

Prof. dr hab. Józef Opara

Recenzja rozprawy doktorskiej lek. Bogumiła Korczyńskiego
„ROLA TERAPII ROBOTYCZNEJ W REHABILITACJI PACJENTÓW
PO URAZIE RDZENIA KRĘGOWEGO”

W XXI można obserwować rosnące zastosowanie robotów w rehabilitacji. Robotyka rehabilitacyjna obejmuje rozwój produkcji urządzeń robotycznych dostosowanych do wspomagania różnych funkcji sensomotorycznych, rozwój różnorodnych schematów wspomagania treningu terapeutycznego, i ocenę sprawności sensomotorycznej. Roboty stosowane w rehabilitacji można podzielić na dwie grupy: oparte na efektorach końcowych i egzoszkielety. Każdy z tych dwóch systemów ma swoje zalety i ograniczenia. System Lokomat składa się z bieżni ruchomej, częściowego odciążenia ciała, czterech sterowanych komputerowo ortez elektrycznych sterujących ruchami w stawach biodrowych i kolanowych i systemu kontroli zapewniającego sprzężenie zwrotne (biofeedback). Można zaprogramować wzorzec chodu pacjenta, określić prędkość i zakres ruchu dla stawów biodrowych i kolanowych, zaś wielkość siły zastosowanej przez pacjenta w trakcie chodu monitorowana jest za pomocą zestawu czujników umieszczonych w elementach systemu ortez dynamicznych. Wiele egzoszkieletów umożliwia pacjentowi wstawanie, siadanie i stabilizację tułowia, chodzenie, w niektórych możliwe jest wchodzenie po schodach i schodzenie po schodach. Komputer zazwyczaj pozwala zaprogramować wzorzec chodu pacjenta, określić prędkość i zakres ruchu dla stawów biodrowych i kolanowych. Wielkość siły zastosowanej przez pacjenta w trakcie chodu przez poszczególne segmenty kończyny dolnej (udo, podudzie) monitorowana jest za pomocą zestawu czujników umieszczonych w elementach systemu ortez. Systemy z efektorami końcowymi są łatwiejsze w konfiguracji i zaadaptowaniu dla konkretnego pacjenta. Zastosowanie egzoszkieletów jest bardziej czasochłonne, pacjent musi utrzymać ciężar pancerza, ale w zamian za to prowadzą one do zwiększenia siły mięśniowej i wytrzymałości.

Rozprawa doktorska lek. Bogumiła Korczyńskiego liczy 75 stron maszynopisu napisanego czcionką Times New Roman formatu 11, z odstępami 1,5 wiersza. Układ pracy jest nietypowy - praca podzielona jest na 13 rozdziałów: wykaz skrótów, wykaz publikacji stanowiących pracę doktorską, wstęp, cel pracy, materiał i metodyka, wyniki, dyskusja, wnioski, piśmiennictwo, streszczenie polskie i angielskie (streszczenie angielskie nie zawiera tytułu angielskiego) i aneks. Spis piśmiennictwa zawiera zaledwie 34 pozycje, ułożone według kolejności cytowania w tekście, w większości pochodzących z drugiej dekady XXI wieku.

Dołączono kopie artykułów własnych i załączniki prezentujące zastosowane narzędzia badawcze. Streszczenia mogłyby zawierać więcej konkretnych informacji na temat zbadanych pacjentów.

W przydługim wstępie Autor szczegółowo opisał zagadnienia związane z urazami rdzenia kręgowego (URK), podano definicję, epidemiologię i przyczyny, podziały urazów rdzenia kręgowego, diagnostykę, objawy, leczenie URK i roboty stosowane w rehabilitacji. Tekst napisany mało naukowym językiem, z błędami (np. Ludwig Gutmann urodził się w Toszku na Śląsku Opolskim, Skala Barthel została opisana w 1965 roku, a nie w latach 50. itp.).

Celem prac lek. Bogumiła Korczyńskiego było: 1. Ocena efektywności treningu chodu z wykorzystaniem robotyki w porównaniu z rehabilitacją konwencjonalną z użyciem dynamicznego parapodium u pacjentów z URK. 2. Ocena wpływu terapii robotycznej na funkcjonowanie oraz poprawę motoryczną mierzoną u pacjentów po urazie rdzenia za pomocą zwalidowanych skal uszkodzeń i funkcjonalnych. 3. Zbadanie skuteczności (chyba wpływu) rehabilitacji robotycznej na zaburzenia oddychania i snu występujące u pacjentów z URK. 4. Ocena przydatności powierzchniowej EMG (sEMG) do porównania efektów rehabilitacji robotycznej z wynikami rehabilitacji bez użycia robotów oraz powiązania zmian w sEMG ze stanem klinicznym ocenianym za pomocą skal funkcjonalnych, uszkodzeń i testów siły mięśniowej.

