

Jolanta Marszałek¹, Andrzej Kosmol¹, Anna Mróz², Ida Wiszomirska¹, Michalina Błażkiewicz¹,
Krzysztof Fiok¹, Bartosz Molik¹

¹ Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Rehabilitacji

² Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie,
Wydział Wychowania Fizycznego

Wózek dźwigniowy dla osób z niepełnosprawnością narządu ruchu – alternatywna forma technologii wspomagającej poruszanie się

Streszczenie

Materiał. W badaniu wzięło udział 20 osób z niepełnosprawnością narządu ruchu, na co dzień wykorzystujących wózek inwalidzki do przemieszczania się. Uczestnicy mieli za zadanie poruszać się na wózku inwalidzkim, który można napędzać za pomocą ciągów i za pomocą dźwigni (wózek 2 w 1) na bieżni mechanicznej z prędkością 3,5 km/h oraz 4,5 km/h w ustawieniu bieżni mechanicznej płasko (warunki poruszania się na wózku w terenie płaskim) w czasie 4 minut. Kolejność wyboru pierwszego sposobu napędzania była losowa. Podczas testów badano wskaźniki układu oddechowego, tj. minutowej wentylacji płuc (VE), objętości pochłanianego tlenu (VO_2), objętości wydychanego dwutlenku węgla (VCO_2) oraz układu krążenia, tj. częstotliwości skurczów serca (HR) za pomocą mobilnego ergospirometru K5 firmy Cosmed i czujnika HR firmy GARMIN.

Wyniki. W przypadku poruszania się na bieżni z prędkością 3,5 km/h, jak i 4,5 km/h zaobserwowano istotne statystycznie różnice w parametrach krążeniowo-oddechowych podczas poruszania się na wózku napędzanym za pomocą dźwigni, a na wózku napędzanym za pomocą ciągów. W każdym przypadku wartości parametrów VE, VO_2 , VCO_2 oraz HR były niższe w przypadku poruszania się na wózku napędzanym za pomocą dźwigni ($p < 0,05$).

Podsumowanie. Jazda na wózku napędzanym za pomocą dźwigni o prędkości 3,5 km/h i 4,5 km/h była mniej wymagająca pod względem parametrów krążeniowo-oddechowych niż na wózku napędzanym za pomocą ciągów po powierzchni płaskiej. Wózek dźwigniowy jako technologia wspomagająca poruszanie się może być alternatywą dla wózka z ciągami w życiu codziennym osób z niepełnosprawnością narządu ruchu, w tym także w warunkach naturalnych – środowiskowych. Należy podkreślić, iż konieczna jest kontynuacja badań w kierunku możliwości manewrowania wózkiem dźwigniowym, w tym także konstrukcyjnych w kierunku pełnej oceny tej technologii wspomagającej.

Słowa kluczowe: rehabilitacja, wózek inwalidzki, wózek dźwigniowy, osoba niepełnosprawna, adaptowana aktywność fizyczna, technologia wspomagająca, ciagi, dźwignie

Lever Wheelchair for People with Physical Impairment – an Alternative Form of Assistive Technology

Summary

Background. The aim of this study was to examine differences between lever wheelchair propulsion and handrim wheelchair propulsion on a flat treadmill with different velocity among people with physical impairment.

Methods. 20 people with physical impairment, wheelchair users participated in this study. They were asked to move on the wheelchair by levers and by handrims (2 in 1 wheelchair) on the flat treadmill, which was moving with 3.5 km/h and 4.5 km/h for four minutes each drive. Type of pushing was randomly chosen. Minute ventilation (VE), oxygen uptake (VO₂), carbon dioxide output (VCO₂) as well as heart rate (HR) were observed respectively by ergospirometer K5 Cosmed and by GARMIN sensor.

Results. There were significant statistical differences in VE, VO₂, VCO₂ and HR parameters during lever wheelchair propulsion compare to handrim wheelchair propulsion in each movement on the treadmill (3.5 km/h as well as 4.5 km/h). All measured parameters were lower in lever wheelchair propulsion ($p < 0,05$).

Conclusion. Lever wheelchair propulsion with 3.5 km/h and 4.5 km/h on a flat surface was significantly less demanding in terms of physiological parameters compare to handrim wheelchair propulsion. A lever wheelchair can be easily used as an alternative assistive technology for everyday wheelchair users, also in natural surroundings. There is a need to continue study about lever wheelchair maneuverability as well construction to fully assess this type of wheelchair.

