

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO  
IM. JERZEGO KUKUCZKI W KATOWICACH

mgr Martyna Wieczorek-Pache

**Wpływ fizjoterapii z zastosowaniem Lokomatu Pro na zmianę  
wybranych parametrów funkcjonalnych i samopoczucia pacjentów z  
częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym**

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

Promotor:  
prof. dr hab. Adam Maszczyk

KATOWICE 2023

## SPIS TREŚCI

|   |    |
|---|----|
| WYKAZ SKRÓTÓW .....   | 4  |
| 1 WSTĘP.....  | 5  |
| 1.1 Wprowadzenie.....   | 5  |
| 1.2 Uszkodzenie rdzenia kręgowego w ujęciu historycznym .....   | 6  |
| 1.3 Epidemiologia urazów rdzenia kręgowego .....  | 7  |
| 1.4 Mechanizm i klasyfikacja urazów rdzenia kręgowego .....   | 7  |
| 1.5 Wtórne następstwa urazów rdzenia kręgowego .....  | 9  |
| 1.5.1 Zaburzenia funkcji chodu.....   | 9  |
| 1.5.2 Zaburzenia aktywacji mięśniowej.....  | 10 |
| 1.5.3 Spastyczność .....  | 11 |
| 1.5.4 Zespoły bólowe .....  | 12 |
| 1.6 Zastosowanie systemów lokomotorycznych w fizjoterapii po uszkodzeniu rdzenia kręgowego.....   | 13 |
| 1.7 Wpływ systemów lokomotorycznych na plastyczność mózgu .....   | 15 |
| 2 CEL PRACY .....   | 17 |
| 3 MATERIAŁ I METODY BADAŃ .....   | 20 |
| 3.1 Uczestnicy badania.....   | 20 |
| 3.2 Metody badań .....  | 24 |
| 3.2.1 Struktura badania .....   | 24 |
| 3.2.2 Ocena kliniczna.....  | 25 |
| 3.2.3 Usprawnianie .....  | 32 |
| 3.2.4 Narzędzia analizy statystycznej .....   | 34 |
| 4 WYNIKI.....   | 37 |
| 4.1 Analizy wstępne – statystyki opisowe uzyskanych wartości pomiarowych w grupach badanych .....   | 37 |
| 4.2 Analiza dynamiki zmienności poszczególnych parametrów oraz różnic wewnątrzgrupowych w grupie badanej L1 .....   | 40 |
| 4.2.1 Analiza dynamiki zmienności i różnic wewnątrzgrupowych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie badanej L1 .....   | 40 |
| 4.2.2 Wyznaczenie funkcji trendów oraz weryfikacja i walidacja dopasowania danych wyjściowych do empirycznych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie badanej L1..... | 45 |
| 4.3 Analiza dynamiki zmienności poszczególnych parametrów oraz różnic wewnątrzgrupowych w grupie badanej L2 .....   | 50 |
| 4.3.1 Analiza dynamiki zmienności i różnic wewnątrzgrupowych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie badanej L2 .....   | 50 |
| 4.3.2 Wyznaczenie funkcji trendów oraz weryfikacja i walidacja dopasowania danych wyjściowych do empirycznych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie badanej L2..... | 55 |
| 4.4 Analiza dynamiki zmienności poszczególnych parametrów oraz różnic   |    |

|  |     |
|--|-----|
| wewnątrzgrupowych w grupie Kontrolnej.....   | 60  |
| 4.4.1    Analiza dynamiki zmienności i różnic wewnątrzgrupowych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie Kontrolnej.....  | 60  |
| 4.4.2    Wyznaczenie funkcji trendów oraz weryfikacja i walidacja dopasowania danych wyjściowych do empirycznych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie Kontrolnej..... | 65  |
| 4.5    Określenie istotności różnic wewnątrzgrupowych dla zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie badanej L1, L2 oraz Kontrolnej.....                                    | 69  |
| 4.6    Analiza różnic międzygrupowych.....   | 71  |
| 5    DYSKUSJA.....   | 80  |
| 5.1    Zdolność chodzenia.....   | 80  |
| 5.2    Funkcja motoryczna kończyn dolnych.....   | 82  |
| 5.3    Spastyczność.....   | 83  |
| 5.4    Dolegliwości bólowe.....  | 85  |
| 5.5    Ograniczenia eksperymentu.....  | 85  |
| 6    WNIOSKI.....  | 87  |
| 7    BIBLIOGRAFIA.....   | 89  |
| 8    STRESZCZENIE.....   | 99  |
| 9    SUMMARY.....  | 101 |
| 10    WYKAZ RYCIN.....   | 103 |
| 11    WYKAZ TABEL.....   | 106 |
| ANEKSY.....  | 109 |

## WYKAZ SKRÓTÓW

SCI - uraz rdzenia kręgowego (z ang. spinal cord injury)

ASIA - Amerykańskie Towarzystwo Urazów Kręgosłupa (z ang. American Spinal Injury Association)

AIS - Skala Upośledzenia Funkcji Rdzenia Amerykańskiego Towarzystwa Urazów Kręgosłupa (z ang. American Spinal Injury Association Impairment Scale)

10 MWT - 10-metrowy test marszowy (z ang. 10 meter walk test)

6MWT - test 6-minutowego marszu (z ang. 6-minute walk test)

WISCI II - Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II (z ang. Walking Index for Spinal Cord Injury II)

SCI-SET - Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego (z ang. The Spinal Cord Injury Spasticity Evaluation Tool)

OUN - ośrodkowy układ nerwowy

QOL - jakość życia (z ang. quality of life)

ADL - Skala Oceny Podstawowych Czynności Życia Codziennego (z ang. Activities of Daily Living)

VTE - choroba zakrzepowo-zatorowa (z ang. venous thromboembolism)

DVT - zakrzepica żył głębokich (z ang. deep vein thrombosis)

PE - zatorowość płucna (z ang. pulmonary embolism)

MVC - maksymalna dowolna siła izometryczna (z ang. maximum voluntary contraction)

LEMS - ocena motoryczna kończyn dolnych (z ang. lower extremity motor score)

VAS - Wizualna Skala Analogowa (z ang. Visual Analogue Scale)

RAGT – usprawnianie chodu wspomaganie robotem (z ang. robotic-assisted gait training)

BWSTT – usprawnianie na bieżni wspomaganiej masą ciała (z ang. Body-Weight Supported Treadmill Training)

L1- grupa usprawniana z zastosowaniem Lokomatu raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową

L2- grupa usprawniana z zastosowaniem Lokomatu dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową

Kontrol – grupa kontrolna

# 1 WSTĘP

## 1.1 Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich lat rozwój cywilizacyjny wraz z dynamicznie postępującym przemysłem motoryzacyjnym powoduje stale zwiększającą się liczbę urazów kręgosłupa na całym świecie. Urazom kręgosłupa nierzadko towarzyszy uraz rdzenia kręgowego (SCI). Uraz powoduje szereg patologicznych zmian w sferze fizycznej, psychicznej oraz społecznej człowieka. Nawet częściowe uszkodzenie może powodować zaburzenia czuciowo-ruchowe oraz niepełnosprawność ruchową na całe życie. Stopień sprawności pacjenta uwarunkowany jest poziomem, rozległością, zespołem uszkodzenia rdzenia kręgowego oraz uszkodzeniami współistniejącymi. Ze względu na złożoność obrazu klinicznego pacjenci po urazie rdzenia kręgowego wymagają wielospecjalistycznego leczenia oraz fizjoterapii ukierunkowanej na wielopoziomowe objawy. Priorytetem dla tych osób jest przywrócenie sprawności ruchowej oraz zdolności stania i chodzenia [Brown-Triolo i wsp. 2002, Anderson 2004, Ditunno i wsp. 2008]. Ograniczona możliwość pionizacji oraz lokomocji może powodować wtórne zaburzenia jak nasilenie bólu czy spastyczność mięśni, co może skutkować obniżeniem jakości życia oraz depresją.

Chociaż konwencjonalne metody fizjoterapeutyczne wykazują poprawę sprawności funkcjonalnej utrata siły oraz koordynacji znacznie ogranicza zdolność do usprawniania chodu. By zapewnić optymalny, powtarzalny wzorzec chodu oraz zwiększyć efektywność terapii po urazie neurologicznym na przełomie ostatnich dwóch dekad opracowano zrobotyzowane urządzenia wspomagające terapię chodu. Systemy robotyczne stwarzają bezpieczne środowisko dla chorego zapobiegając upadkom oraz mogą być mniej kosztowną formą usprawniania niż standardowe metody fizjoterapii [Masiero 2014]. Jak wykazuje literatura terapia chodu z zastosowaniem robotów poprawia funkcję chodu [Tefertiller i wsp. 2011], ma pozytywny wpływ na szybkość, wytrzymałość chodu, przemierzony dystans oraz równowagę ciała [Tefertiller i wsp. 2011, Nam i wsp. 2017]. Zapewnienie pozycji spionizowanej oraz możliwość poruszania się umożliwia poprawę wydolności oraz mobilności chorych [Tefertiller i wsp. 2011]. Zastosowanie systemów elektromechanicznych w terapii chodu może wpływać także na redukcję spastyczności oraz bólu [Mayr i wsp. 2007, Miller i wsp. 2016, Stampacchia i wsp. 2016]. W połączeniu z fizjoterapią konwencjonalną może dawać lepsze wyniki, głównie u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego [Benito-Penalva i wsp. 2012].