Materiał i metodyka. W pracy przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w latach 2018-2021 w ramach projektu badawczo - rozwojowego zatytułowanego: „Zaawansowany program rehabilitacji pacjentów po urazie rdzenia kręgowego z wykorzystaniem robotów rehabilitacyjnych”, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój. Działania 1.1.1, współfinansowanego ze środków NCBiR. Było to badanie jednośrodkowe z pojedynczą ślepą próbą. Badanie uzyskało akceptację Komisji Bioetycznej Okręgowej Izby Lekarskiej w Szczecinie (Nr OIL-SZ/MF/KB/452/05/ 07.2018; Nr OILSZ/MF/KB/450/UKP/10/2018)(przypisek recenzenta: po co dwie zgody?). Wyniki badań przedstawiono w cyklu trzech artykułów będących podstawą niniejszej rozprawy doktorskiej: 1). Beata Tarnacka, Bogumił Korczyński, Justyna Frasuńska. Impact of Robotic-Assisted Gait Training in Subacute Spinal Cord Injury Patients on Outcome Measure. *Diagnostics* 2023; 13: 1-15. 2). Bogumił Korczyński, Beata Tarnacka, Polysomnography in patients with spinal cord injury who underwent robotic assisted gait training. *Polish Annals of Medicine - Rocznik Medyczny* 2023; 30: 114-120. 3). Bogumił Korczyński, Justyna Frasuńska, Anna Poświata, Anna Siemianowicz, Michał Mikulski, Beata Tarnacka. Surface electromyography vs clinical

outcome measures after robot-assisted gait training in patients with spinal cord injury after post-acute phase of rehabilitation. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 2024: 1-10.

Do badania włączono 105 pacjentów spełniających kryteria włączenia, w niedookreślonym wieku (brak tabeli zbiorczej), w okresie od trzech miesięcy do dwóch lat po URK, w tym 39 z całkowitym uszkodzeniem rdzenia – stopień A w skali Frenkla, i 64 z częściowym uszkodzeniem rdzenia – stopień B, C i D w skali ASIA (czy $39+64=105$?). Wśród przeciwwskazań wymieniono m.in. „wysoki poziom uszkodzenia – tetraplegia” (nieprecyzyjne), „bardzo niski poziom urazu kręgosłupa lędźwiowego” (nieprecyzyjne), „intensywna spastyczność - 4 punkty w skali Ashwortha”. W opisie materiału brak danych na temat spastyczności.

Materiały i metody. Badanych podzielono na dwie grupy – w pierwszej (S1), nazwanej grupą eksperymentalną, zastosowano trening chodu wspomagany robotem (RAGT) znalazły się 72 osoby, w drugiej, nazwanej grupą kontrolną (S0), zastosowano naukę chodu za pomocą parapodium dynamicznego (DPT), znalazły się 33 osoby. W grupie S1 było 14 kobiet i 58 mężczyzn, z tego 27 (37.50%) kwalifikowało się do stopnia A. W grupie S0 (n=33) było 15 kobiet i 14 mężczyzn, z tego 14 (42.42%) kwalifikowało się do stopnia A. Wszyscy badani przeszli trening chodu z sześcioma sesjami treningowymi tygodniowo przez siedem tygodni, z tygodniową przerwą. Grupę S1 podzielono na dwie podgrupy: w pierwszej chorzy ćwiczyli na urządzeniu Lokomat-Pro (robot oparty na efektorach końcowych), w drugiej z egzozkieletem EKSO-GT. Dodatkowo chorzy mieli ćwiczenia z wykorzystaniem metody proprioceptywnego torowania nerwowo-mięśniowego (PNF?), masaż klasyczny, hydromasaże, elektrostymulację (nie podano jaką metodą), laseroterapię i suche kąpiele w dwutlenku węgla.