Keywords: rehabilitation, wheelchair, lever wheelchair, person with impairment, person with disability, adapted physical activity, assistive technology, handrim, levers

Wprowadzenie

Technologia jest dziedziną wiedzy, która obejmuje tworzenie i wykorzystywanie środków technicznych oraz ich powiązania z życiem, społeczeństwem i środowiskiem. Stosowanie technologii jest bezpośrednio kojarzone z ideą funkcjonalności i sprawności, które wzajemnie wykazują zależność liniową, tzn. im więcej społeczeństwo stosuje technologii, tym bardziej może sprawić, że osoby ze specjalnymi potrzebami staną się sprawniejsze (zwiększą uczestnictwo i aktywność do podobnego poziomu, jak ten osiągniany przez w pełni sprawne osoby)¹.

Najbardziej podstawowym zastosowaniem technologii w życiu wielu osób niepełnosprawnych jest umożliwianie aktywnego uczestnictwa w życiu codzien-

¹ S. Perreault, *Technological Developments in Disability Sport*, [in:] *Adapted Physical Activity*, ed. R. D. Steadward, J. E. Wheeler and G. D. Watkinson, USA, The University of Alberta Press and The Steadward Center, 2003

nym, w warunkach domowych, jak i środowiskowych. W obszarze codziennego funkcjonowania tej grupy osób rozwiązania technologiczne wspierają najważniejszą potrzebę – samorealizacji coraz większej liczbie osób.

Jedną z technologii wspomagających (ang. *assistive technology* – AT) poruszanie się osób z niepełnosprawnością narządu ruchu mogą być wózki inwalidzkie. Ich ewolucja pozwoliła na projektowanie rozwiązań dostosowanych do indywidualnych potrzeb i predyspozycji. Stawały się one coraz lżejsze i bardziej funkcjonalne. Istnieje wiele rozwiązań wózków na rynku, od szpitalnych po aktywne i sportowe. Z kolei wózki inwalidzkie można także podzielić na te napędzane ręcznie, z napędem elektrycznym oraz hybrydowe. Wózki aktywne (tradycyjne wózki z napędem ręcznym, tj. za pomocą ciągów) są wózkami najczęściej stosowanymi przez osoby mające możliwość napędzania wózka kończynami górnymi. Dodatkowo taki wózek jest dostosowany do parametrów antropometrycznych i możliwości funkcjonalnych użytkownika tak, by umożliwiał mu zarówno poruszanie się w pomieszczeniach zamkniętych, jak i na zewnątrz².

Innym rodzajem wózka napędzanego ręcznie jest na przykład wózek z napędem korbowym czy napędzany za pomocą dźwigni³. Według niektórych autorów wózki aktywne są bardziej zwrotne niż dźwigniowe⁴ i dlatego też dla osób mających możliwość napędzania wózka manualnie zalecane jest korzystanie z nich przy poruszaniu się po domu⁵. Z drugiej strony, wózki napędzane za pomocą dźwigni są już stosowane na świecie, lecz wiedza na ich temat nie jest jeszcze szeroka i od kilku lat prowadzone są badania na ich temat⁶.

Z dotychczasowych analiz wynika, iż w porównaniu do wózków napędzanych ręcznie za pomocą ciągów, wózki dźwigniowe mają wiele zalet. Przede wszystkim obserwuje się większe bezpieczeństwo użytkownika wózka dźwigniowego ze względu na stałość kontaktu ręki z dźwigniami, z dala od ciągle obracających się kół. Ponadto zbadano, iż sposób napędzania wózka dźwigniowego ma bardziej korzystny wpływ na organizm użytkownika w porównaniu do wózków na-

² M. Paprocka-Borowicz et al., *Wózek Inwalidzki Jako Niezbędne Oprzyrządowanie Dla Osób Niepełnosprawnych [the Wheel Chair as Indispensable Instrumentation for Disabled People]*, „Acta Bio-Optica et Informatica Medica” 2009, 3, No. 15

³ Ibidem

⁴ L. H. van der Woude et al., *Alternative Modes of Manual Wheelchair Ambulation: An Overview*, „American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation” 2001, 80, No. 10

⁵ M. Paprocka-Borowicz et al.

⁶ C. L. Flemmer and R. C. Flemmer, *A Review of Manual Wheelchairs*, „Disabil Rehabil Assist Technol” 2016, 11, No. 3

pedzanych za pomocą ciągów^{7,8,9,10}. Korzystanie z wózka dźwigniowego bardziej wspomaga proces rehabilitacji, gdyż podczas napędzania poprzez dźwignie angażowana jest większa liczba mięśni w organizmie człowieka^{11,12}. Ze względu na konstrukcję mechaniczną wózki dźwigniowe dają możliwość zmiany przełożeń podczas jazdy, co znacząco ułatwia poruszanie się¹³. Wózki dźwigniowe nie mają jednak tak dobrych możliwości manewrowania jak klasyczne wózki z ciągami, dlatego też są one przeznaczone przede wszystkim do użytku poza budynkami. W efekcie wózki dźwigniowe zaliczane są często do grupy wózków rekreacyjno-sportowych¹⁴.

