

**temat: Zaawansowane urządzenie do nauki chodzenia z technologią end-effector
(G-EO)**

autor: Wiktoia Leanrt

ZNACZENIE REHABILITACJI CHODU

Zaburzenia chodu należą do najczęstszych konsekwencji chorób neurologicznych i stanowią jeden z głównych powodów utraty samodzielności pacjentów. Największą grupę w tym ujęciu stanowią pacjenci po udarze mózgu.

Dane epidemiologiczne pokazują wyraźnie, że około 70 do 80 procent pacjentów po udarze doświadcza istotnych problemów z lokomocją, a nawet 20 procent z nich pozostaje zależnych od wózka inwalidzkiego. Problemy te dotyczą oczywiście również pacjentów po urazach rdzenia kręgowego, z chorobą Parkinsona czy stwardnieniem rozsianym.

Głównym celem rehabilitacji neurologicznej jest odzyskanie zdolności samodzielnego poruszania się. Współczesna neurorehabilitacja opiera się na wykorzystaniu mechanizmów neuroplastyczności mózgu. Badania pokazują, że to właśnie intensywny, powtarzalny i zadaniowo ukierunkowany trening chodu może prowadzić do reorganizacji układu nerwowego i trwałej poprawy funkcjonalnej. Dlatego obecnie coraz większe znaczenie zyskują roboty rehabilitacyjne, które umożliwiają realizację bardzo dużej liczby precyzyjnych powtórzeń w trakcie zaledwie jednej sesji terapeutycznej.

WYZWANIA WSPÓŁCZESNEJ REHABILITACJI

Największym wyzwaniem współczesnej rehabilitacji jest skuteczne połączenie nowoczesnych technologii z terapią ukierunkowaną na jakość ruchu oraz indywidualne potrzeby pacjenta.

Współczesna rehabilitacja chodu stoi obecnie przed trzema głównymi wyzwaniami. Pierwszym z nich jest właściwa integracja zaawansowanej robotyki. Technologie takie jak systemy end-effector czy egzoszkielety potężnie zwiększają intensywność treningu i liczbę powtórzeń, jednak badania dowodzą, że nie zawsze automatycznie przekłada się to na lepszą jakość wzorca chodu w porównaniu z intensywną terapią konwencjonalną. Drugim kluczowym wyzwaniem jest personalizacja terapii i przełamywanie barier psychospołecznych. Pacjenci często zmagają się z lękiem przed upadkiem, ograniczeniami środowiskowymi oraz problemami natury emocjonalnej, dlatego rehabilitacja musi być dostosowana nie tylko do poprawy samych funkcji ruchowych, ale również do ogólnej poprawy jakości życia. Trzecim, niezwykle ważnym obszarem, są pacjenci z ciężkimi uszkodzeniami mózgu, głębokimi zaburzeniami świadomości i funkcji poznawczych. W tej grupie szczególnie trudne pozostają obiektywna ocena postępów terapii oraz zapewnienie maksymalnego bezpieczeństwa podczas treningu z użyciem robotów.

SYSTEM G-EO INNOWACJA W ROBOTYCE

System G-EO to innowacyjne, nowoczesne urządzenie robotyczne typu end-effector, stosowane z powodzeniem w rehabilitacji pacjentów z zaburzeniami chodu. W przeciwieństwie do klasycznych egzoszkieleatów, urządzenie to nie prowadzi całej kończyny, lecz wykorzystuje ruchome platformy pod stopami pacjenta, co pozwala na dużo bardziej fizjologiczne odwzorowanie wzorca chodu.

Do kluczowych cech tej innowacji należą wszechstronność trybów pracy, specyficzność zadań i zintegrowany biofeedback. Niezwykle dużą zaletą systemu jest możliwość symulacji różnych warunków lokomocji, takich jak chód po płaskim podłożu, wchodzenie po schodach czy poruszanie się po pochyłościach.

Urządzenie oferuje różne tryby pracy - od całkowicie pasywnego do w pełni aktywnego, dzięki czemu terapia może być idealnie dostosowana do aktualnego poziomu funkcjonalnego pacjenta. Istotnym elementem jest także moduł biofeedbacku, który zauważalnie zwiększa zaangażowanie pacjenta i potęguje proces uczenia motorycznego. Aktualne doniesienia naukowe zgodnie wskazują, że systemy typu end-effector są bardzo skutecznym uzupełnieniem klasycznej fizjoterapii.

