

Wpływ rehabilitacji z wykorzystaniem dwóch zautomatyzowanych ortoz na przywracanie funkcji chodu

Influence of the rehabilitation with two automated orthoses on the gait reeducation

Ewelina Żak¹, Jacek Durmata¹, Sławomir Snela², Marcin Bonikowski³, Anna Czernuszenko³

¹ Katedra Rehabilitacji, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, ul. Ziołowa 45/47, 40-635 Katowice-Ochojec, tel. +48 (32) 359 82 41, e-mail: e.zak@pandm.org

² Kliniczny Oddział Ortopedii i Traumatologii Dziecięcej, Szpital Wojewódzki nr 2 w Rzeszowie im. św. Jadwigi Królowej, ul. Lwowska 60, 35-301 Rzeszów

³ Mazowieckie Centrum Neuropsychiatrii i Rehabilitacji Dzieci, Zagórze k. Warszawy, 05-462 Wiązowna

Streszczenie

Nowe technologie pozwalają na konstruowanie urządzeń wspomagających proces rehabilitacji, odciążających terapeutę w codziennej pracy i jednocześnie zapewniających pacjentowi najlepszą realizację wzorca ruchowego. W pracy przedstawiono metodę reedukacji chodu za pomocą urządzenia Lokomat. Konstrukcja opiera się na dwóch zautomatyzowanych ortozach służących do reedukacji chodu. Pierwsze prace badawcze potwierdziły skuteczność urządzenia, które wykorzystywane jest na świecie od dziesięciu lat. Ostatnio ta forma terapii jest również dostępna w Polsce.

Słowa kluczowe: zautomatyzowane ortozy, chód, rehabilitacja

Abstract

Advances in technology result in construction of devices that may help therapeutic staff in a treatment and ensure correct locomotory patterns. In 2000, in Switzerland, the Lokomat system based on driven gait orthosis was constructed – the device for gait function. The effectiveness of this device was already presented in many publications all over the world. Recently this system was introduced in Poland.

Key words: driven gait orthosis, gait, rehabilitation

Wprowadzenie

Chód jest jedną z ważniejszych funkcji człowieka zapewniających mu niezależność. Fizjologiczny chód jest zbiorem kontrolowanych czynności skoordynowanych z ruchami kończyn górnych oraz tułowia. Główne determinanty opisujące lokomocję oraz związane pośrednio z treningiem chodu na bieżni to: stabilność ciała w fazie podporu, przeniesienie stopy nad podłożem w fazie wymachu, prawidłowe ustawienie stopy pod koniec fazy przenoszenia, właściwa długość kroku proporcjonalna do wysokości ciała oraz zachowanie energii. Pierwsze trzy determinanty zapewniają bezpieczeństwo oraz stabilizację. Właściwa długość kroku warunkuje szybkość, a jak najmniejsze zużycie energii – wydajność chodu. Warunkiem ekonomicznego chodu jest zdolność do prawidłowego przenoszenia ciężaru ciała na obie kończyny dolne. Aby ten warunek został zrealizowany, wymagane jest przeniesienie ciężaru ciała do przodu, odpowiedni zakres ruchomo-

ści stawów kończyn dolnych oraz tułowia, dostateczna siła mięśniowa i koordynacja ruchowa oraz motywacja [1].

W wyniku dysfunkcji oraz chorób układu nerwowego funkcja motoryczna może zostać ograniczona lub utracona. W przypadku mózgowego porażenia dziecięcego brak samodzielnego chodu jest problemem złożonym. Nieprawidłowy wzorec ruchowy ma podłoże neurologiczne i na nie nakładają się deficyty strukturalne układu ruchu. Do charakterystyki patologii chodu dziecka z mózgowym porażeniem można zaliczyć:

- brak równowagi, która wyraża się asekuracyjnym, szerokim stawianiem stóp i ugiętymi kolanami,
- zakłóconą proporcję napięcia mięśniowego pomiędzy mięśniami agonistycznymi i antagonistycznymi, która predysponuje do tworzenia się przykurczy,
- spastyczność, która hamuje wzrost mięśnia poprzez ograniczenie rozciągania mięśni i w konsekwencji predysponuje do tworzenia się przykurczy,
- ograniczenie prędkości chodu, które związane jest między innymi z występowaniem spastyczności (która ze wzrostem prędkości wzrasta i ogranicza zdolność do rozciągnięcia mięśni) oraz deformacji kostnych, które przejawiają się poza osiowym ustawieniem segmentów kończyn dolnych,
- skróceniem fazy wymachu i wydłużeniem fazy podwójnego podporu, co wiąże się z potrzebą utrzymania lepszej stabilności ciała i zapobiegnięciu upadkom.