W związku z rosnącym zainteresowaniem wózkami dźwigniowymi oraz z potrzebą jeszcze lepszego przystosowania ich do wymagań użytkowników, powstają różne prototypy, np. wózki ze specjalnym systemem hamulcowym¹⁵. Wózki typu dźwigniowego stosuje się również w celach treningowych i usprawniających słabszą kończynę górną pacjentów. Zondervan i wsp. (2013) zaproponowali urządzenie LARA (ang. *Lever-Actuated Resonance Assistance*), które mocuje się na wózku manualnym. Dzięki temu kończyna górna jest właściwie ułożona i pacjent nie potrzebuje dużej zręczności do poruszania dźwignią. LARA to zmodyfikowana i stacjonarna forma usprawniania pacjentów, która w pewien sposób przygotowuje do poruszania się na wózku dźwigniowym¹⁶.

Prowadzone analizy dostarczyły cennych dowodów w obszarze korzyści wykorzystania wózka dźwigniowego w porównaniu do wózka napędzanego za pomocą ciągów. Należy jednak zwrócić uwagę, iż badania prowadzono jedynie

⁷ P. Engel and G. Hildebrandt, *Wheelchair Design – Technological and Physiological Aspects*, „Proceedings of the Royal Society of Medicine” 1974

⁸ L. H. van der Woude, G. de Groot and A. P. Hollander, *Wheelchair Ergonomics and Physiological Testing of Prototypes*, „Ergonomics” 1986, 29

⁹ L. H. van der Woude, D. Veeger and Y. de Boer, *Physiological Evaluation of a Newly Designed Lever Mechanism for Wheelchairs*, „Journal of Medical Engineering & Technology” 1993, 7

¹⁰ A. Mandy et al., *A Comparison of Vertical Reaction Forces During Propulsion of Three Different One-Arm Drive Wheelchairs by Hemiplegic Users*, „Disabil Rehabil Assist Technol” 2014, 9, No. 3

¹¹ M. Neikes, K. Bennedikt and E. P. Hildebrandt, *Work Physiological Studies Performed to Optimize the Lever Propulsion and the Seat Position of a Lever Propelled Wheelchair*, „Die Rehabilitation” 1976, 15, No. 4

¹² B. W. Smith et al., *Feasibility of a Bimanual, Lever-Driven Wheelchair for People with Severe Arm Impairment after Stroke*, paper presented at the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2014

¹³ J. Lui et al., *Mechanical Efficiency of Two Commercial Lever-Propulsion Mechanisms for Manual Wheelchair Locomotion*, „Journal of Rehabilitation Research Development” 2013, 50, No. 10

¹⁴ M. Paprocka-Borowicz et al.

¹⁵ A. Rifai Sarraj et al., *Evaluation of a Wheelchair Prototype with Non-Conventional, Manual Propulsion*, „Annals of Physical and Rehabilitation Medicine” 2010, 53, No. 2

¹⁶ D. K. Zondervan et al., *The Resonating Arm Exerciser: Design and Pilot Testing of a Mechanically Passive Rehabilitation Device That Mimics Robotic Active Assistance*, „Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation” 2013, 10

w grupach osób pełnosprawnych lub w grupach osób niepełnosprawnych, ale liczba badanych była niewielka. Ponadto część badań była wykonywana jeszcze przed 2000 rokiem.

Warto zaobserwować, iż postęp technologiczny w konstrukcji wózków dźwigniowych jest szybki i należy kontynuować badania nad ich efektywnością jazdy. Konieczne jest badanie różnic dotyczących jakości i efektywności napędzania podczas jazdy dwóch różnie skonstruowanych wózków (wózka napędzanego za pomocą ciągów i za pomocą dźwigni) tak, by pacjent mógł wybrać najbardziej korzystny dla siebie sprzęt. Stąd też celem pracy była ocena różnic we wskaźnikach sprawności układu krążeniowo-oddechowego między napędzaniem wózka za pomocą ciągów i za pomocą dźwigni u osób z niepełnosprawnością narządu ruchu podczas poruszania się po powierzchni płaskiej w zależności od prędkości jazdy.