EFEKTYWNOŚĆ OPARTA NA FAKTACH

Aby potwierdzić te słowa konkretnymi dowodami, przytoczmy publikację z maja 2025 roku. Było to badanie kliniczno-kontrolne, które miało na celu ocenę, czy pacjenci z przewlekłym udarem mózgu mogą odnieść wymierne korzyści z robotycznego treningu chodu przy użyciu urządzenia typu end-effector. Wyniki jednoznacznie podkreślają ogromną wartość tego typu interwencji w procesie pobudzania neuroplastyczności na późniejszych etapach rehabilitacji.

Kolejne interesujące badanie to opis przypadku, w którym oceniano ostre efekty pojedynczej sesji treningu chodu z wykorzystaniem systemu G-EO. U pacjenta po udarze mózgu zastosowano innowacyjne podejście – termografię w podczerwieni, aby ocenić zmiany temperatury skóry kończyn dolnych. Przed rozpoczęciem treningu stwierdzono u niego wyraźną asymetrię termiczną wynoszącą ponad 1,2 stopnia Celsjusza, co było dowodem na istotne zaburzenia mikrokrążenia po stronie porażonej. Bezpośrednio po wysiłku asymetria ta wzrosła, co potraktowano jako fizjologiczną reakcją na obciążenie organizmu. Jednak najciekawszy, kluczowy wynik zanotowano po 30 minutach odpoczynku – różnica temperatur spadła wtedy do około 0,5 stopnia, a lokalnie udało się osiągnąć wartości bliskie fizjologicznej symetrii. Wnioski z tego badania sugerują, że zrobotyzowany trening chodu wpływa pozytywnie nie tylko na samą funkcję ruchową, ale również stymuluje mikrokrążenie i termoregulację kończyn. Pokazuje to również potencjał termografii jako narzędzia do obiektywnej i całkowicie nieinwazyjnej oceny efektów naszej rehabilitacji.

Natomiast randomizowane badanie kliniczne porównujące skuteczność treningu robotycznego z wykorzystaniem systemu end-effector do klasycznego treningu na bieżni u pacjentów z chorobą Parkinsona. Do badania włączono 96 pacjentów w średnim i cięższym stadium choroby, którzy zostali losowo podzieleni na dwie grupy. Każdy pacjent odbył 20 sesji treningowych po 45 minut. Wyniki pokazały, że obie formy terapii są skuteczne i prowadzą do istotnej poprawy funkcji chodu, wydajności oraz jakości życia. Jednak trening

robotyczny przyniósł większą poprawę wydolności chodu — około 18 procent w porównaniu do 12 procent w grupie bieżni. Najważniejszy wniosek dotyczy jednak pacjentów z zamrożeniem chodu. W tej grupie terapia robotyczna była wyraźnie bardziej efektywna i prowadziła do lepszej redukcji epizodów FOG. W praktyce klinicznej oznacza to, że choć obie metody są skuteczne, pacjenci z nasilonym FOG mogą szczególnie skorzystać z treningu robotycznego. Badanie to potwierdza wszechstronność tego podejścia, ukazując, że systemy te odnajdują znakomite zastosowanie w terapii pacjentów z procesami neurodegeneracyjnymi.

PORÓWNANIE END-EFFECTORA I EGZOSZKIELETU

Porównując systemy end-effector i egzoszkielety, należy zwrócić uwagę przede wszystkim na różnice w mechanizmie działania i zastosowaniu klinicznym. Egzoszkielety zapewniają pełne wsparcie i stabilizację, co czyni je szczególnie przydatnymi we wczesnych etapach rehabilitacji, kiedy pacjent nie ma jeszcze kontroli motorycznej lub wymaga pełnego odciążenia.