Choć wiadomo jakie potencjalne efekty terapeutyczne przynosi usprawnianie chodu z wykorzystaniem systemów robotycznych, doniesienia naukowe w przypadku pacjentów po urazie rdzenia kręgowego wciąż są niejasne. Wybór pomiędzy robotyką a terapią konwencjonalną w reedukacji chodu stanowi często duży problem. Brakuje jednoznacznych dowodów potwierdzających większą skuteczność jednej z powyższych koncepcji usprawniania. Ponadto wszelkie próby

badawcze oparte na standardach ogólnoświatowych uwzględniają terapię chodu z wykorzystaniem systemów z dużą częstotliwością, a spostrzeżenia autorów dotyczą głównie pacjentów po urazie rdzenia kręgowego w okresie ostrym lub podoстрыm.

Zastosowanie innowacyjnych robotów w naszym kraju wciąż jest kosztowną oraz mało dostępną formą usprawniania zaburzeń chodu. Zasoby finansowe pacjentów borykających się z niepełnosprawnością ruchową po urazie rdzenia kręgowego, czasami już długie lata są ograniczone i nieliczni mogą podjąć tak intensywną terapię. Nie ma jednak doniesień, które potwierdzałyby skuteczność usprawniania z wykorzystaniem systemów robotycznych z częstotliwością mniejszą niż 3 razy w tygodniu, a brak określonych optymalnych parametrów terapeutycznych uniemożliwia dostosowanie właściwej terapii do potrzeb pacjenta.

W niniejszej pracy zostaną przedstawione wyniki eksperymentu, który ma na celu określenie wpływu usprawniania chodu z zastosowaniem systemu Lokomat stosowanego z różną częstotliwością na funkcję chodu, funkcję motoryczną kończyn dolnych, spastyczność oraz dolegliwości bólowe u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym, a także znaczenie częstotliwości tego treningu na powyższe parametry.

## **1.2 Uszkodzenie rdzenia kręgowego w ujęciu historycznym**

„Postęp, który nie polega na zmianie, uzależniony jest od zapamiętywania... Ci którzy nie pamiętają przeszłości, są skazani na jej powtórzenie” [Santayana 1905]. Rada ta szczególnie warta zapamiętania w przypadku uszkodzeń rdzenia kręgowego, które swą interesującą przeszłością sięgają aż 2500 lat p.n.e. Już w starożytności, III wieku p.n.e. odnotowywane zostały pierwsze urazowe uszkodzenia rdzenia kręgowego. W papirusie odkrytym przez Edwina Smitha w XIX wieku zawarto opisy przypadków urazów rdzenia kręgowego oraz opisano charakterystyczne objawy jak paraplegia czy zaburzenia w oddawaniu moczu [Brandt-Rauf 1987]. W tamtych czasach panował pogląd, że „jest to dolegliwość, której nie należy leczyć” [Hughes 1988]. Przekonanie, że osoby dotknięte tym urazem nie mają szans na przeżycie panowało przez kolejne tysiąclecia, aż do początku XX wieku. Do połowy XX wieku poszukiwanie „lekarstwa” na uszkodzenie rdzenia kręgowego stało się zainteresowaniem coraz większej liczby badaczy. W ciągu ostatnich 50 lat rozwój medycyny, chirurgii urazowej oraz obrazowania diagnostycznego spowodował postęp w leczeniu skutków urazu rdzenia wpływających na organizm ludzki [Donovan 2007]. Dzięki postępom w procedurach medycznych oraz opiece przedszpitalnej przeżywalność oraz długość życia poszkodowanych z uszkodzeniem rdzenia kręgowego znacznie się poprawiła. Ponadto zwiększony dostęp do usług medycznych oraz rozwój w dziedzinie fizjoterapii wpłynął na znaczną poprawę jakości życia pacjentów.

Chociaż neurologowie, specjaliści rehabilitacji i fizjoterapeuci dysponują coraz nowszymi

metodami leczenia schorzeń układu nerwowego, poszukiwanie „lekarstwa” na uszkodzenie rdzenia kręgowego wciąż jest ogromnym wyzwaniem.

### **1.3 Epidemiologia urazów rdzenia kręgowego**

Uszkodzenie rdzenia kręgowego stanowi poważny problem medyczny obejmujący od 3,6 do 195,4 przypadków na milion populacji [Jazayeri i wsp. 2015], z czego 80-85% dotyczy mężczyzn, a ponad połowa osób pomiędzy 20 a 39 rokiem życia [Rosińczuk i wsp. 2014, Jankowska i wsp. 2015, Jazayeri i wsp. 2015]. Najwięcej urazów odnotowuje się w Stanach Zjednoczonych i jest to aż 17 tysięcy nowych przypadków rocznie. W Europie urazu rdzenia kręgowego doznaje od 14,5 do 15,7 osób na milion populacji [Singh i wsp. 2014]. W Polsce wciąż nie ma dokładnych danych, szacuje się, że jest to około 800 przypadków rocznie [Kiwerski 2005].

Dominującą przyczyną urazów są wypadki komunikacyjne, ale także upadki z wysokości, akty przemocy, wypadki militarne czy sporty ekstremalne [Krause i wsp. 2009, Rosińczuk i wsp. 2014, Jankowska i wsp. 2015]. W Zachodniej Afryce wypadki komunikacyjne stanowią aż 89% przyczyny urazu rdzenia kręgowego, a w Polsce jest to blisko 33% [Kiwerski 2005, Olasode i wsp. 2006, Ptaszyńska-Sarosiek i wsp. 2007]. Najczęstszą przyczyną urazów w naszym kraju są upadki z wysokości, które w latach 1965-1982 wynosiły 58,7%, a w latach 1983-1999 51,8%. Przeciwnie kształtuje się sytuacja z uszkodzeniami kręgosłupa spowodowanymi wypadkami drogowymi, które w latach 1965-1982 wynosiły 30,4%, a w latach 1983-1999 36,7% [Kiwerski 2005]. Dane te wskazują, że liczba urazów wynikająca z upadków maleje, a wzrasta liczba urazów spowodowanych wypadkami drogowymi. Może to sugerować, że rozwój motoryzacji oraz coraz większa mobilność populacji powoduje wzrost urazów wynikających z wypadków komunikacyjnych.

Okolo 53% uszkodzeń rdzenia kręgowego spowodowanych urazem stanowi częściowe uszkodzenie [Shin i wsp. 2014]. Jak wykazują badania liczba niecałkowitych uszkodzeń stale wzrasta, co może wynikać z postępu medycyny chirurgicznej oraz dostępu do natychmiastowej opieki leczniczej. Ponadto wraz ze starzeniem się społeczeństwa oraz wzrostem upadków ludzi w podeszłym wieku, które powodują najczęściej dany typ urazu tendencja ta będzie się nasilać [Shin i wsp. 2013].

### **1.4 Mechanizm i klasyfikacja urazów rdzenia kręgowego**

Wyróżniamy dwa mechanizmy urazu rdzenia kręgowego: uraz zamknięty oraz penetrujący [Kozubski i wsp. 2004]. W wyniku urazu zamkniętego dochodzi do pochłonięcia części energii przez mięśnie, więzadła oraz elementy kostne kręgosłupa, co może powodować złamania bądź zwichnięcia kręgow, uszkodzenia więzadeł oraz krążków międzykręgowych [Kozubski i wsp. 2004, Kiwerski 2014]. Przemieszczenia kręgow lub elementów kostnych mogą prowadzić do rozrywania opony oraz tkanki nerwowej, uciskać na naczynia krwionośne oraz struktury nerwowe, a także powodować

stłuczenie rdzenia [Kozubski i wsp. 2004]. Siły działające w różnych kierunkach mogą powodować skręcanie, rozciąganie oraz ściskanie rdzenia w wyniku jego gwałtownych przemieszczeń, bez uszkodzeń kręgosłupa. Natomiast uraz rdzenia kręgowego bądź korzeni bez jednoczesnego uszkodzenia kręgosłupa jest zjawiskiem niezwykle rzadkim [Kozubski i wsp. 2004].

W zależności od rodzaju działających sił oraz mechanizmu urazu uszkodzenia rdzenia mogą być całkowite lub częściowe. Uszkodzenia częściowe składają się z zespołów neurologicznych o bardziej zróżnicowanym charakterze i stopniu uszkodzenia. Do zespołów częściowego uszkodzenia rdzenia należą: zespół połowiczego uszkodzenia rdzenia (Brown-Séquarda), zespół centralny, zespół tętnicy rdzeniowej przedniej, stłuczenie rdzenia tylne oraz zespół wstrząśnienia rdzenia [Kiwski 2014].

Zespół Brown- Séquarda jest wynikiem bocznego uszkodzenia połowy rdzenia. Występuje po złamaniach zgięciowych, zgięciowo-rotacyjnych kręgosłupa oraz tępych urazach rdzenia kręgowego. Charakteryzuje się porażeniem połowicznym (uszkodzenie dróg piramidowych) oraz ubytkiem czucia proprioceptywnego po stronie urazu (uszkodzenie dróg sznurów tylnych), a także ubytkiem czucia bólu i temperatury po stronie przeciwnej (uszkodzenie skrzyżowania dróg rdzeniowo-wzgórzowych). U pacjentów mogą pojawiać się bóle korzeniowe, przeczulica oraz zaburzenia naczynioruchowe [Kozubski i wsp. 2004, Kiwski 2014].

Zespół centralny jest najczęściej spowodowany wyprostnym uszkodzeniem kręgosłupa oraz dotyczy obszaru unaczynienia tętnicy rdzeniowej przedniej. Charakteryzuje się niedowładem czterokończynowym znacznie większym w obrębie kończyn górnych niż dolnych. Obserwuje się także zaburzenia czynności pęcherza moczowego oraz zaburzenia czucia bólu i temperatury [Kiwski 2014].

Zespół tętnicy rdzeniowej przedniej spowodowany jest zgnieceniem, uszkodzeniem przedniej części rdzenia [Schneider i wsp. 1970]. Objawia się całkowitym porażeniem ruchowym, zaburzeniem czucia bólu poniżej uszkodzenia oraz zachowaniem czucia dotyku, ułożenia oraz wibracji [Kiwski 2014].