Dlatego nauka chodu staje się głównym celem, do którego zmierzają pacjent i terapeuta.

Efektywność rehabilitacji uzależniona jest od motywacji, wieku, siły mięśniowej pacjenta, a także innych czynników. Przeprowadzone badania na zwierzętach wskazują, że wielokrotne powtarzanie tego samego zadania wpływa na reorganizację ośrodków w mózgu i stymuluje do odtworzenia utraconej funkcji [2]. Bazując na tej teorii, nauka chodu prowadzona jest na bieżni ruchomej z zastosowaniem częściowego (*Partial Body Weight Support Treadmill Training* – PBWSTT) lub całkowitego odciążenia (*Body Weight Support Treadmill Training* – BWSTT). Chociaż obserwowane są pozytywne efekty BWSTT, to zastosowanie tej metody w praktyce klinicznej jest uciążliwe dla terapeutów. Związane jest to między innymi z:

- manualnym zapewnianiem wspomaganie kończyn dolnych pacjenta,
- utrzymaniem prawidłowej postawy ciała pacjenta,
- zaangażowaniem kilku fizjoterapeutów,
- pracą w nieergonomicznych warunkach.

W środowisku medycznym zaczęto poszukiwać alternatywnych rozwiązań, które z jednej strony zapewnią pacjentowi wa-

runki do kształtowania motoryki, a z drugiej zmniejszą zaangażowanie fizjoterapeutów. Dzięki rozwojowi automatyki i robotyki opracowano zautomatyzowane ortozy DGO (*Driven Gait Orthosis*), które zastępują „ręce” terapeuty i umożliwiają pacjentowi samodzielne wykonywanie ruchów kończyn dolnych.

Celem niniejszej pracy jest odpowiedź na pytanie, czy po zastosowaniu 4-tygodniowej terapii, prędkość i dystans chodu dzieci z mózgowym porażeniem dziecięcym uległy zmianie.

Materiał i metody

Badanie przeprowadzono w ośrodku rehabilitacyjnym w Zagórzku koło Warszawy. Projekt badawczy uzyskał zgodę Komisji Bioetycznej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach. Badaniem objęto 12 dzieci (8 dziewcząt i 4 chłopców) z postacią piramidową mózgowego porażenia dziecięcego, które osiągnęły sprawność samodzielnego chodzenia z wykorzystaniem wspomaganie w postaci pomocy ortopedycznych (kule, trójnogi, balkonik, łuski) lub asysty drugiej osoby. Wiek badanych zawierał się w przedziale od 6. do 14. roku życia. Kryteria włączenia do badania stanowiły: mózgowo porażenie dziecięce o charakterze obustronnego niedowład kurczowego na poziomie 2 wg skali GMFCS (*Gross Motor Function Classification System for Cerebral Palsy*), wiek 6-14 lat, możliwość przejścia co najmniej 4-5 metrów samodzielnie lub trzymając za rękę osobę towarzyszącą, pacjent z dotychczasowo prowadzoną systematycznie rehabilitacją, brak przeciwwskazań do przeprowadzenia treningu chodu ze strony narządu ruchu i innych układów oraz zgoda rodzica i lekarza prowadzącego na udział w badaniach.