Natomiast systemy end-effector, takie jak G-EO, wymagają większego aktywnego udziału pacjenta, szczególnie w zakresie stabilizacji tułowia i kontroli posturalnej. To właśnie to zwiększone zaangażowanie przekłada się na silniejszą stymulację neuroplastyczności oraz lepsze efekty w zakresie równowagi i funkcjonalnego chodu. W praktyce klinicznej nie chodzi więc o wybór jednej technologii zamiast drugiej, ale o ich właściwe zastosowanie w odpowiednim etapie rehabilitacji pacjenta

UNIKALNOŚĆ SYSTEMU G-EO

Unikalność systemu G-EO polega przede wszystkim na tym, że łączy kilka kluczowych elementów skutecznej neurorehabilitacji w jednym urządzeniu. Po pierwsze, umożliwia bardzo precyzyjny trening całego cyklu chodu, w tym fazy podporu i wymachu, z możliwością dokładnego dostosowania parametrów do pacjenta. Po drugie, daje możliwość treningu w warunkach zadaniowych, czyli nie tylko chodu po płaskim podłożu, ale również po schodach czy powierzchniach nachylonych, co ma ogromne znaczenie dla transferu do codziennego funkcjonowania.

Kolejnym kluczowym elementem jest intensywność terapii. W jednej sesji pacjent może wykonać setki, a nawet tysiące kroków, co ma fundamentalne znaczenie dla neuroplastyczności. Dodatkowo system wymusza aktywne zaangażowanie pacjenta, szczególnie w zakresie kontroli tułowia i równowagi, co zwiększa efektywność treningu funkcjonalnego. W efekcie G-EO nie jest jedynie urządzeniem do odtwarzania chodu, ale narzędziem do jego aktywnego uczenia w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

BIOFEEDBACK I MOTYWACJA

Jednym z kluczowych elementów systemów takich jak G-EO jest biofeedback, czyli informacja zwrotna przekazywana pacjentowi w czasie rzeczywistym. Pacjent nie tylko wykonuje ruch, ale również otrzymuje natychmiastową informację o jakości swojego chodu, co pozwala mu aktywnie korygować wzorzec ruchowy. To ma bezpośrednie znaczenie dla procesów uczenia motorycznego oraz neuroplastyczności, ponieważ układ nerwowy uczy się na podstawie błędów i ich korekcji.

Drugim ważnym aspektem jest wpływ na motywację. Pacjent przestaje być biernym odbiorcą terapii, a staje się jej aktywnym uczestnikiem, co zwiększa zaangażowanie i regularność treningu. W praktyce klinicznej przekłada się to na większą adherencję do terapii oraz lepsze utrwalenie efektów funkcjonalnych

OPTIMALIZACJA PRACY PERSONELU

Jednym z istotnych, ale często pomijanych aspektów rehabilitacji robotycznej jest wpływ na organizację pracy personelu. Badania pokazują, że systemy takie jak robotyczne trenażery chodu pozwalają na znaczną redukcję obciążenia fizycznego terapeutów, ponieważ przejmują najbardziej powtarzalne i wymagające komponenty terapii. Dzięki temu terapeuta może skupić się na kontroli jakości ruchu, korekcji postawy oraz nadzorze nad pacjentem, zamiast na manualnym prowadzeniu kończyn. Dodatkowo umożliwia to standaryzację terapii oraz zwiększenie liczby powtórzeń w krótszym czasie, co jest kluczowe dla neuroplastyczności.

W literaturze podkreśla się również, że wdrożenie robotycznych systemów jest wykonalne w warunkach klinicznych i może poprawiać efektywność organizacyjną całego procesu rehabilitacji, choć wymaga adaptacji zespołu i infrastruktury

WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Urządzenia typu end-effector pozwalają na wysoce specyficzny trening funkcjonalny w warunkach zorientowanych na konkretne zadanie ruchowe, przy zachowaniu dużej intensywności, powtarzalności oraz ciągłego aktywnego zaangażowania chorego, motywowanego poprzez biofeedback. Jednocześnie optymalizują one czas i pracę personelu medycznego, wpisując się w przyszłość zintegrowanej ze sztuczną inteligencją neurorehabilitacji.