Stłuczenie tylnej części rdzenia charakteryzuje się symetrycznymi bólami, zaburzeniami czucia oraz mrowieniem w okolicy szyi, kończyn górnych, a także tułowia [Kiwski 2014]. Zespół opisany przez Biemonda jest odwracalnym uszkodzeniem głównie rogów tylnych rdzenia [Biemond 1964].

Wstrząśnienie rdzenia charakteryzuje się chwilowym zaburzeniem czynności rdzenia, całkowicie odwracalnym. [Gaździk 2001, Kiwski 2014].

Do oceny ciężkości uszkodzenia rdzenia kręgowego stosuje się klasyfikację uszkodzeń rdzenia kręgowego opracowaną przez Amerykańskie Towarzystwo Urazów Kręgosłupa (ASIA) [Kozubski i wsp. 2004, Kiwski 2014]. Na podstawie badania zaburzeń czucia dotyku i bólu oraz



siły mięśniowej określonych zespołów dynamicznych dostosowana jest jedna z pięciu grup uszkodzeń rdzenia kręgowego: A – uszkodzenie całkowite: brak funkcji ruchowej i czuciowej w segmentach S4-S5, B – uszkodzenie częściowe: brak czynności ruchowej poniżej poziomu uszkodzenia przy zachowanym czuciu obejmującym również segmenty S4-S5, C – uszkodzenie częściowe: funkcja ruchowa jest zachowana poniżej poziomu uszkodzenia, ale siła większości mięśni została określona na mniej niż 3 punkty w skali pięciostopniowej, D – uszkodzenie częściowe: funkcja ruchowa jest zachowana poniżej poziomu uszkodzenia, ale siła większości mięśni została określona na 3 lub więcej punktów w skali pięciostopniowej, E – norma: funkcja ruchowa i czuciowa pozostają w normie [Kozubski i wsp. 2004].

## **1.5 Wtórne następstwa urazów rdzenia kręgowego**

Jak wiadomo osoby po urazie rdzenia kręgowego wykazują ograniczenie sprawności funkcjonalnej, zaburzenia funkcji chodu, osłabienie mięśni tj. niezdolność do generowania optymalnego poziomu siły mięśniowej, nieprawidłowy wzrost napięcia mięśniowego tj. spastyczność oraz różnego rodzaju dolegliwości bólowe [Rymer i wsp. 1987, Gerhart i wsp. 1993, Thomas i wsp. 1997, Thomas i wsp. 1998].

### **1.5.1 Zaburzenia funkcji chodu**

Chód jest skomplikowaną czynnością ruchową, będącą jednym z najistotniejszych parametrów niezależności funkcjonalnej. Ta złożona czynność wymaga koordynacji ośrodkowego oraz obwodowego układu nerwowego, układu kostno-stawowego oraz mięśniowego, a także narządu wzroku oraz układu przedsionkowego. Niezdolność do samodzielnego poruszania się oraz konieczność przebywania na wózku inwalidzkim stanowią dla pacjenta po urazie rdzenia kręgowego poważne wyzwanie. Długotrwała pozycja siedząca na wózku inwalidzkim oraz zmniejszona możliwość pionizacji może prowadzić do istotnych problemów medycznych. Te niekorzystne skutki dla zdrowia mogą obejmować powikłania skórne, nasilenie bólu, spastyczności, infekcji dróg moczowych, upośledzenie funkcji trawiennych, limfatycznych, naczyniowych, zwiększony wskaźnik masy ciała, zmniejszoną masę mineralną kości oraz spadek wydolności oddechowej [Philips i wsp. 1987, Noreau i wsp. 2000, Ragnarson 2007]. Regularne chodzenie może zwalczać wtórne problemy medyczne związane z brakiem aktywności obciążeniowej u pacjentów po urazie rdzenia.

Chód po urazie rdzenia kręgowego charakteryzuje się m.in. zmniejszoną prędkością, nieprawidłowymi wzorcami kinematycznymi oraz zaburzoną aktywacją mięśni [Barbeau i wsp. 1998]. U pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego obustronna aktywacja mięśni kończyn dolnych połączona ze skoordynowanymi krokami może być wywołana za pomocą systemów lokomotorycznych. Urządzenia zapewniają wyprostowaną postawę ciała jednocześnie

umożliwiający ruchy kończyn dolnych, skoordynowany ruch górnej części ciała oraz cykliczne przenoszenie ciężaru z jednej kończyny dolnej na drugą. Ta obiecująca koncepcja usprawniania pacjentów po urazie rdzenia kręgowego umożliwia wczesne rozpoczęcie terapii chodu oraz kroczenia poprzez zastosowanie symetrycznego wzorca chodu [Dietz i wsp. 1998]. Poprzez zapewnienie mobilności, częstość i czas użytkowania przez osoby z ograniczeniami ruchowymi mogą być zwiększone.

Istnieje kilka powszechnie stosowanych narzędzi pomiarowych do oceny różnych aspektów zdolności chodzenia u osób po urazie rdzenia kręgowego m.in. test marszu na 10 metrów (10MWT), test 6-minutowego marszu (6MWT), indeks chodzenia po urazie rdzenia kręgowego II (WISCI II) [Fang i wsp. 2020]. 10MWT i 6MWT są trafne i wiarygodne do pomiaru zdolności chodzenia u osób po urazie rdzenia, ponadto 6MWT jest dobrym narzędziem do oceny wytrzymałości [Amatachaya i wsp. 2014]. WISCI II jest szczegółową oraz kompleksową oceną funkcjonalną chodzenia, uwzględniającą zarówno stosowanie sprzętu pomocniczego (balkonik, kule lub laska), jak ortezy, pomocy fizycznej lub nadzoru ze strony osób drugich [Opara i wsp. 2007].

### **1.5.2 Zaburzenia aktywacji mięśniowej**

Uraz rdzenia kręgowego prowadzi do wyraźnych niedowładów czy porażań mięśni szkieletowych poniżej poziomu uszkodzenia. Włókna mięśniowe aktywowane podczas ruchu funkcjonują poprzez inicjację siły i mocy wytwarzanej przez aktyne i miozyny na zasadzie teorii przesuwających się włókien [Lee i wsp. 2019]. Po urazie rdzenia kręgowego dochodzi do zmniejszenia obciążenia stawów, zaburzając neuronowo-mięśniową jednostkę strukturalną potrzebną do skurczu [Yang i wsp. 2013]. W zależności od rodzaju mięśnia i kompletności zmiany osoby po urazie doświadczają zaniku mięśni o około 30-60% [Bettis i wsp. 2018]. Szacuje się, że w wyniku częściowego uszkodzenia rdzenia kręgowego pacjenci doznają 20-30% straty masy mięśniowej, co prowadzi do zaburzenia równowagi organizmu [Baligand i wsp. 2015]. Zanik mięśni zależy od równowagi między rozpadem białek, szybkością syntezy białek i apoptozą. Przypisuje się to aktywacji różnych szlaków degradacji białek w kilku modelach ich nieużywania [Baligand i wsp. 2015]. W wyniku zmniejszenia aktywacji mięśniowej dochodzi do zaburzeń ogólnoustrojowych, zmian w składzie mięśni, zwiększenia śródmięśniowej tkanki tłuszczowej oraz zmniejszenia trofizmu mięśniowego [Jayaraman i wsp. 2006, Moore i wsp. 2015]. Te zmiany morfologiczne sprzyjają zmniejszeniu zdolności do generowania maksymalnej siły oraz wytrzymałości, co jest częstym problemem u osób po urazie rdzenia. Ponadto u osób tych zauważono zmiany w typach włókien mięśniowych. Występuje zdecydowany wzrost włókien mięśniowych typu IIb (wysocenie glikolitycznych) z redukcją włókien mięśniowych typu I (utleniających) i typu IIa (mieszanych), co przyczynia się do zwiększonej męczliwości tych mięśni [Drasites i wsp. 2020].

Zanik mięśniowy związany jest także ze spadkiem gęstości mineralnej kości, uszkodzeniem aksonów nerwów obwodowych oraz mitochondriów [Sribnick i wsp. 2010, Yang i wsp. 2013, Gorgey i wsp. 2018, Kodani i wsp. 2019]. W uszkodzeniu rdzenia kręgowego występuje wyjątkowa forma atrofii nieużywanej, ponieważ występuje całkowite lub częściowe przerwanie tonicznej komunikacji między ośrodkowym układem nerwowym (OUN) a mięśniami szkieletowymi. Odciążenie oraz zakłócenie komunikacji w OUN skutkuje gwałtownym pogorszeniem funkcji mięśni szkieletowych i stanu metabolicznego, niezbędnego dla zdrowia i funkcji mitochondriów [Gorgey i wsp. 2018]. Zmniejszenie rutynowych obciążeń grawitacyjnych oraz mięśniowych przyczynia się także do demineralizacji kości, co może powodować powstawanie neurogennej osteoporozy [Dudley-Javoroski i wsp. 2008]. Jak wykazano aż 50% składników mineralnych kości w porażonych kończynach może zostać utracone w ciągu 3 do 8 lat po urazie [Eser i wsp. 2004]. Ciężka degradacja kości zwiększa ryzyko złamań w wyniku drobnych urazów kończyn, które mogą wystąpić nawet podczas wykonywania codziennych czynności.

Zanik mięśni, głównie podudzia może przyczyniać się również do przewlekłych zaburzeń żylnych w obrębie kończyn dolnych. Niedziałające zastawki oraz patologiczny przepływ wsteczny zwiększa ryzyko żylnych choroby zakrzepowo-zatorowej (VTE), zakrzepicy żył głębokich (DVT) i zatorowości płucnej (PE) [Rossi i wsp. 1980, Meissner 2005]. W celu zapobiegania lub odwracania zmian powstałych w układzie mięśniowo-szkieletowym powstałych w wyniku urazu rdzenia kręgowego stosuje się różne metody fizjoterapeutyczne. Strategie zmniejszania stopnia zaniku mięśni po urazie rdzenia obejmują ćwiczenia fizyczne, które pobudzają regenerację włókien mięśniowych [Galea 2011]. Jak sugeruje Dudley-Javoroski [2008] nie tylko aktywacja włókien mięśniowych, ale także obciążenie jest kluczowym czynnikiem wywołującym hipertrofię mięśni.