Metody

Uczestnicy badań

W badaniach wzięło udział 20 osób z niepełnosprawnością narządu ruchu (wiek 33 ± 7 lat, masa ciała $73,4 \pm 12,5$ kg, wysokość ciała $170,5 \pm 15,4$ cm), w tym osoby z urazem rdzenia kręgowego ($n=12$), z przepukliną oponowo-rdzeniową ($n=3$), ze stwardnieniem rozsianym ($n=1$), z polio ($n=1$), po amputacji kończyn dolnych ($n=3$). Każdy z badanych miał w pełni sprawne kończyny górne tak, by ograniczenie ich sprawności nie miało wpływu na napędzanie wózka.

Wszyscy badani wyrazili pisemną zgodę na udział w badaniach. W każdym momencie mieli prawo zrezygnować z badań. Na przeprowadzenie badań uzyskano zgodę Komisji Etyki i Bioetyki Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie (KEiB – 01/2018).

Wózek inwalidzki

W przeprowadzonym badaniu wykorzystano wózek inwalidzki, który można napędzać za pomocą ciągów i za pomocą dźwigni (projekt „Dźwigniowe wózki inwalidzkie dla osób niepełnosprawnych” NCBiR INNOTECH-K3/IN3/52/226230/NCBiR/13, wózek 2 w 1; rycina 1). Osoba poruszająca się za pomocą tego wózka w dowolnym momencie mogła zdecydować o rodzaju napędzania wózka (za pomocą ciągów lub za pomocą dźwigni).

Napędzanie wózka za pomocą dźwigni polegało na pociąganiu i pchaniu dźwigni w kierunku odpowiednio do klatki piersiowej i w kierunku przeciwnym, do kończyn dolnych w płaszczyźnie strzałkowej (bez przyciągania dźwigni do ciała). Odległość między dźwigniami wynosiła 48,0 cm, a między ciągami 65,0 cm. Wielkość przedniego małego koła wynosiła 12,8 cm, tylnego koła 61 cm, zaś camber to 3 stopnie. Długość dźwigni wynosiła 49,0 cm, oś obrotu – 7,4 cm za i 5,1 cm powyżej osi obrotu tylnych kół. Przełożenie dźwigni wynosiło 3:1. Hamulce były umieszczone w dźwigniach, dzięki czemu każde koło

można hamować oddzielnie zaciskając rękojeść hamulca (działanie przypominające hamowanie w rowerze).

Rycina 1. Wózek napędzany za pomocą ciągów i za pomocą dźwigni (2 w 1)



Źródło: archiwum własne

Testy na bieżni mechanicznej

W badaniach wykorzystano bieżnię mechaniczną przystosowaną do wózków inwalidzkich firmy h/p/cosmos. Zaproponowano dwa protokoły badań: uczestnik badań poruszał się z prędkością 3,5 km/h w ustawieniu bieżni mechanicznej płasko (warunki poruszania się na wózku w terenie płaskim) w czasie 4 minut oraz uczestnik badań poruszał się z prędkością 4,5 km/h w ustawieniu bieżni mechanicznej płasko (warunki poruszania się na wózku w terenie płaskim) w czasie 4 minut.

Badanie parametrów krążeniowo-oddechowych

Dokonano pomiaru podstawowych wskaźników charakteryzujących sprawność układu krążeniowo-oddechowego, tj. minutową wentylację płuc (VE), objętość pochłanianego tlenu (VO_2), objętość wydychanego dwutlenku węgla (VCO_2) oraz częstotliwość skurczów serca (HR). Badania realizowano za pomocą mobilnego ergospirometru K5 firmy Cosmed (Italy). Każdego dnia przed pomiarami wykonywana była wentylacyjna i gazowa kalibracja urządzenia. Za pomocą specjalnych szelek ergospirometr zakładany był na plecy (odcinek piersiowy kręgosłupa), jak plecak, a badana osoba oddychała przez maskę połączoną przewodami z urządzeniem. Do zapisu HR wykorzystano pulsometr firmy GARMIN.

Analiza statystyczna

Analiza statystyczna przeprowadzona została za pomocą programu IBM SPSS Statistics 24. Normalność rozkładów zbadano za pomocą testu Kolmogorowa-Smirnowa. W przypadku potwierdzenia normalności rozkładu danych różnice między uzyskanymi wynikami weryfikowano testem T-Studenta dla prób

zależnych. W przypadku braku normalności rozkładu danych różnice między wynikami weryfikowano nieparametrycznym testem Wilcoxon. Jako poziom istotności przyjęto $p < 0,05$.