Z badania wykluczono osoby, które miały: aktywną padaczkę lekooporną, dysproporcje w długości kończyn dolnych większe niż 2 cm, utrwalone przykurcze i deformacje kostno-stawowe, niestabilność kostno-stawową (zwichnięcia i podwichnięcia stawów, złamania, osteoporoza), zmiany zapalne skóry oraz otwarte uszkodzenia skóry w okolicach tułowia lub kończyn dolnych i przeciwwskazania do treningu na bieżni (choroby układu krążenia, oddechowego, inne). Stosowanie toksyny botulinowej typu A (BTX-A) w ostatnich 6 miesiącach, terapii baklofenem oraz hamujących opatrunków gipsowych w ostatnich 6 miesiącach i zabiegów operacyjnych (przecięcie torebki mięśniowej, przecięcie lub wydłużenie ścięgna, obniżenie lub przeniesienie przyczepu mięśniowego, rekonstrukcje) w ostatnim roku stanowiły również kryterium wykluczenia dziecka z badania. W badaniu oceniano prędkość chodu na podstawie 10-metrowego testu korytarzowego oraz zdolność do pokonania dystansu w określonym przedziale czasowym za pomocą 6-minutowego testu korytarzowego. Testy te są jednym ze sposobów obiektywnej oceny funkcjonalnej sprawności pacjenta lub weryfikacji uzyskanych efektów terapeutycznych.

Przed rozpoczęciem badania, pacjent został poinstruowany;

- jaki jest cel główny wykonywanych testów,
- jak będzie test przeprowadzany,
- co jest zadaniem pacjenta,
- że w trakcie testowania nie należy biec ani truchtać.

Przed właściwym pomiarem badany miał możliwość przyswojenia sobie wyżej wymienionych elementów. Dziecko powinno zrozumieć, jakie zadanie ma wykonać. Testy wykonywano dwukrotnie przed terapią, w celu oceny możliwości funkcjonalnych pacjenta oraz po zastosowanej terapii, w celu porównania zmian zachodzących pod wpływem terapii.

Pacjentów podzielono na dwie grupy: kontrolną i badaną. W obu grupach zastosowano inny model terapii. W grupie kontrolnej reedukację chodu oparto na zasadach metod neurorozwojowych, a w grupie badanej uzupełniono o dodatkowe ćwiczenia z zastosowaniem zautomatyzowanych ortoz urządzenia Lokomat (fot. 1).

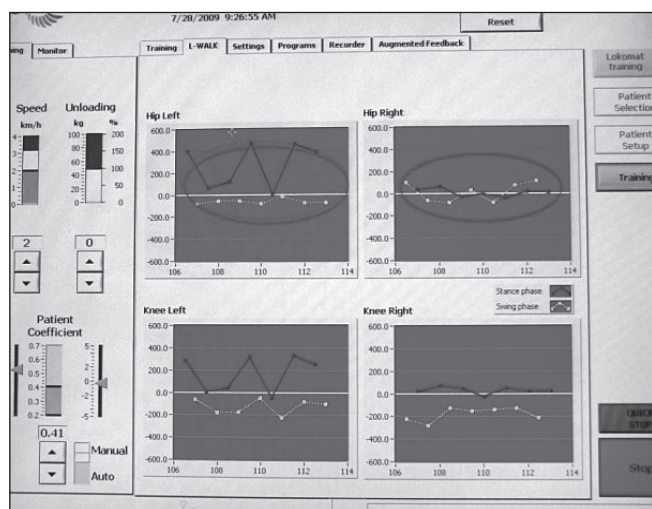


Fot. 1 Ortoza DGO (*Driver Gait Orthosis*)

Przeprowadzono 20 sesji treningowych w ciągu 4 tygodni. Pacjenci ćwiczyli 5 razy po 45 minut w sesji (w grupie kontrolnej) oraz 90 minut w grupie badanej.