Jako narzędzia badawcze wykorzystano dwie spośród pięciu części klasyfikacji American Spinal Cord Injury Association (ASIA): skalę uszkodzeń (AIS) i punktację ruchową (Motor Score – MS) dla kończyny dolnej LEMS; Spinal Cord Independence Measure w wersji III (SCIM-III), Walking Index for Spinal Cord Injury w wersji II (WISCI-II) i Barthel Index (BI).

Wyniki. Pacjenci z niepełnym uszkodzeniem rdzenia (stopień B, C i D) z grupy S1 osiągnęli istotnie statystycznie większą poprawę w wynikach MS [2,58 (SE 1,21, $p < 0,05$)] i WISCI-II [3,07 (SE 1,02, $p < 0,01$)] w porównaniu z pacjentami przydzielonymi do grupy S0. Nie zaobserwowano różnic w poprawie między stopniami AIS (A do B do C do D). Stwierdzono nieistotną statystycznie poprawę między grupami w przypadku SCIM-III i BI. W grupie S1 stwierdzono znaczącą poprawę parametrów funkcjonalnych chodu w porównaniu z grupą S0. RAGT jest ważną opcją leczenia u pacjentów z SCI w fazie podostrej. Nie wiadomo

skąd wziął się wniosek, że DPT nie powinno być zalecane pacjentom z niepełnym uszkodzeniem rdzenia stopnia C. (Na marginesie: jak to się stało że ani redaktor ani recenzenci Diagnostics nie zauważyli, że rubryka „Age” u dołu tabeli 1 jest pusta?).

Na podstawie przeprowadzonych badań w pierwszym artykule wyciągnięto wnioski końcowe nie zawsze wynikające z pracy: „RAGT jest przydatną terapią chodu, zwłaszcza w połączeniu z konwencjonalną rehabilitacją u pacjentów z URK. Znacznie poprawia parametry funkcjonalne i lokomotoryczne (u pacjentów z niepełnym uszkodzeniem rdzenia). DPT nie powinno być zalecane pacjentom z niepełnym uszkodzeniem rdzenia, zwłaszcza AIS-C; tacy pacjenci powinni być kierowani na programy rehabilitacyjne RAGT”. W pracy tej nie znalazło się porównanie wyników w podgrupach grupy S1.

W drugiej z cyklu prac – w Polish Annals of Medicine – przedstawiono wyniki badania polisomnograficznego przeprowadzonego u 34 pacjentów przed i po zakończeniu 7-tygodniowego programu rehabilitacji. Porównanie wszystkich parametrów polisomnograficznych przed i po treningu z RAGT wykazało spadek wszystkich parametrów polisomnograficznych (wskaźnik bezdechu - hipopnei – AHI; wynik osiągnął wartość statystycznie istotną – $P < 0,02$). Wniosek: terapia RAGT powinna być rozważana jako opcja terapeutyczna w celu redukcji SDB u pacjentów po URK nie wynika z celu pracy.

Trzecią publikację z Annals of Agricultural and Environmental Medicine – sygnowało sześcioro autorów. Przedstawiono w niej zmianę zapisu powierzchniowej elektromiografii (sEMG) u 64 pacjentów z niepełnym uszkodzeniem rdzenia. Uzyskane pomiary to uśredniona amplituda szczytowa mięśni (AMA) w sEMG i maksymalny moment obrotowy (MT) na aparacie Luna (test siły mięśni) i skalach funkcjonalnych. Statystycznie istotne różnice między S0 i S1 zaobserwowano tylko w przypadku zmiany wartości MT w stawie kolanowym podczas prostowania i dodatnio skorelowano ze skalą ASI, wynikiem motorycznym kończyn dolnych i skalami funkcjonalnymi. Statystycznie zwiększona wartość wskaźnika chodzenia dla urazów rdzenia kręgowego (WISCI-II) i wyniku motorycznego po rehabilitacji w stosunku do wartości początkowej, była obserwowana po RAGT w porównaniu z pacjentami z DPT, ale AMA nie różniło się pomiędzy pacjentami. Ta praca wydaje się najbardziej wartościowa.