Wyniki

W badaniu podczas jazdy na bieżni mechanicznej dokonano pomiaru parametrów krążeniowo-oddechowych. Przedstawiono podstawowe statystyki opisowe (średnie wartości, medianę, odchylenie standardowe, wartości maksymalne oraz minimalne) wskaźników krążeniowo-oddechowych oraz wielkość różnicy uzyskaną w testach na bieżni mechanicznej podczas jazdy na wózku napędzanym za pomocą dźwigni oraz za pomocą ciągów (tabela 1).

Zarówno w przypadku poruszania się na bieżni z prędkością 3,5 km/h, jak i 4,5 km/h zaobserwowano istotne statystycznie różnice w parametrach krążeniowo-oddechowych podczas poruszania się na wózku napędzanym za pomocą dźwigni, a na wózku napędzanym za pomocą ciągów (tabela 1). W każdym przypadku wartości badanych parametrów krążeniowo-oddechowych (VE, VO_2 , VCO_2 oraz HR) były niższe w przypadku poruszania się na wózku napędzanym za pomocą dźwigni ($p < 0,05$).

Tabela 1. Wartości średnie parametrów krążeniowo-oddechowych uzyskane w testach na bieżni mechanicznej dla danego wariantu oraz różnice między rodzajem napędu

Parametry	Rodzaj napędu	Średnia	Mediana	Odchylenie standardowe	Błąd standardowy	Min.	Max.	p
wariant poruszania się na wózku z prędkością 3,5 km/h przy pochyleniu bieżni mechanicznej 1%								
VE [l/min.]	D	25,08	23,70	5,55	1,24	17,93	37,97	0,001
VE [l/min.]	C	27,43	25,59	6,44	1,44	20,30	44,20	
VO_2 [l/min.]	D	0,87	0,87	0,14	0,03	0,65	1,10	0,001
VO_2 [l/min.]	C	1,02	0,98	0,18	0,04	0,82	1,53	
VCO_2 [l/min.]	D	0,69	0,71	0,11	0,02	0,50	0,89	0,001
VCO_2 [l/min.]	C	0,82	0,78	0,19	0,04	0,62	1,48	

Parametry	Rodzaj napędu	Średnia	Mediana	Odchylenie standardowe	Błąd standardowy	Min.	Max.	p
VO ₂ [ml/kg/min.]	D	11,95	11,69	2,21	0,51	8,33	15,84	0,001
VO ₂ [ml/kg/min.]	C	13,98	13,35	2,52	0,77	10,71	19,86	
HR [uderzeń/min.]	D	103,13	100,98	12,13	2,71	80,70	123,80	0,025
HR [uderzeń/min.]	C	106,41	105,58	13,49	3,02	79,70	131,78	

wariant poruszania się na wózku z prędkością 4,5 km/h przy pochyleniu bieżni mechanicznej 1%

Parametry	Rodzaj napędu	Średnia	Mediana	Odchylenie standardowe	Błąd standardowy	Min.	Max.	p
VE [l/min.]	D	27,99	26,30	5,79	1,42	18,50	40,34	0,002
VE [l/min.]	C	31,44	30,50	7,22	1,61	21,48	49,75	
VO ₂ [l/min.]	D	0,99	0,99	0,16	0,05	0,74	1,36	0,001
VO ₂ [l/min.]	C	1,17	1,12	0,18	0,04	0,92	1,52	
VCO ₂ [l/min.]	D	0,80	0,79	0,10	0,03	0,65	0,97	0,001
VCO ₂ [l/min.]	C	0,95	0,91	0,15	0,03	0,70	1,30	
VO ₂ [ml/kg/min.]	D	13,57	13,11	2,03	0,59	11,06	18,69	0,001
VO ₂ [ml/kg/min.]	C	16,01	15,12	2,44	0,81	12,84	19,96	
HR [uderzeń/min.]	D	105,60	103,68	13,13	2,94	82,00	129,63	0,001
HR [uderzeń/min.]	C	113,08	112,71	12,71	2,84	94,33	137,89	

p < 0,05; n.s. – różnica nieistotna statystycznie; C – napędzanie wózka za pomocą ciągow; D – napędzanie wózka za pomocą dźwigni