Lokomat to zautomatyzowana ortoza DGO (*Driven Gait Orthosis*), pozwalająca na samodzielne wykonywanie ruchów kończyn dolnych prowadzonych na bieżni. DGO wyposażona jest we własny napęd i sterowanie, które gwarantują prawidłową realizację wzorca chodu nawet u pacjenta z całkowitą dysfunkcją. Indywidualny dobór parametrów (zakres ruchomości w stawach kończyn dolnych, odciążenie, prędkość chodu, długość kroku,) pozwalają kształtować motorykę ciała tak, aby była jak najbardziej poprawna i fizjologiczna. Zapewniają to osie szkieletu zewnętrznego ortozy, które pokrywają się z anatomicznymi punktami kończyny dolnej. Kończyny dolne prowadzone są według zaprogramowanego wzorca chodu, a ortozy zsynchronizowane z prędkością bieżni. W porównaniu do BWSST (*Body Weight-Supported Treadmill Training*), gdzie ruch kończyn dolnych zapewnia jest przez „ręce” terapeuty, przez co niemożliwe jest uzyskanie symetrycznego wzorca motorycznego, jaki zapewnia DGO. Dodatkowo ortoza pozwala na wielokrotne powtarzanie ruchu z indywidualnie dobraną prędkością, co pośrednio wpływa na kształtowanie neuroplastyczności mózgu.

Prędkość chodu dobierano stopniowo, rozpoczynając od 1,1 km/h, a następnie zwiększono do 2 km/h, w zależności od możliwości pacjenta i jego kontroli nad wykonywanym ruchem. Odciążenie w pierwszych sesjach treningowych wynosiło 50% masy ciała pacjenta. W kolejnych sesjach redukowano odciążenie do wartości 0. W celu uzyskania lepszej współpracy i motywacji pacjenta podczas sesji treningowych terapeuta wprowadzał dodatkowe ćwiczenia oraz *biofeedback* (fot. 2), z wykorzystaniem tzw. wirtualnej rzeczywistości (fot. 3). *Biofeedback* umożliwiał ocenę stopnia zaangażowania pacjenta w proces terapii przez graficzny zapis cyklu chodu na monitorze komputera oraz wzrost motywacji pacjenta poprzez dostarczenie sygnałów zwrotnych – wizualnych oraz proprioceptywnych. Włączenie trójwymiarowych technik wielkoformatowych projektorów 3D umożliwiło głęboką per-



Fot. 2 Biofeedback



Fot. 3 Wirtualna rzeczywistość

cepcę, pozwalającą na przeniesienie się w środowisko sztucznie generowane przez komputer (fot. 4). Tym samym biofeedback oraz wirtualna rzeczywistość zapewniały większą efektywność terapii.

Wyniki

W badaniu wyjściowym u wszystkich badanych z diplegią zaobserwowano różny stopień asymetrii funkcjonalnej chodu. Manifestowała się ona wydłużeniem czasu trwania fazy podporu i skracaniem fazy przenoszenia, co określone jest jako zaburzenie rytmu przenoszenia i podporu. Tabele 1 i 2 prezentują wyniki testów funkcjonalnych grupy badanej oraz

kontrolnej. U wszystkich pacjentów zaobserwowano obniżenie wartości uzyskanych w 10-metrowym teście marszowym wykonywanym swobodnie, a w przypadku testu szybkiego prawie u wszystkich osób (u jednej osoby po zastosowanej terapii odnotowano wzrost wartości czasowych testu szybkiego). Pokonany dystans, który oceniano w teście 6-minutowym marszowym, zwiększył się u 3 pacjentów w stosunku do wartości wyjściowych, a u pozostałych 3 pacjentów wyniki obniżyły się. W grupie kontrolnej zaobserwowano u wszystkich pacjentów obniżenie wartości uzyskanych w 10-metrowym teście marszowym wykonywanym swobodnie, a w przypadku testu szybkiego – u 4 pacjentów. Wzrost pokonanego dystansu po zastosowaniu terapii zaobserwowano tylko u 2 pacjentów (1 pacjent pokonał tę samą odległość, a 3 pozostałe osoby przebyły krótszy dystans w porównaniu z wartościami wyjściowymi).