Opinia recenzenta: w recenzowanej pracy kryteria włączenia i wykluczenia nie budzą większych zastrzeżeń, chociaż różnią się w poszczególnych artykułach. Przeciwwskazania typu „wysoki poziom uszkodzenia – tetraplegia”, czy „bardzo niski poziom urazu kręgosłupa lędźwiowego” trzeba doprecyzować. Co do spastyczności: w jednej publikacji przeciwwskazaniem była „intensywna spastyczność - 4 punkty w skali Ashwortha”, zaś w innej stopień 3 w skali Ashwortha. Brakuje podstawowej tabeli nr 1 ze zbiorczymi danymi dotyczącymi wieku,

płci, poziomu uszkodzenia rdzenia, stopnia uszkodzenia, czasu od urazu, spastyczności, wyników wyjściowych i końcowych w skalach WISCI-II, SCIM-III, MS i Barthel.

Autorzy nie wykorzystali okazji do porównania wyników treningu chodu z zastosowaniem RAGT między podgrupami grupy S1 – ćwiczących na urządzeniu Lokomat i ćwiczących z zastosowaniem egzoszkieletu. Można też było wyliczyć zależności uzyskanych wyników od wieku, płci i masy ciała. Dziwi brak szerszego tłumaczenia wyników opublikowanych badań na język polski - Autor ograniczył się do streszczeń, bez tabel. Prace mogły prezentować wyższy poziom, gdyby badania zostały lepiej zaprojektowane i publikacje lepiej napisane. Można było podarować sobie użycie skali SCIMT III, skoro wykluczano tetraplegików, natomiast należało wypełnić pełną klasyfikację ASIA, tj. wszystkie z jej pięciu części: jednolitych pojęć podstawowych, ilościowej i jakościowej oceny zaburzeń ruchowych i czuciowych, skali uszkodzeń (zmodyfikowanej skali Frankela) i punktowej oceny niezależności funkcjonalnej w skali Functional Independence Measure (FIM). Sprostowania wymaga błąd na stronie 22 – w określeniu celu 2 pojawiła się nieprawdziwa informacja, w rzeczywistości skale WISCI-II i SCIM-III nie przeszły walidacji dla kultury języka polskiego, a nawet skala Barthel nie przeszła polskiej walidacji kulturowej. W rozprawie razi również niefrasobliwość nazewnicza – wymienne używanie określeń „rehabilitacja”, „terapia”, czy „trening chodu”. W spisie piśmiennictwa (zbyt skąpym) brakuje kilku nowszych prac, dla przykładu:

1. Bin L, Wang X, Jiatong H, Donghua F, Qiang W, Yingchao S, Yiming M, Yong M. The effect of robot-assisted gait training for patients with spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *Front Neurosci.* 2023;17:1252651.
2. Rodríguez-Fernández A., Lobo-Prat J., Font-Llagunes J.M. Systematic review on wearable lower-limb exoskeletons for gait training in neuromuscular impairments. *J. Neuroeng. Rehabil.* 2021;18:22.
3. Zhang L., Lin F., Sun L., Chen C. Comparison of Efficacy of Lokomat and Wearable Exoskeleton-Assisted Gait Training in People with Spinal Cord Injury: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Front. Neurol.* 2022;13:772660.

Rozprawa mogłaby być zredagowana bardziej starannie, np. edycja spisu piśmiennictwa powinna być jednolita, zdarzają się przejęzyczenia, np. Mitkovich zamiast Itzkovich (pozycja 4). Rozważenia wymaga również kwestia praw autorskich i legalności wykorzystania prac sygnowanych przez kilku autorów jako własnej rozprawy doktorskiej. Większość obserwatorów stoi na stanowisku, że można wykorzystać prace opublikowane przez dwóch autorów, w tym promotora. W tym przypadku można uznać pierwszy artykuł, problem jest z

pozostałymi, zwłaszcza trzecim. Wydaje się, że Kandydat powinien przedstawić pisemną zgodę współautorów na wykorzystanie publikacji.

Reasumując: nowatorski pomysł sprawdzenia skuteczności urządzeń robotycznych do treningu chodu u osób z porażeniem lub niedowładem kończyn dolnych mógł być lepiej zaplanowany i zrealizowany, zaś raporty z badań mogły być dokładniej przedstawione.

Wytknięte wyżej usterki nie umniejszają w istotnym stopniu wartości rozprawy i można je usunąć w planowanych w przyszłości publikacjach.

Wniosek końcowy: Autor wykazał się wiedzą teoretyczną i umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Rozprawa doktorska zatytułowana „Rola terapii robotycznej w rehabilitacji pacjentów po urazie rdzenia kręgowego” stanowi rozwiązanie oryginalnego zagadnienia naukowego i spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą z dnia 20.07.2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.” Wnioskuje zatem o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.