Źródło: opracowanie własne

Dyskusja

Celem pracy była ocena różnic między napędzaniem wózka za pomocą ciągów i za pomocą dźwigni u osób z niepełnosprawnością narządu ruchu podczas poruszania się po powierzchni płaskiej w zależności od prędkości jazdy. W badaniach własnych zaobserwowano, iż wysiłek wykonywany na bieżni ustawionej płasko zarówno przy prędkości 3,5 km/h, jak i 4,5 km/h podczas jazdy na wózku napędzanym za pomocą dźwigni mniej obciążał badanych (wartości wskaźników krążeniowo-oddechowych były niższe podczas jazdy na wózku napędzanym za pomocą dźwigni). Takie wyniki mogą być przyczyną różnic w pracy grup mięśniowych, tj. podczas napędzania wózka za pomocą ciągów, mięśnie kończyn górnych pracują jedynie w kierunku do przodu (pchanie), zaś w przypadku jazdy na wózku za pomocą dźwigni, badany zarówno pchał jak i ciągnął dźwignie. Jednak takie stwierdzenie wymagałoby sprawdzenia w przyszłości, jak pracują mięśnie podczas ruchu napędzania, np. za pomocą elektromiografii powierzchniowej (EMG) lub kamery termowizyjnej określającej temperaturę pracujących mięśni.

Inni autorzy także poszukiwali różnic między jazdą na wózku dźwigniowym a tym napędzanym za pomocą ciągów. Lui i wsp. (2013)¹⁷ udowodnili, że dźwigniowy mechanizm napędzania wózka jest bardziej efektywny i wymagający mniejszego zużycia energii niż tradycyjne napędzanie. Sprawdzili, że podczas napędzania wózka dźwigniowego w jeździe na bieżni mechanicznej z prędkością 0,96 m/s ze wzrastającym nachyleniem (co 3 minuty) zmniejszone jest pochłanianie tlenu (VO_2) oraz mniejsza jest częstość skurczów serca (HR) w porównaniu z napędzaniem wózka tradycyjnego. W badaniach własnych, podczas jazdy na bieżni ustawionej płasko, otrzymane różnice w wynikach VO_2 i HR były podobne do wyników uzyskanych przez Lui i wsp. (2013). Mianowicie otrzymano niższe wartości VO_2 i HR podczas jazdy na wózku napędzanym za pomocą dźwigni. Lui i wsp. (2013) zaobserwowali ponadto u użytkowników większą sprawność mechaniczną napędzania wózka za pomocą dźwigni w porównaniu z napędzaniem ręcznym podczas poruszania się w jeździe pod górę ($p < 0,001$)¹⁸. Na uwagę także zasługuje fakt, że autorzy zaprosili do swoich badań jedynie 10 osób pełnosprawnych, które nie miały doświadczenia w jeździe na wózku. Dlatego też, dla oceny jazdy na wózku dźwigniowym w porównaniu do jazdy na wózku za pomocą ciągów wydają się być tym bardziej istotne wyniki badań własnych.

Także w innych warunkach, tj. w przypadku bardzo intensywnego wysiłku (ang. *multistage field test* – MFT), porównywano jazdę na wózku dźwigniowym z jazdą na wózku napędzanym za pomocą ciągów¹⁹. Marszałek i wsp. (2018)²⁰ do-

¹⁷ Lui et al.

¹⁸ Ibidem

¹⁹ J. Marszałek et al., *Physiological Parameters Depending on Two Different Types of Manual Wheelchair Propulsion*, „Assistive Technology” 2018

²⁰ Ibidem

wiedli, że jeżdżąc na wózku dźwigniowym w tym progresywnym pod względem obciążenia teście (badani jechali w hali sportowej po wyznaczonym obszarze coraz szybciej i musieli zachować wymuszone przez test tempo jazdy), badani byli w stanie przejechać większy dystans niż jeżdżąc na wózku za pomocą dźwigni (odpowiednio 1194 m i 649 m). Mierzono także parametry krążeniowo-oddechowe, których wartości również były niższe podczas jazdy na wózku dźwigniowym. Niemniej jednak autorzy, podobnie jak Lui i wsp. (2013), także badali osoby pełnosprawne i zalecali, pomimo obiecujących wyników, kontynuację badań w grupie osób niepełnosprawnych, tj. codziennych użytkowników wózków.

Hughes i wsp. (1992)²¹ badali biomechanikę napędzania wózka dźwigniowego i aktywnego (tradycyjnego) oraz wpływ ustawienia pacjenta w pozycji siedzącej na ruch napędzania. Okazało się, iż ruch kończyn górnych był istotnie różny dla obu metod napędzania. Zaobserwowano mniejszy zakres ruchu w stawie łokciowym, ale większy wyprost w stawie ramiennym oraz mniejszą rotację w stawie ramiennym i mniejsze odwiedzenie ręki niż podczas napędzania tradycyjnego poprzez ciągi kół. Ustawienie pacjenta w pozycji siedzącej miało większy wpływ na zakres ruchu w stawach podczas napędzania wózka w sposób tradycyjny. Nie zaobserwowano żadnych istotnych zmian w ruchach tułowia podczas obu sposobów napędzania. Autorzy już wtedy zgłaszali konieczność badań w zakresie poszukiwania optymalnego ustawienia pacjenta podczas poruszania się na wózku²². Niemniej jednak w badaniach Hughesa i wsp. (1992) uczestniczyła niewielka grupa badanych i do tego mieszana, a samo badanie wykonywano nie na wózku, a na stanowisku – symulatorze wózka dźwigniowego. Być może w przyszłości istotnym rozwiązaniem byłoby rozszerzenie badań własnych właśnie o biomechaniczne analizy, by dostarczyć kolejnych dowodów naukowych na temat jazdy na wózku dźwigniowym.