Dyskusja

Najważniejsze dla przywrócenia lub wyczerpania zdolności do samodzielnego poruszania się są takie czynniki, jak: motywacja pacjenta, intensywność terapii, częstotliwość, ilość powtórzeń danego ruchu, stosowanie modyfikacji. Użyteczność oraz skuteczność urządzenia Lokomat oceniano podczas rehabilitacji pacjentów po uszkodzeniu rdzenia kręgowego, urazach mózgowo-czaszkowych, incydencie udarowym, ze stwardnieniem rozsianym oraz u dzieci z mózgowym porażeniem dziecięcym [4-6]. Dotychczasowa literatura wskazuje na pozytywne rezultaty tej formy terapii. Badano, czy zastosowanie zautomatyzowanej ortozy wpłynie na poprawę funkcjonalną pacjentów z niecałkowitym urazem rdzenia kręgowego na poziomie C i D według skali ASIA (Międzynarodowe Standardy Neurologicznej i Funkcjonalnej Klasyfikacji Urazów Rdzenia Kręgowego). Jako narzędzia badawcze wykorzystano 10-metrowy test marszowy chodu, 6-minutowy test marszowy chodu, test *Get Up and Go* (wstań i idź) oraz indeks chodu po urazie rdzenia. Ilość sesji treningowych wynosiła 3-5 razy w tygodniu przez 8 tygodni. Czas trwania pojedynczej sesji wynosił 45 minut. Odnotowano poprawę w zakresie szybkości chodu na podstawie 10-metrowego testu marszowego, możliwości do pokonania większego dystansu na podstawie 6-minutowego testu marszowego oraz wykonywania zadań złożonych na podstawie testu *Get Up and Go*. Nie stwierdzono korelacji pomiędzy poprawą szybkości chodu a zmianami siły mięśniowej [4]. W grupie dzieci z mózgowym porażeniem badano wpływ treningu na parametry chodu z wykorzystaniem trójwymiarowej analizy chodu (Vicomp 512). Trening prowadzono przez 6 tygodni, czas trwania pojedynczej sesji wynosił 30 minut. Zaobserwowano po terapii wzrost prędkości chodu oraz wydolności. Poprawa funkcji motorycznej była związana z mechanizmem chodu opisywanym jako długość cyklu chodu oraz czas trwania fazy podporu. Zaobserwowano 25-procentowe skrócenie czasu trwania fazy podwójnego podporu oraz 11-procentowy wzrost długości cy-

Tabela 1 Uzyskane wyniki przed i po terapii – grupa badana

Os.	10-m/swobodny		10-m/szybki		6-min		Różnica
	Przed	Po	Przed	Po	Przed	Po	
M.R	13.37	10.67	10.05	11.28	240	186	-54 m
M.J	13.27	11.66	13.09	10.98	165	214	49 m
K.M	42.00	23.72	29.45	23.17	76	93	17 m
E.R	18.80	10.89	11.58	10.87	233	250	17 m
E.L	7.53	7.32	6.89	6.57	416	404	-12 m
K.K	1.02.1	10.06	14.26	9.23	180	114	-66 m

Tabela 2 Uzyskane wyniki przed i po terapii – grupa kontrolna

Os.	10-m/swobodny		10-m/szybki		6-min		Różnica
	Przed	Po	Przed	Po	Przed	Po	
K.W	12.32	6.65	8.15	6.69	276	416	140 m
A.W	28.21	9.90	11.10	8.04	160	160	-brak
P.R	10.30	8.26	8.81	8.97	356	286	-70 m
K.S	8.87	7.65	9.06	7.85	336	310	-26 m
D.M	35.78	32.26	32.90	34.29	86	80	-6 m
S.K	13.91	9.39	10.66	9.19	160	174	14 m