### **1.5.3 Spastyczność**

Spastyczność definiowana jest jako „zaburzona kontrola sensoryczno-motoryczna, wynikająca z uszkodzenia górnego neuronu ruchowego, objawiająca się przerywanymi lub podtrzymywanymi mimowolnymi skurczami mięśni” [Burridge i wsp. 2005]. Termin ten nie ogranicza się już tylko do „hipertoniczności mięśni” jak sugerował Lance [1980], ale obejmuje liczne cechy zespołu górnego neuronu ruchowego (tj. klonusy, skurcze) [Adams i wsp. 2007]. Po upływie okresu szoku rdzenia, gdy rdzeń pozbawiony jest kontroli nadrdzeniowej, następuje znaczne zwiększenie aktywności motoneuronów, co powoduje przedłużone, niekontrolowane, nadmierne skurcze mięśni szkieletowych oraz wygórowaną odpowiedź na stymulację dotykową, bólową czy proprioceptywną [Adams i wsp. 2007]. Przerwanie funkcjonalnej ciągłości rdzenia blokuje przekazywanie impulsów aferentnych do pól supraspinalnych, co doprowadza do dezorganizacji funkcji rdzenia. Niezależnie od rodzaju, miejsca zadziałania bodźca oraz znaczenia dla

funkcjonowania organizmu wywołana jest taka sama odpowiedź [Kiwski 2014]. Nagły wzrost spastyczności może wywołać delikatny dotyk, podrażnienie skóry, rozciągnięcie przepelnionego pęcherza moczowego, a także bodźce chemiczne oraz toksyczne.

Objawy spastyczności dotyczą 65-78% osób z przewlekłym uszkodzeniem rdzenia kręgowego [Maynard 1990, Skold 1999]. Spastyczność wpływa negatywnie na jakość życia (QOL) poprzez ograniczanie podstawowych codziennych czynności (ADL), hamowanie efektywnego chodzenia, wywoływanie dolegliwości bólowych, zmęczenia, zmniejszanie poczucia bezpieczeństwa, zakłócenia snu oraz zwiększanie ryzyka powstawania przykurczów czy odleżyn [Adams i wsp. 2005, Adams i wsp. 2007]. Powszechnie uważa się, że spastyczność determinuje nieprawidłowy wzorzec chodu po urazie rdzenia kręgowego [Krawetz 1996], choć według Norman i wsp. [1998] związek ten jest niejasny.

Określenie nasilenia spastyczności jest podstawowym elementem badania klinicznego i funkcjonalnego osoby po urazie rdzenia kręgowego. Jest konieczne w ocenie wstępnej, kontrolowaniu przebiegu choroby oraz postępów leczenia zmierzającego do normalizacji uogólnionego napięcia mięśniowego. Powszechnie stosowane skale określające stopień spastyczności po urazie rdzenia mają niską wiarygodność, a wyniki badania z zastosowaniem różnych metod pomiaru słabo korelują między sobą. Badania wykazały również niski związek oceny badającego z samooceną pacjenta oraz poprawą funkcjonowania [Adams 2007]. Zachęcające jest uznanie znaczenia samooceny pacjentów, którzy mogą ocenić wpływ spastyczności na codzienne funkcjonowanie.

#### **1.5.4 Zespoły bólowe**

Zespoły bólowe po urazie rdzenia kręgowego według Bedbrooka [1981] występują u około 40% leczonych, a u 9% o znacznym nasileniu. Inni autorzy twierdzą, że zespoły bólowe wywołujące problemy lecznicze pojawiają się dużo rzadziej [Nashold i wsp. 1981, Kiwski 2014]. Dolegliwości bólowe mogą dotyczyć różnych okolic, narządów, tkanek, ukazywać się po kilku dniach od urazu jak i w odległym okresie. Wyróżniamy dwa rodzaje bólu: nocycyptywny oraz neurogenny [Kiwski2014]. Ból nocycyptywny obejmuje ból mięśniowo-szkieletowy, który pojawia się w obszarach z zachowanym unerwieniem czuciowym. Może być konsekwencją przeciążenia struktur mięśniowo-szkieletowych w wyniku korzystania z wózka inwalidzkiego [Shiao i wsp. 2018]. Ból neurogenny dotyczy uszkodzenia bądź zmian chorobowych układu somatosensorycznego, zarówno części obwodowej jak i centralnej. Ze względu na złożoność problemu, ból może być zarówno nocycyptywny jak i neuropatyczny [Kiwski 2014].

Bóle w wyniku uszkodzenia rdzenia kręgowego można podzielić na:

1. Bóle okolicy przykręgosłupowej w miejscu urazu, które najczęściej występują we

wczesnym okresie po urazie, mogą nasilać się przy zmianie pozycji oraz poruszaniu się.

2. Bóle korzeniowe promieniujące do kończyny pojawiają się w okolicy zaopatrującej przez uszkodzony lub drażniony korzeń nerwowy. W wyniku silnego naciągnięcia lub zgniecenia korzenia rdzeniowego bez przerywania jego ciągłości bóle korzeniowe mogą przemieszczać się ku obwodowi kończyny.
3. Bóle pochodzenia centralnego, do których zalicza się bóle trzewne oraz fantomowe. Bóle trzewne często powstają w wyniku zaburzeń funkcji przewodu pokarmowego (wzdęcia, zaburzenia perystaltyki) oraz moczowego (przepełnienie pęcherza, wodonercze).  
Bóle fantomowe mogą przejawiać się bólem piekącym, uczuciem wykręcania, zgniatania porażonych kończyn lub ich niewygodnego ułożenia.
4. Bóle przeciążeniowe występują po zbyt intensywnym treningu lub w wyniku nagłego rezygnowania z długotrwałego unieruchomienia.
5. Bóle występujące na granicy uszkodzenia neurologicznego występują rzadko, mogą być następstwem pourazowej jamistości rdzenia [Kiwski 2014].

## **1.6 Zastosowanie systemów lokomotorycznych w fizjoterapii po uszkodzeniu rdzenia kręgowego**

Urządzenia lokomotoryczne stosowane są przede wszystkim w usprawnianiu chodu i dedykowane głównie pacjentom z uszkodzeniami neurologicznymi. Aktywnie wspierają reedukację prawidłowych wzorców chodu poprzez właściwe przenoszenia środka ciężkości ciała oraz potencjalne łagodzenie zachowań kompensacyjnych. Systemy robotyczne powodują odciążenie fizjoterapeutów podczas reedukacji chodu zapewniając powtarzalność chodu pacjenta. Pierwsze systemy oparte na robotach wprowadzono ponad 20 lat temu i bardzo szybko zyskały wielu zwolenników. Jak wykazuje literatura terapia chodu przy użyciu robotów poprawia funkcję chodu głównie u pacjentów po urazie rdzenia kręgowego [Tefertiller i wsp. 2011]. Na rynku istnieje wiele zrobotyzowanych technologii włączanych do ośrodków neurorehabilitacji na całym świecie.

Dotychczas najlepiej poznanym i opisanym urządzeniem jest Lokomat (Hocoma, AG, Volketswil, Szwajcaria), znany również jako napędzana orteza chodu [Lünenburger i wsp. 2004]. Został wprowadzony po raz pierwszy w 2003 roku i był stosowany do poprawy funkcji motorycznych u pacjentów po urazie rdzenia kręgowego. Lokomat jest egzoszkieletem stacjonarnym, który umożliwia usprawnianie chodu na bieżni w warunkach dynamicznego odciążenia. Dynamiczne odciążenie zapewnia wczesne rozpoczęcie terapii chodu u pacjentów bez dostatecznej siły mięśniowej, a ergonomiczna budowa umożliwia zwiększenie efektywności terapii. Zastosowanie

nowoczesnych rozwiązań umożliwia rotację miednicy i bardziej fizjologiczne przesuwanie ciężaru ciała podczas chodu. Zrobotyzowana orteza jest w stanie wykonać zadanie usprawniania na bieżni, zapewniając wystarczające momenty obrotowe, aby osiągnąć fizjologiczne wzorce chodu i realistyczne wrażenia z kroczenia [Hussain i wsp. 2012]. Ocena fizjologiczna stabilizacji stawów kolanowych i biodrowych oraz sił izometrycznych wywieranych kolejno na staw biodrowy i kolanowy podczas wyprostów umożliwia dostosowanie wzorca chodu oraz siły prowadzenia do indywidualnych potrzeb pacjenta oraz optymalizację terapii funkcjonalnej we wszystkich płaszczyznach [Tarnacka i wsp. 2017]. Liczne doniesienia naukowe wykazują poprawę parametrów chodu po usprawnianiu z zastosowaniem Lokomatu. Udowodniono poprawę szybkości, wytrzymałości chodu oraz wskaźnika WISCI II [Hornby i wsp. 2005, Schwartz i wsp. 2011, Fang i wsp. 2020]. Według Hwang i wsp. [2017] pacjenci wykazujący poprawę mają młodszy wiek, krótszy czas trwania choroby oraz paraplegię AIS-C, AIS-D lub tetraplegię AIS-D. Ponadto zastosowanie Lokomatu wpływa na wzrost siły mięśni kończyn dolnych, zmniejszenie sztywności mięśniowej oraz spastyczności [Galen i wsp. 2014, Mirbagheri i wsp. 2011, Mirbagheri 2015, Varoqui i wsp. 2014]. Jak wykazano sztywność mięśniowa zmniejszyła się do 60%, a maksymalny dowolny skurcz (MVC) zwiększył się do 93% w prostownikach oraz 180% w zginaczach stawu skokowego po 4 tygodniach terapii [Mirbagheri i wsp. 2011]. Podobnie w zginaczach oraz prostownikach stawu biodrowego oraz kolanowego zaobserwowano wzrost maksymalnych momentów obrotowych po 6-tygodniowym okresie [Galen i wsp. 2014]. Zaobserwowano także poprawę w funkcji motorycznej kończyn dolnych (LEMS) [Alcobendas-Maestro i wsp. 2012, Fang i wsp. 2020]. Wskaźnik LEMS, WISCI II oraz test 6-minutowego marszu był lepszy po zastosowaniu Lokomatu w porównaniu ze standardową terapią chodu, natomiast prędkość chodu nie różniła się w obu grupach [Alcobendas-Maestro i wsp. 2012]. Co więcej, Lokomat może być skuteczniejszy w modyfikowaniu zaburzeń nerwowo-mięśniowych związanych ze spastycznością niż powszechnie stosowane leki [Mirbagheri 2015] oraz zmniejszać dolegliwości bólowe [Silfout i wsp. 2020]. Wcześniejsze badania ujawniły, że aktywność czuciowo-ruchowa podczas terapii na bieżni zmniejsza ból i gęstość włókien nocyceptywnych w rdzeniowym rogu grzbietowym u myszy z ostrym, podoстрыm oraz przewlekłym uszkodzeniem rdzenia kręgowego [Nees i wsp. 2016, Sliwinski i wsp. 2018].