W związku z rosnącym zainteresowaniem wózkami dźwigniowymi oraz aby jeszcze lepiej je przystosować do wymagań użytkowników, powstają ich różne prototypy, np. Sasaki i wsp. (2014)²³ stworzyli model – stanowisko imitujące wózek z dźwigniami, aby lepiej poznać mechanizmy, które zachodzą w układzie mięśniowym człowieka podczas poruszania się użytkownika na wózku dźwigniowym. Za pomocą tego modelu istnieje możliwość badania pracy, jaką wykonują mięśnie podczas napędzania tego typu wózka²⁴. Model ma służyć przede wszystkim do opracowania nowych rozwiązań ustawienia konstrukcyjnego dźwigni w wózku (długość, kąt nachylenia dźwigni) w celu zoptymalizowania napędzania

²¹ Ch. J. Hughes et al., *Biomechanics of Wheelchair Propulsion as a Function of Seat Position and User-to-Chair Interface*, „Archives of Physical Medicine and Rehabilitation” 1992, 73, No. 3

²² Ibidem

²³ M. Sasaki et al., *Simulation Model of a Lever-Propelled Wheelchair*, [in:] *Conference Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2014

²⁴ Ibidem

oraz zbadania pracy mięśni kończyn górnych w trakcie napędzania – pchania i/lub ciągnięcia za dźwignię.

Prowadzone analizy dostarczyły cennych dowodów w obszarze wykorzystania wózka dźwigniowego w porównaniu do wózka napędzanego za pomocą ciągów (tradycyjnego). W badaniach własnych, gdzie jako narzędzie wykorzystano wózek dźwigniowy z możliwością także tradycyjnego napędzania (za ciągi) dowiedziono, że napędzanie wózka właśnie za pomocą dźwigni jest bardziej korzystne dla użytkowników wózków, ze względu na niższe wartości badanych parametrów podczas wysiłku, który zaproponowano uczestnikom. W badaniach brały udział osoby z różnymi rodzajami niepełnosprawności. W dotychczasowych doniesieniach nie wykorzystywano tego typu wózków i nie znaleziono podobnych analiz w grupie osób niepełnosprawnych, co pozwala stwierdzić, że wyniki badań własnych są istotnym dowodem naukowym i wkładem do wiedzy w obszarze fizjologii i technologii wykorzystywania wózków inwalidzkich.

Ograniczenia i rekomendacje do dalszych badań

W badaniach własnych grupa badanych była różnorodna pod względem rodzaju niepełnosprawności. W przyszłości być może dobrym rozwiązaniem byłoby zaproszenie do badań osób z jednym (podobnym) rodzajem niepełnosprawności.

Kontynuacja badań powinna być prowadzona w kierunku porównania jazdy na wózku dźwigniowym z jazdą na wózku napędzanym za pomocą ciągów w naturalnych warunkach ich użytkowania, tak w obszarze obiektów zamkniętych np. mieszkania, jak i obiektów użyteczności publicznej, zarówno zawodowych, jak i rekreacyjno-sportowych.

Podsumowanie

Podsumowując zebrane wyniki badań można stwierdzić, że jazda na wózku napędzanym za pomocą dźwigni o prędkości 3,5 km/h i 4,5 km/h była mniej wymagająca i angażująca pod względem wielkości parametrów krążeniowo-oddechowych niż na wózku napędzanym za pomocą ciągów. Wózek dźwigniowy jako technologia wspomagająca (ang. *assistive technology*) poruszanie się może być alternatywą dla wózka z ciągami w życiu codziennym osób z niepełnosprawnością narządu ruchu, w tym także w warunkach naturalnych – środowiskowych. Należy podkreślić, iż konieczna jest kontynuacja badań, w tym także konstrukcyjnych, w kierunku poprawy możliwości manewrowania wózkiem dźwigniowym, by dokonać pełnej jego oceny.