Możemy zatem wyciągnąć jasne wnioski: robotyka znacząco zwiększa efektywność neurorehabilitacji, a intensywny trening niepodważalnie wspiera powrót funkcji dzięki neuroplastyczności. System G-EO doskonale wypełnia te założenia, umożliwiając funkcjonalny i zadaniowy trening. Wkraczamy w erę, gdzie technologie i AI otworzą nam drogę do jeszcze bardziej spersonalizowanych terapii. Należy jednak na sam koniec z całą mocą podkreślić: żadna technologia nie zastąpi człowieka - kluczowe i najważniejsze w procesie leczenia zawsze pozostanie indywidualne podejście do pacjenta.

bibliografia:

Mehrholtz J, Thomas S, Kugler J, Pohl M, Elsner B. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2020 Oct 22;10(10):CD006185. doi: 10.1002/14651858.CD006185.pub5. Update in: *Cochrane Database Syst Rev.* 2025 May 14;5:CD006185. doi: 10.1002/14651858.CD006185.pub6. PMID: 33091160; PMCID: PMC8189995.

Ploumis A, Gkatziani P, Tsingeli P, Ntritsos G, Dimopoulos D, Athanasiou A, Kefalas A, Varvarousis DN. Assessment of the Robotic Devices for Overground Gait Training in Poststroke Patient: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Phys Med Rehabil.* 2026 Jan 1;105(1):12-19. doi: 10.1097/PHM.0000000000002793. Epub 2025 Jul 2. PMID: 40601918.

Wall A, Palmcrantz S, Borg J, Gutierrez-Farewik EM. Gait pattern after electromechanically-assisted gait training with the Hybrid Assistive Limb and conventional gait training in sub-acute stroke rehabilitation-A subsample from a randomized controlled trial. *Front Neurol.* 2023 Oct 11;14:1244287. doi: 10.3389/fneur.2023.1244287. PMID: 37885482; PMCID: PMC10598624

Mitsue S, Ogawa T, Minamikawa Y, Shimada S, Morioka S. Perceived importance of walking among hospitalized patients with stroke: a thematic analysis. *Front Neurol.* 2026 Feb 19;17:1742132. doi: 10.3389/fneur.2026.1742132. PMID: 41798810; PMCID: PMC12960134.

Wagner V, Rud Sørensen J, Kruuse C, Poulsen I, Biering-Sørensen F, Riberholt CG. Robot-assisted gait training for individuals with severe acquired brain injury: a scoping review. *Brain Inj.* 2025 Aug;39(10):809-819. doi: 10.1080/02699052.2025.2490285. Epub 2025 May 5. PMID: 40323792.

Bonanno M, De Pasquale P, Lombardo Facciale A, Dauccio B, De Luca R, Quartarone A, Calabrò RS. May Patients with Chronic Stroke Benefit from Robotic Gait Training with an End-Effector? A Case-Control Study. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2025 May 6;10(2):161. doi: 10.3390/jfmk10020161. PMID: 40407445; PMCID: PMC12101270.

Alfieri FM, Dias CDS, Dos Santos ACA, Battistella LR. Acute Effect of Robotic Therapy (G-EO System™) on the Lower Limb Temperature Distribution of a Patient with Stroke Sequelae. *Case Rep Neurol Med.* 2019 May 8;2019:8408492. doi: 10.1155/2019/8408492. PMID: 31205792; PMCID: PMC6530205.

Capecchi M, Pournajaf S, Galafate D, Sale P, Le Pera D, Goffredo M, De Pandis MF, Andrenelli E, Pennacchioni M, Ceravolo MG, Franceschini M. Clinical effects of robot-assisted gait training and treadmill training for Parkinson's disease. A randomized

controlled trial. *Ann Phys Rehabil Med*. 2019 Sep;62(5):303-312. doi: 10.1016/j.rehab.2019.06.016. Epub 2019 Aug 1. PMID: 31377382.

Molteni F, Gasperini G, Cannaviello G, Guanziroli E. Exoskeleton and End-Effector Robots for Upper and Lower Limbs Rehabilitation: Narrative Review. *PM R*. 2018 Sep;10(9 Suppl 2):S174-S188. doi: 10.1016/j.pmrj.2018.06.005. PMID: 30269804.

Bonanno M, Maggio MG, Ciatto L, De Luca R, Quartarone A, Alibrandi A, Calabrò RS. Can Robotic Gait Training with End Effectors Improve Lower-Limb Functions in Patients Affected by Multiple Sclerosis? Results from a Retrospective Case-Control Study. *J Clin Med*. 2024 Mar 7;13(6):1545. doi: 10.3390/jcm13061545. PMID: 38541771; PMCID: PMC10970976.