком – тобто, роблячи крок здоровою ногою і переносячи до неї протез, як би підтягуючи за здоровою ногою – куксу з протезом. Також пацієнтові з протезом важливо тренувати свій вестибулярний апарат і позбавлятися від почуття страху падіння через втрату рівноваги.

Сучасні протези справді можуть повернути пацієнта з ампутацією кінцівки (кінцівок) до повноцінного життя, оскільки вони використовують штучний інтелект. У біонічного протеза найвищий рівень функціональності. Протези рук більш зручні в побуті, повертають людині можливість не лише взяти предмет, а й відновити дрібну моторику: застібнути гудзик, взяти ручку тощо. Біонічні протези ніг роблять ходіння природнішим та легшим. Вони дозволяють зберегти ходу, яка притаманна людині. З такими протезами легше долати сходи, бордюри. Під керівництвом фізичного терапевта, які забезпечать індивідуальний підхід до українських військових із протезами, збільшуються можливості для працевлаштування та відчуття радості життя.