Finansowanie

Badanie prowadzono w ramach projektu „Efektywność jazdy na wózku inwalidzkim z napędem dźwigowym i tradycyjnym osób z niepełnosprawnością”, dofinansowanego z Państwowego Funduszu Rehabilitacji Osób Niepełnosprawnych Nr BEA/000036/BF/D z dnia 22.12.2017.

Podziękowania

Dziękujemy wszystkim uczestnikom badań za poświęcony czas. Dziękujemy również za wsparcie i pomoc techniczną w Centralnym Laboratorium Badawczym AWF Warszawa panu inż. Tomaszowi Hałasie.

Bibliografia

- Engel P. and Hildebrandt G., *Wheelchair Design – Technological and Physiological Aspects*, „Proceedings of the Royal Society of Medicine” 1974, No. 67
- Flemmer C. L. and Flemmer R. C., *A Review of Manual Wheelchairs*, „Disabil Rehabil Assist Technol” 2016, 11, No. 3
- Hughes Ch. J., Weimar W. H., Sheth P. N. and Brubaker C. E., *Biomechanics of Wheelchair Propulsion as a Function of Seat Position and User-to-Chair Interface*, „Archives of Physical Medicine and Rehabilitation” 1992, 73, No. 3
- Lui J., MacGillivray M. K., Sheel A. W., Jeyasurya J., Sadeghi M. and Sawatzky B. J., *Mechanical Efficiency of Two Commercial Lever-Propulsion Mechanisms for Manual Wheelchair Locomotion*, „Journal of Rehabilitation Research Development” 2013, 50, No. 10
- Mandy A., Redhead L., McCudden C. and Michaelis J., *A Comparison of Vertical Reaction Forces During Propulsion of Three Different One-Arm Drive Wheelchairs by Hemiplegic Users*, „Disabil Rehabil Assist Technol” 2014, 9, No. 3
- Marszałek J., Kosmol A., Mróz A., Wiszomirska I., Fiok K. and Molik B., *Physiological Parameters Depending on Two Different Types of Manual Wheelchair Propulsion*, „Assistive Technology” 2018, October: 1-7
- Neikes M., Bennedikt K. and Hildebrandt E. P., *Work Physiological Studies Performed to Optimize the Lever Propulsion and the Seat Position of a Lever Propelled Wheelchair*, „Die Rehabilitation” 1976, 15, No. 4
- Paprocka-Borowicz M., Kuciel-Lewandowska J., Kierzek A. and Pozowski A., *Wózek Inwalidzki Jako Niezbędne Oprzyrządowanie Dla Osób Niepełnosprawnych [the Wheel Chair as Indispensable Instrumentation for Disabled People]*, „Acta Bio-Optica et Informatica Medica” 2009, 3, No. 15
- Perreault S., *Technological Developments in Disability Sport*, [in:] *Adapted Physical Activity*, edited by Steadward R. D., Wheeler J. E. and Watkinson G. D., USA, The University of Alberta Press and The Steadward Center, 2003

- Rifai Sarraj A., Massarelli R., Rigal F., Moussa E., Jacob C., Fazah A. and Kabbara M., *Evaluation of a Wheelchair Prototype with Non-Conventional, Manual Propulsion*, „Annals of Physical and Rehabilitation Medicine” 2010, 53, No. 2
- Sasaki M., Ota Y., Hase K., Stefanov D. and Yamaguchi M., *Simulation Model of a Lever-Propelled Wheelchair*, [in:] *Conference Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2014
- Smith B. W., Zondervan D. K., Lord T. J., Chan V. and Reinkensmeyer D. J., *Feasibility of a Bimanual, Lever-Driven Wheelchair for People with Severe Arm Impairment after Stroke*, paper presented at the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2014
- van der Woude L. H., Dallmeijer A. J., Janssen T. W. and Veeger D., *Alternative Modes of Manual Wheelchair Ambulation: An Overview*, „American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation” 2001, 80, No. 10
- van der Woude L. H., de Groot G. and Hollander A. P., *Wheelchair Ergonomics and Physiological Testing of Prototypes*, „Ergonomics” 1986, No. 20
- van der Woude L. H., Veeger D. and de Boer Y., *Physiological Evaluation of a Newly Designed Lever Mechanism for Wheelchairs*, „Journal of Medical Engineering & Technology” 1993, 7
- Zondervan D. K., Palafox L., Hernandez J. and Reinkensmeyer D. J., *The Resonating Arm Exerciser: Design and Pilot Testing of a Mechanically Passive Rehabilitation Device That Mimics Robotic Active Assistance*, „Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation” 2013, 10, No. 39