Obecnie nie ma zgody co do najkorzystniejszej terapii usprawniającej chodzenie u pacjentów po urazie rdzenia kręgowego [Nooijen i wsp. 2009, Swinnen i wsp. 2010], a różnice w zakresie objętości terapii oraz osiągniętych parametrów chodu dostępne w literaturze są niejasne.

## 1.7 Wpływ systemów lokomotorycznych na plastyczność mózgu

Neuroplastyczność jest fundamentalnym procesem zachodzącym w układzie nerwowym i definiowana jest jako trwała zmiana odpowiedzi komórek nerwowych wywołana działaniem bodźców ze środowiska zewnętrznego lub wewnętrznego, gdzie dochodzi do uszkodzenia układu nerwowego [Jurkiewicz i wsp. 2007]. Neuroplastyczność jest kluczem do przezwyciężenia utraty tkanek ośrodkowego układu nerwowego (OUN) wywołanej urazem i wynikających z niej deficytów sensomotorycznych. Po uszkodzeniu rdzenia kręgowego występuje na kilku anatomicznych i fizjologicznych poziomach OUN, tj. rdzenia kręgowego, pnia oraz kory mózgu [Jurkiewicz i wsp. 2007, Onifer i wsp. 2011]. Obejmuje zmiany w formacjach oraz sile synaptycznej, kiełkowaniu aksonów oraz właściwości wewnątrzkomórkowych [Dietz i wsp. 2014]. Po urazie rdzenia kręgowego większość regeneracji deficytów czuciowo-ruchowych oraz wywołanych potencjałów somatosensorycznych ma miejsce w okresie od 12 do 15 tygodni [Curt i wsp. 2002]. W późniejszych okresach zmiany mogą być wywołane terapią funkcjonalną. Usprawnianie funkcjonalne jest najkorzystniejszym sposobem na ukierunkowanie i zwiększanie plastyczności, a przez to odzyskanie funkcji motorycznych [Dietz i wsp. 2014].

Jedną ze skuteczniejszych form terapii funkcjonalnej jest chodzenie z zastosowaniem systemów lokomotorycznych. Usprawnianie lokomotoryczne po urazie rdzenia kręgowego może poprawić zdolność lokomotoryczną nawet u osób z niskim wynikiem motorycznym a wykonywane ruchy wywołać odpowiedni sygnał aferentny do rdzenia kręgowego, co wzbudza neuroplastyczność [Dietz i wsp. 2004]. Jak udowodniono u pacjentów po zastosowaniu systemów lokomotorycznych dochodzi do funkcjonalnych i strukturalnych zmian w pierwszorzędowej korze somatosensorycznej oraz ruchowej [Henderson i wsp. 2011, Humanes-Valera i wsp. 2013]. Ponadto, chociaż uszkodzenie rdzenia kręgowego wiązało się z utratą objętości istoty szarej, strata ta została zminimalizowana wraz ze wzrostem reorganizacji [Topka i wsp. 1991]. Przerwanie stymulacji aferentnej oraz dróg ruchowych powoduje powiększanie się odpowiednich obszarów korowych oraz zwiększoną pobudliwość kory sensomotorycznej dla nieuszkodzonych części ciała, proksymalnie od uszkodzenia rdzenia kręgowego [Topka i wsp. 1991, Jurkiewicz i wsp. 2007]. Po 12-tygodniowym treningu z użyciem egzoskieletu wykazano normalizację zwiększonej pobudliwości pierwszorzędowej kory czuciowej S1 oraz zwiększenie aktywacji pierwotnej kory ruchowej M1 u osób z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego [Szczesny-Kaiser i wsp. 2015]. Według autorów usprawnianie powoduje intensywną stymulację aferentną i pobudzenie kory S1 lub tworzenie się nowych połączeń między korą S1 i M1. Zmiany pobudliwości są powiązane z poprawą funkcji chodu, co dotyczy rekrutacji nowych połączeń oraz bardziej efektywnym angażowaniem pozostałych dróg somatosensorycznych i dróg korowo-rdzeniowych [Szczesny-Kaiser i wsp. 2015]. W badaniu z wykorzystaniem systemu Lokomat wykazano wzrost sygnałów w obrębie kory S1, S2 oraz mózdzku

[Winchester i wsp. 2005]. Ponadto u osób z większą aktywacją mózdzku dochodziło do poprawy funkcji chodu i może być ona niezbędna do powstania odpowiedniego wzorca chodu w wyniku aktywacji dróg aferentnych [Winchester i wsp. 2005]. Po zastosowaniu podobnego usprawniania, z oporem wykazano także wzrost pobudliwości somatosensorycznej i pobudliwości korowordzeniowej oraz zwiększoną siłę łączności funkcjonalnej w korze ruchowej w stanie spoczynku [Chisholm i wsp. 2015].

Według kilku autorów usprawnianie na bieżni wspomaganej masą ciała jest równie skuteczne, jak wspomagany trening naziemny [Alexeeva i wsp. 2011, Field-Fote i wsp. 2011]. Brakuje jednak dowodów potwierdzających, która z koncepcji treningu lokomotorycznego najskuteczniej promuje neuroplastyczność.



## 2 CEL PRACY

Ogólnym celem pracy była ocena wpływu dwóch 6-tygodniowych programów terapeutycznych z wykorzystaniem systemu robotycznego z różną częstością w połączeniu z fizjoterapią standardową: (1) usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu oraz (2) usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu na zmiany funkcji chodu, funkcję motoryczną kończyn dolnych, zmiany odczuwanego poziomu spastyczności oraz dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym oraz określenie czy pojawiło się zróżnicowanie wybranych parametrów pomiędzy wyróżnionymi grupami badanymi oraz grupą kontrolną (konwencjonalne metody fizjoterapii bez zastosowania urządzenia robotycznego).

Po określeniu ogólnego celu badań sformułowano szereg szczegółowych pytań badawczych:

1. Czy usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową wpływa na poprawę funkcji chodu, funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz zmniejszenie odczuwanego poziomu spastyczności i dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym?
2. Czy usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową wpływa na poprawę funkcji chodu, funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz zmniejszenie odczuwanego poziomu spastyczności i dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym?
3. Czy usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową i konwencjonalne metody fizjoterapii prowadzą do podobnej poprawy funkcji chodu, funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz zmniejszenia odczuwanego poziomu spastyczności i dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym?
4. Czy usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową i konwencjonalne metody fizjoterapii prowadzą do podobnej poprawy funkcji chodu, funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz zmniejszenia odczuwanego poziomu spastyczności i dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym?
5. Czy usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową i usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową prowadzi do podobnej poprawy funkcji chodu, funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz zmniejszenia odczuwanego

poziomu spastyczności i dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym?

Hipotezy badawcze:

1. Usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową wpływa na poprawę funkcji chodu i funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz zmniejszenie odczuwanego poziomu spastyczności i dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym.
2. Usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową wpływa na poprawę funkcji chodu i funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz zmniejszenie odczuwanego poziomu spastyczności i dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym.
3. Usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową prowadzi do większej poprawy funkcji chodu i funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz skuteczniej zmniejsza odczuwany poziom spastyczności i dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym niż konwencjonalne metody fizjoterapii.
4. Usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową prowadzi do większej poprawy funkcji chodu i funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz skuteczniej zmniejsza odczuwany poziom spastyczności i dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym niż konwencjonalne metody fizjoterapii.
5. Usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową prowadzi do większej poprawy funkcji chodu i funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz skuteczniej zmniejsza odczuwany poziom spastyczności i dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym niż usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową.

## **Aplikacyjny cel badań**

W niniejszym projekcie poza celem głównym wyszczególniono cele aplikacyjne.

Pierwszy z nich stanowił sprawdzenie czy programy usprawniania z wykorzystaniem Lokomatu Pro z różną częstością (1) jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową oraz (2) dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową powinny być stosowane w celu poprawy stanu funkcjonalnego oraz samopoczucia pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym.

Drugim celem aplikacyjnym było sprawdzenie czy usprawnianie z wykorzystaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową oraz usprawnianie z wykorzystaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową jest skuteczniejszą formą fizjoterapii pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym niż konwencjonalne metody fizjoterapii.