Tabela 3 Zalety i wady terapii z zastosowaniem zautomatyzowanych ortoz

Zalety	Wady
Redukcja terapeutów potrzebnych do asystowania podczas terapii.	Ograniczone zastosowanie u pacjentów z utrwalonymi przykurczami, deformacjami kostnymi.
Redukcja wysiłku fizycznego terapeuty zaangażowanego w rehabilitację w porównaniu z BWSTT lub PBWSTT.	Ograniczone użycie narzędzi służących do oceny poczynionych postępów w pracy naukowej.
Wielokrotne powtarzanie tego samego wzorca ruchowego.	Ograniczone zastosowanie urządzenia u pacjentów z znacznym ubytkiem funkcji poznawczej lub nie współpracujących.
Możliwość dostosowania parametrów chodu indywidualnie dla każdego pacjenta, tak by chód był jak najbardziej poprawny i zbliżony do fizjologicznego wzorca.	Brak opracowanych standardów postępowania: dobór parametrów treningu, czasu trwania, ilości sesji.
Możliwość dokumentacji poczynionych postępów za pomocą narzędzi do oceny zakresu ruchomości w stawach kończyn dolnych, momentów siły mięśniowej oraz sztywności.	Brak ruchów trójpłaszczyznowych. Urządzenie wykonuje ruchy w płaszczyźnie strzałkowej oraz czołowej, brak ruchów w płaszczyźnie poprzecznej.
Wykorzystanie biofeedback dla terapeuty oraz pacjenta.	Wielkość urządzenia.
Wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości.	
Rehabilitacja pacjentów z całkowitym uszkodzeniem funkcji motorycznej, zarówno dzieci, jak i dorosłych.	
Możliwość stosowania podczas chodu dodatkowych ćwiczeń z zastosowaniem dodatkowych przyborów.	
Możliwość wydłużenie czasu trwania terapii.	

klu chodu oraz poprawę wzorca chodu charakteryzującą się zwiększeniem ruchomości stawowej [5]. Badano również aktywność mięśniową mięśni zginaczy stawu kolanowego u pacjentów po niecałkowitym uszkodzeniu rdzenia kręgowego z zastosowaniem badań elektromiograficznych EMG. Zauważono, że gdy pacjent jest odciążony, aktywność mięśniowa nie ujawnia się. W momencie obciążenia pacjenta własnym ciężarem ciała ujawnia się stale wzrastająca aktywność mięśni zginaczy stawu kolanowego oraz sporadycznie aktywność w stawie biodrowym i mięśni zginaczy stawu skokowego podczas fazy przenoszenia [6]. Własne wstępne wyniki badania przeprowadzonego na grupie pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym wykazują na dobrą tolerancję tej formy terapii oraz brak skutków ubocznych w trakcie oraz po terapii.

Podsumowanie

1. Wykazano, że terapia z zastosowaniem urządzenia Lokomat wpływa na zwiększenie prędkości chodu i dystansu oraz jest pozytywnie odbierana przez pacjentów.
2. Według danych literaturowych terapia z zastosowaniem urządzenia Lokomat przynosi oczekiwane rezultaty.
3. Istotne jest dalsze prowadzenie badań w tym zakresie. ■

Literatura

1. J. Perry, J.M. Burnfield: *Gait analysis: normal and pathological function*, Second Edition, SLACK Incorporated, 1992.

2. H. Barbeau: *Locomotor training in neurorehabilitation: Emerging rehabilitation concept*, Neurorehabilitation Neural Repair, vol. 17(1), 2003, s. 3-11.
3. B.H. Dobkin, D. Apple i in.: *Methods for a randomized trial of weight-supported treadmill training versus conventional training for walking during inpatient rehabilitation after incomplete traumatic spinal cord injury*, Neurorehabilitation Neural Repair, vol. 17, 2003, s. 153-167.
4. M. Wirz, D.H. Zemon, R. Rupp, A. Scheel, G. Colombo, V. Dietz, T.G. Hornby: *Effectiveness of automated locomotor training in patients with chronic incomplete spinal cord injury: a multicenter trial*, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, vol. 86, s. 672-680.
5. B.L. Patrilli, F. Romaguera, L.C. Deming, A. Mirelman, M.M. Pelliccio, D.L. Nimec, P. Bonato: *Enhancement and retention of locomotor function in children with cerebral palsy after robotic gait training*, Annual Meeting of the European Society of Movement Analysis for Adults and Children (ESMAC), 14-19 September 2009, London, UK.
6. T. Lam, M. Wirz, L. Lunenburger, V. Dietz: *Swing phase resistance enhances flexor muscle activity during treadmill locomotion in incomplete spinal cord injury*, Neurorehabilitation and Neural Repair, vol. 22(5), 2008, s. 438-446.

otrzymano / received: 16.08.2010 r.
zaakceptowano / accepted: 24.11.2010 r.