Ostatnim celem aplikacyjnym było określenie czy częstość usprawniania z wykorzystaniem robota ma znaczenie w procesie fizjoterapeutycznym pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym.

### **3 MATERIAL I METODY BADAŃ**

Niniejszy eksperyment przeprowadzono w Centrum Neurorehabilitacji i Fizjoterapii Dysfunkcji Narządu Ruchu MODERN-REH w Mysłowicach. Analizy materiału badawczego wykonano w Pracowni Sprawności Psychomotorycznej AWF Katowice. Eksperyment został pozytywnie zaopiniowany przez Komisję Bioetyczną ds. Badań Naukowych Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach ( 9/2012 z dnia 8 marca 2012r.).

#### **3.1 Uczestnicy badania**

Nabór pacjentów do badania rozpoczęto w styczniu 2021 roku. Wstępna rekrutacja odbywała się drogą telefoniczną lub mailową. Następnie na podstawie wywiadu oraz badania przeprowadzonego przez wykwalifikowanego fizjoterapeutę zebrano informacje dotyczące kryteriów selekcji.

Kryteria włączenia obejmowały:

- Wiek pomiędzy 18-50 lat
- Urazowe uszkodzenie rdzenia kręgowego
- Częściowe uszkodzenie rdzenia kręgowego (stopień B, C lub D według AIS) na poziomie C6-Th12
- Okres przewlekły od 12 miesięcy do 5 lat od urazu
- Niekorzystanie z innych form usprawniania ruchowego
- Niestosowanie leków miorelaksacyjnych i/lub przeciwbólowych
- Świadoma zgoda pacjenta na udział w badaniu

Kryteria wyłączenia stanowiły wszelkie przeciwwskazania uniemożliwiające przeprowadzenie usprawniania z wykorzystaniem systemu Lokomat lub/i fizjoterapii konwencjonalnej m.in.:

- Brak możliwości dopasowania ortez dla kończyn dolnych
- Asymetria długości kończyn dolnych powyżej 2 cm
- Masa ciała powyżej 135 kg
- Niestabilność układu szkieletowego (brak zrostu kostnego, niestabilność kręgosłupa, zaawansowana osteoporoza)
- Otwarte rany w obrębie kończyn dolnych i/lub tułowia
- Pacjenci pod (długotrwałą) terapią infuzyjną
- Pacjenci korzystający z respiratora
- Przeciwwskazania kardiologiczne
- Problemy z krążeniem
- Poważne zaburzenia naczyniowe w obrębie kończyn dolnych

- Zaburzenia poznawcze i/lub komunikacyjne
- Usztywnienie stawów biodrowych, kolanowych i/lub skokowych

W trakcie wstępnego naboru do badań zarejestrowano 34 ochotników. Po dokonaniu weryfikacji kryteriów selekcji 2 osoby, u których zaobserwowano odlegliny w okolicy kości krzyżowej nie zostały włączone do eksperymentu. W trakcie trwania procesu usprawniania 2 osoby zrezygnowały z terapii z przyczyn osobistych (1 z grupy L1, 1 z grupy L2). Ostatecznie przebadano 30 uczestników.

Przed rozpoczęciem badania wszyscy uczestnicy zostali poinformowani o jego przebiegu oraz wyrazili świadomą zgodę na udział. Następnie zostali losowo przydzieleni do jednej z trzech grup badanych. Przydział został wykonany przez osobę niezwiązaną z procesem badawczym poprzez wylosowanie wydrukowanej etykiety (L1 – usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową, L2 – usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową lub Kontrol – usprawnianie konwencjonalnymi metodami fizjoterapii bez zastosowania urządzenia robotycznego).

W Tabeli I przedstawiono analizę poszczególnych grup badanych pod względem liczności w aspekcie płci, wieku, masy i wysokości ciała, poziomu urazu, stopnia AIS oraz lat po urazie. W Tabeli II zaprezentowano podstawowe statystyki opisowe tych zmiennych.

**Tabela I** Tabela liczności dla płci, wieku, masy i wysokości ciała, poziomu urazu, stopnia AIS oraz lat po urazie w grupie L1, L2 i Kontrol

| GRUPA |           | L1 (n=10) |         | L2 (n=10) |         | Kontrol (n=10) |         |
|-------|-----------|-----------|---------|-----------|---------|----------------|---------|
| KLASA |           | Liczba    | Procent | Liczba    | Procent | Liczba         | Procent |
| PŁEĆ  | Mężczyźni | 7         | 70      | 7         | 70      | 5              | 50      |
|       | Kobiety   | 3         | 30      | 3         | 30      | 5              | 50      |
| WIEK  | 18        | 1         | 10      | 1         | 10      | 0              | 0       |
|       | 19        | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
|       | 20        | 1         | 10      | 0         | 0       | 0              | 0       |
|       | 22        | 0         | 0       | 1         | 10      | 1              | 10      |
|       | 25        | 2         | 20      | 1         | 10      | 0              | 0       |
|       | 26        | 1         | 10      | 0         | 0       | 0              | 0       |
|       | 27        | 0         | 0       | 1         | 10      | 1              | 10      |
|       | 28        | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
|       | 30        | 1         | 10      | 0         | 0       | 0              | 0       |
|       | 33        | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
|       | 38        | 0         | 0       | 1         | 10      | 1              | 10      |
|       | 39        | 1         | 10      | 0         | 0       | 2              | 20      |
|       | 40        | 1         | 10      | 1         | 10      | 0              | 0       |
|       | 41        | 0         | 0       | 0         | 0       | 2              | 10      |
|       | 42        | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
|       | 43        | 1         | 10      | 0         | 0       | 0              | 0       |
| 48    | 0         | 0         | 1       | 10        | 1       | 10             |         |
| 49    | 1         | 10        | 0       | 0         | 0       | 0              |         |
| 50    | 0         | 0         | 0       | 0         | 1       | 10             |         |

|                           |             |    |    |    |    |    |    |
|---------------------------|-------------|----|----|----|----|----|----|
| <b>MASA<br/>CIAŁA</b>     | <b>59</b>   | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 10 |
|                           | <b>60</b>   | 1  | 10 | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                           | <b>65</b>   | 1  | 10 | 1  | 10 | 1  | 10 |
|                           | <b>67</b>   | 1  | 10 | 1  | 10 | 0  | 0  |
|                           | <b>68</b>   | 1  | 10 | 0  | 0  | 1  | 10 |
|                           | <b>70</b>   | 2  | 20 | 1  | 10 | 0  | 0  |
|                           | <b>71</b>   | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 10 |
|                           | <b>73</b>   | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 10 |
|                           | <b>74</b>   | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 20 |
|                           | <b>75</b>   | 1  | 10 | 1  | 10 | 0  | 0  |
|                           | <b>76</b>   | 1  | 10 | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                           | <b>77</b>   | 0  | 0  | 1  | 10 | 0  | 0  |
|                           | <b>78</b>   | 0  | 0  | 2  | 20 | 1  | 10 |
|                           | <b>79</b>   | 0  | 0  | 2  | 20 | 1  | 10 |
| <b>80</b>                 | 1           | 10 | 1  | 10 | 1  | 10 |    |
| <b>WYSOKOŚĆ<br/>CIAŁA</b> | <b>165</b>  | 1  | 10 | 0  | 0  | 1  | 10 |
|                           | <b>167</b>  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 10 |
|                           | <b>168</b>  | 1  | 10 | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                           | <b>169</b>  | 0  | 0  | 1  | 10 | 0  | 0  |
|                           | <b>170</b>  | 2  | 20 | 2  | 20 | 2  | 20 |
|                           | <b>175</b>  | 0  | 0  | 2  | 20 | 0  | 0  |
|                           | <b>178</b>  | 1  | 10 | 3  | 30 | 1  | 10 |
|                           | <b>180</b>  | 2  | 20 | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                           | <b>183</b>  | 2  | 20 | 1  | 10 | 2  | 20 |
|                           | <b>184</b>  | 0  | 0  | 1  | 10 | 0  | 0  |
|                           | <b>185</b>  | 1  | 10 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| <b>186</b>                | 0           | 0  | 0  | 0  | 2  | 20 |    |
| <b>192</b>                | 0           | 0  | 0  | 0  | 1  | 10 |    |
| <b>POZIOM<br/>URAZU</b>   | <b>C6</b>   | 1  | 10 | 0  | 0  | 1  | 10 |
|                           | <b>C7</b>   | 2  | 20 | 3  | 30 | 3  | 30 |
|                           | <b>C8</b>   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                           | <b>Th4</b>  | 0  | 0  | 1  | 10 | 0  | 0  |
|                           | <b>Th5</b>  | 1  | 10 | 1  | 10 | 1  | 10 |
|                           | <b>Th8</b>  | 0  | 0  | 1  | 10 | 0  | 0  |
|                           | <b>Th11</b> | 3  | 30 | 1  | 10 | 2  | 20 |
|                           | <b>Th12</b> | 3  | 30 | 3  | 30 | 3  | 30 |
| <b>AIS</b>                | <b>B</b>    | 3  | 30 | 4  | 40 | 5  | 50 |
|                           | <b>C</b>    | 7  | 70 | 6  | 60 | 4  | 40 |
|                           | <b>D</b>    | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 10 |
| <b>LATA PO<br/>URAZIE</b> | <b>2</b>    | 1  | 10 | 1  | 10 | 2  | 20 |
|                           | <b>3</b>    | 2  | 20 | 2  | 20 | 1  | 10 |
|                           | <b>4</b>    | 4  | 40 | 5  | 50 | 4  | 40 |
|                           | <b>5</b>    | 3  | 30 | 2  | 20 | 3  | 30 |

AIS – Skala Upośledzenia Funkcji Rdzenia Amerykańskiego Towarzystwa Urazów Kręgosłupa

**Tabela II** Statystyka opisowa dla grupy L1, L2 i Kontrol; zmienne – jakościowe ( $\bar{x}$  – średnia arytmetyczna, S – odchylenie standardowe, V – współczynnik zmienności)

| Grupa          | L1        |       |       | L2        |      |       | Kontrol   |       |       |
|----------------|-----------|-------|-------|-----------|------|-------|-----------|-------|-------|
|                | $\bar{x}$ | S     | V     | $\bar{x}$ | S    | V     | $\bar{x}$ | S     | V     |
| Wiek           | 31,50     | 10,53 | 33,44 | 32,10     | 9,68 | 30,15 | 36,50     | 10,47 | 28,68 |
| Masa ciała     | 71,10     | 6,56  | 9,22  | 74,80     | 5,45 | 7,29  | 72,10     | 6,61  | 9,16  |
| Wysokość ciała | 176,20    | 7,24  | 4,11  | 176,00    | 5,25 | 2,98  | 178,00    | 9,38  | 5,27  |
| Poziom urazu   | 103,90    | 1,20  | 1,15  | 104,90    | 1,73 | 1,65  | 104,00    | 1,25  | 1,20  |
| AIS            | 102,70    | 0,48  | 0,47  | 102,60    | 0,52 | 0,50  | 102,60    | 0,70  | 0,68  |
| Lata po urazie | 3,90      | 0,99  | 25,50 | 3,80      | 0,92 | 24,18 | 3,80      | 1,14  | 29,88 |

AIS – Skala Upośledzenia Funkcji Rdzenia Amerykańskiego Towarzystwa Urazów Kręgosłupa

Analiza wariancji pomiędzy poszczególnymi grupami nie wykazała istotnych różnic w wieku, masie ciała, wysokości ciała, poziomie urazu, stopniu AIS oraz zmiennej lata po urazie (Tabela III). Nie odnotowano także różnic w zakresie wartości żadnej analizowanej zmiennej pozyskanej przed interwencją fizjoterapeutyczną w grupach L1, L2 i Kontrolnej (Tabela IV).

**Tabela III** Wynik analizy wariancji międzygrupowej dla zmiennych: wiek, masa ciała, wysokość ciała, poziom urazu, AIS, lata po urazie

| Zmienna        | F     | p     |
|----------------|-------|-------|
| Wiek           | 0,712 | 0,500 |
| Masa ciała     | 0,944 | 0,401 |
| Wysokość ciała | 0,217 | 0,807 |
| Poziom urazu   | 1,522 | 0,236 |
| AIS            | 0,101 | 0,904 |
| Lata po urazie | 0,032 | 0,969 |

AIS – Skala Upośledzenia Funkcji Rdzenia Amerykańskiego Towarzystwa Urazów Kręgosłupa, F – test F, p – poziom istotności statystycznej

**Tabela IV** Wynik analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic międzygrupowych L1, L2 i Kontrol ze względu na wyniki pomiarów przed usprawnianiem

| Zmienna  | F     | p     |
|----------|-------|-------|
| 10MWT    | 0,619 | 0,546 |
| 6MWT     | 0,280 | 0,758 |
| WISCI II | 0,155 | 0,857 |
| LEMS     | 0,032 | 0,969 |
| VAS      | 0,191 | 0,827 |
| SCI-SET  | 0,038 | 0,963 |

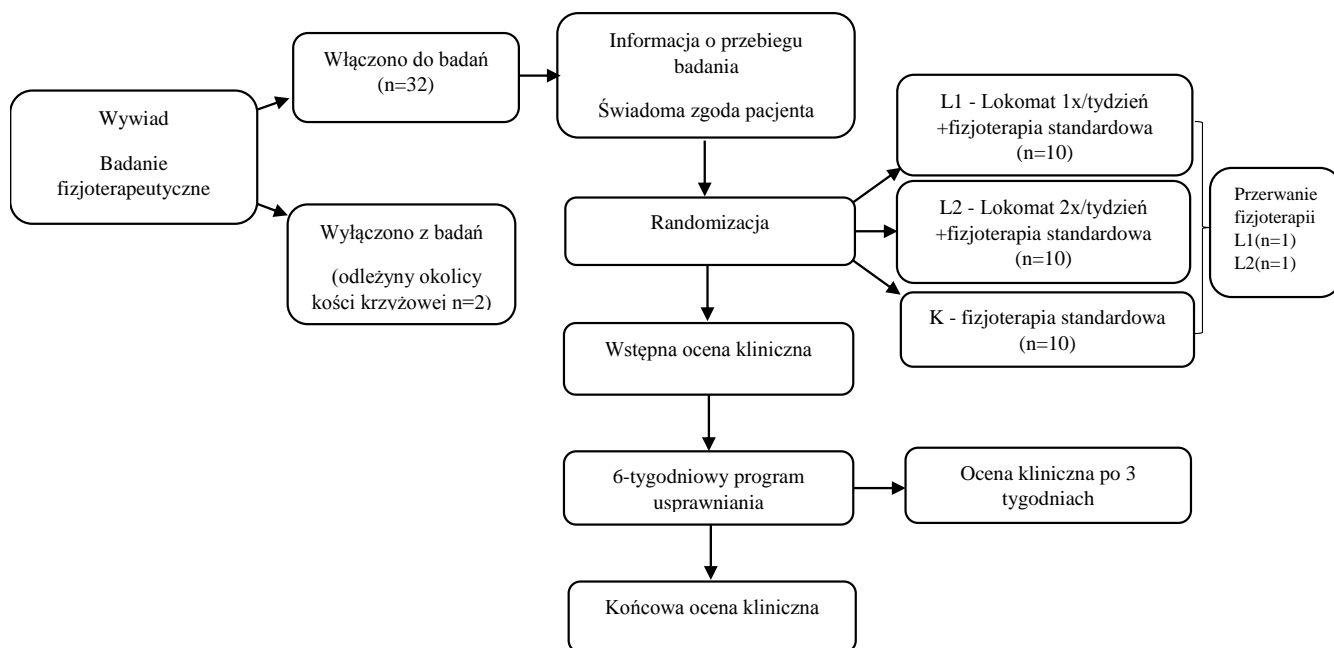
10 MWT – 10-metrowy test marszowy, 6MWT – test 6-minutowego marszu, WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II, LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych, VAS – Wizualna Skala Analogowa, SCI-SET - Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego, F – test F, p – poziom istotności statystycznej

## **3.2 Metody badań**

### **3.2.1 Struktura badania**

Ekspertyment obejmował dwie grupy eksperymentalne oraz grupę kontrolną. W grupach eksperymentalnych przeprowadzona została 6-tygodniowa terapia chodu z wykorzystaniem systemu robotycznego: jeden raz w tygodniu (L1) oraz dwa razy w tygodniu (L2). W obu grupach dodatkowo zastosowano fizjoterapię standardową. Grupa kontrolna (K) przeszła 6-tygodniowy program fizjoterapii konwencjonalnej bez użycia systemu robotycznego. Zmienne zależne stanowiły poszczególne parametry chodu, ocena motoryczna kończyn dolnych, poziom odczuwanej spastyczności oraz dolegliwości bólowych. Wstępne pomiary zebrane zostały w dniu poprzedzającym rozpoczęcie procedury usprawniania. Kolejne powtórzono po 3 tygodniach oraz dzień po zakończeniu eksperymentu.





**Rycina 1** Struktura badania (opis w tekście).

### 3.2.2 Ocena kliniczna

W pierwszej kolejności ocenie poddana została funkcja motoryczna kończyn dolnych (ang. Lower Extremity Motor Scores – LEMS). Testowano aktywację pięciu kluczowych mięśni (mięsień biodrowo - lędźwiowy, czworogłowy uda, piszczelowy przedni, prostownik palucha długi, brzuchaty łydki/płaszczkowaty) obu kończyn dolnych zgodnie z Międzynarodowymi Standardami Klasyfikacji Urazów Rdzenia Kręgowego ([www.asia-spinalinjury.org](http://www.asia-spinalinjury.org)). Dla każdego mięśnia przypisano stopień od 0 do 5 (0 - porażenie ruchowe, 1 - wyczuwalny lub widoczny skurcz mięśniowy, 2 - ruch dowolny w pełnym zakresie w warunkach odciążenia, 3 - ruch dowolny w pełnym zakresie przeciwko sile ciężenia, 4 - ruch dowolny w pełnym zakresie przeciwko sile ciężenia i oporowi, osłabiony, 5 - ruch dowolny w pełnym zakresie przeciwko sile ciężenia i oporowi, prawidłowy) [Maynard i wsp. 1997]. Procedura oceny dla poszczególnych mięśni wyglądała następująco:

#### 1. Mięsień biodrowo-lędźwiowy

##### Stopień 3

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy w neutralnej rotacji, neutralnym odwiedzeniu/przywiedzeniu, staw biodrowy i kolanowy w zgięciu 15°
- Pozycja badającego: podparcie grzbietowej, dystalnej części uda i podudzia badanego, niedopuszczanie do zgięcia w stawie biodrowym powyżej 90°
- Instrukcja dla badanego: „Unieś kolano do klatki piersiowej jak najdalej możesz starając się nie ciągnąć stopy po leżance.”

#### Stopień 4 i 5

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy zgięty pod kątem  $90^\circ$ , staw kolanowy rozluźniony
- Pozycja badającego: usztywnienie kolca biodrowego przedniego górnego po przeciwnej stronie, oparcie dłoni na dalszej części przedniej uda badanego, tuż nad stawem kolanowym
- Instrukcja dla badanego: „Trzymaj kolano w tej pozycji. Nie pozwól mi go zepchnąć.”

#### Stopień 2

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy w rotacji zewnętrznej i zgięciu pod kątem  $45^\circ$ , staw kolanowy zgięty pod kątem  $90^\circ$
- Pozycja badającego: podparcie stawu kolanowego oraz skokowego osoby badanej
- Instrukcja dla badanego: „Spróbuj zgiąć biodro w kierunku boku ciała.”

#### Stopień 0 i 1

- Pozycja badanego: jak w stopniu 2
- Pozycja badającego: podparcie uda badanego, jednocześnie dotykając powierzchniowych zginaczy stawu biodrowego dystalnie od kolca biodrowego przedniego górnego
- Instrukcja dla badanego: „Przesuń kolano w kierunku boku ciała.”

### 2. Mięsień czworogłowy uda

#### Stopień 3

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy w neutralnej rotacji, neutralnym odwiedzeniu/przywiedzeniu i zgięciu pod kątem  $15^\circ$ , staw kolanowy zgięty pod kątem  $30^\circ$
- Pozycja badającego: ramię umieszczone pod testowanym stawem kolanowym, dłoń oparta na przeciwległym udzie badanego
- Instrukcja dla badanego: „Wyprostuj kolano.”

#### Stopień 4 i 5

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy w neutralnej rotacji, neutralnym odwiedzeniu/przywiedzeniu, staw biodrowy i kolanowy zgięty pod kątem  $15^\circ$
- Pozycja badającego: ramię umieszczone pod testowanym stawem kolanowym, dłoń oparta na przeciwległym udzie badanego, chwyt za testowaną kończynę,

tuż nad stawem skokowym

- Instrukcja dla badanego: „Utrzymaj tę pozycję. Nie pozwól mi zgiąć kolana.”

#### Stopień 2

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy w rotacji zewnętrznej i zgięciu pod kątem 45°, staw kolanowy zgięty pod kątem 90°
- Pozycja badającego: podparcie uda oraz stawu skokowego osoby badanej
- Instrukcja dla badanego: „Wyprostuj kolano.”

#### Stopień 0 i 1

- Pozycja badanego: jak w stopniu 2
- Pozycja badającego: podparcie uda badanego, palpacyjna ocena brzośca mięśnia czworogłowego
- Instrukcja dla badanego: „Wyprostuj kolano.”

### 3. Mięsień piszczelowy przedni

#### Stopień 3

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy w neutralnej rotacji, neutralnym odwiedzeniu/przywiedzeniu, staw biodrowy i kolanowy w lekkim zgięciu
- Pozycja badającego: podparcie pod stawem kolanowym i skokowym
- Instrukcja dla badanego: „Zegnij kostkę, aby przyciągnąć stopę i palce stóp w kierunku głowy”

#### Stopień 4 i 5

- Pozycja badanego: jak w stopniu 3, z wyjątkiem tego, że staw skokowy jest ustawiony w pełnym zgięciu grzbietowym
- Pozycja badającego: dłoń oparta na grzbietowej części stopy badanego, wywieranie nacisku w kierunku zgięcia podeszwowego
- Instrukcja dla badanego: „Trzymaj kostkę w tej pozycji. Nie pozwól mi jej zepchnąć.”

#### Stopień 2

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy w rotacji zewnętrznej i zgięciu pod kątem 45°, staw kolanowy zgięty pod kątem 90°, a staw skokowy w pełnym zgięciu podeszwowym
- Pozycja badającego: podparcie stawu kolanowego oraz skokowego osoby badanej
- Instrukcja dla badanego: „Podnieś palce stóp w górę, w kierunku głowy,

zginając kostkę.”

Stopień 0 i 1

- Pozycja badanego: jak w stopniu 2
- Pozycja badającego: ocena palpacyjna ścięgna mięśnia piszczelowego przedniego
- Instrukcja dla badanego: „Podnieś palce stóp w górę, w kierunku głowy, pozwalając na zgięcie kostki.”

#### 4. Mięsień prostownik długi palucha

Stopień 3

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy w neutralnej rotacji, neutralnym odwiedzeniu/przywiedzeniu oraz zgięciu/wyroście, a staw kolanowy jest w pełnym wyroście
- Pozycja badającego: podparcie stopy badanego
- Instrukcja dla badanego: „Podnieś duży palec u nogi w górę, w kierunku kolana.”

Stopień 4 i 5

- Pozycja badanego: jak w stopniu 3, z tym wyjątkiem, że paluch jest w pełnym wyroście
- Pozycja badającego: kciuk umieszczony na paliczku dystalnym palucha badanego, wywieranie nacisku w kierunku zgięcia
- Instrukcja dla badanego: „Trzymaj palec uniesiony do góry. Nie pozwól mi go zepchnąć w dół.”

Stopień 2

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy w rotacji zewnętrznej i zgięciu pod kątem 45°, staw kolanowy zgięty pod kątem 90°, a staw skokowy i paluch w pozycji neutralnej
- Pozycja badającego: podparcie stawu kolanowego i skokowego osoby badanej
- Instrukcja dla badanego: „Podnieś duży palec u nogi w górę, w kierunku kolana.”

Stopień 0 i 1

- Pozycja badanego: jak w stopniu 2
- Pozycja badającego: podparcie kończyny, ocena palpacyjna ścięgna mięśnia prostownika długiego palucha
- Instrukcja dla badanego: jak w stopniu 2

## 5. Mięsień brzuchaty łydki/płaszczkowaty

### Stopień 3

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy w neutralnej rotacji i zgięciu pod kątem 45°, staw kolanowy w pełnym zgięciu, a staw skokowy w pełnym zgięciu grzbietowym
- Pozycja badającego: jedna ręka za kolanem stabilizując kończynę, druga ręka umieszczona pod podeszwą stopy badanego kierując stopę do zgięcia grzbietowego, pięta osoby badanej oparta o stół rehabilitacyjny
- Instrukcja dla badanego: „Wciśnij stopę w moją dłoń i podnieś piętę ze stołu.”

### Stopień 4 i 5

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy w neutralnej rotacji, neutralnym odwiedzeniu/przywiedzeniu oraz zgięciu/wyproście, staw kolanowy jest w pełnym wyproście, a staw skokowy w pełnym zgięciu podszwowym
- Pozycja badającego: jedna ręka na dystalnej części kończyny, druga ręka na stopie w poprzek podszwowej powierzchni kości śródstopia, nacisk na spód stopy w kierunku zgięcia grzbietowego
- Instrukcja dla badanego: „Trzymaj stopę w dół. Nie pozwól mi jej podnieść.”

### Stopień 2

- Pozycja badanego: leżąca tyłem, staw biodrowy w rotacji zewnętrznej i zgięciu pod kątem 45°, staw kolanowy zgięty pod kątem 90°, a staw skokowy w pełnym zgięciu grzbietowym
- Pozycja badającego: podparcie stawu kolanowego i skokowego osoby badanej
- Instrukcja dla badanego: „Skieruj palce stóp w dół, jak baletnica.”

### Stopień 0 i 1

- Pozycja badanego: jak w stopniu 2
- Pozycja badającego: podparcie kończyny, ocena palpacyjna mięśnia brzuchatego łydki
- Instrukcja dla badanego: jak w stopniu 2

Ostateczny wynik LEMS otrzymano po zsumowaniu stopni przypisanych dla każdego mięśnia/grupy mięśniowej lewej oraz prawej kończyny dolnej. Maksymalna punktacja mogła wynieść 50, minimalna 0.

Funkcję chodu oceniano za pomocą standardowych testów klinicznych: 10-metrowy test marszowy (10MWT), test 6-minutowego marszu (6MWT) oraz Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II (WISCI II).

10-metrowy test marszowy (10MWT) oraz test 6-minutowego marszu (6MWT) przeprowadzone zostały przy użyciu specjalnie przygotowanych poręczy w celu umożliwienia swobodnego przejścia i zwiększenia bezpieczeństwa badanych. Pacjenci podczas testów korzystali z niezbędnego zaopatrzenia ortopedycznego (indywidualnie dobrane ortezy kończyn dolnych oraz ortezy korygujące - na opadające stopy).

Prędkość chodu została zmierzona za pomocą 10MWT. Przed przystąpieniem do testu pacjent spoczywał w pozycji siedzącej przez 10 minut, a badający dokonywał instruktażu dotyczącego przebiegu testu. Zadaniem osoby badanej było przejście wyznaczonej ścieżki o długości 12 metrów, w najszybszym, komfortowym tempie. Do pomiaru wykorzystano środkowe 10 metrów tej ścieżki, by uniknąć efektu przyśpieszania/zwalniania związanych z ruszaniem i zatrzymywaniem. Taśmy przyklejone na podłodze wyznaczały linię startu, mety oraz dzieliły ścieżkę na 2-metrowe odcinki. Po ustawieniu się badanego na wyznaczonej linii oraz komendzie badającego "START" osoba badana rozpoczynała próbę. Pomiar czasu marszu wykonano za pomocą elektronicznego stopera sportowego. Prędkość chodu uzyskano poprzez podzielenie długości ścieżki (10 m) przez uzyskany czas przejścia (s). Wynik otrzymano w jednostce metr na sekundę (m/s).

Wytrzymałość chodu określona została na podstawie 6MWT. Przed przystąpieniem do testu pacjent spoczywał w pozycji siedzącej przez 10 minut, a badający dokonywał instruktażu dotyczącego przebiegu testu. Zadaniem badanego było przejście jak nadłuższego odcinka w czasie 6 minut. Wyznaczona ścieżka miała 12 metrów. Po przejściu tej drogi badany musiał zawrócić w celu kontynuowania próby. Uczestnik rozpoczynał próbę z wyznaczonej linii po włączeniu przez badającego stopera odmierzającego czas 6 minut i komendzie "START". Co 1 minutę informowano każdego uczestnika o czasie, który został do zakończenia próby. Osoby mogły odpocząć w razie potrzeby bez zatrzymywania pomiaru czasu i kontynuować marsz. Po upływie wyznaczonego czasu osoba badana zaznaczała miejsce zatrzymania się badanego. Po zmierzeniu długości marszu za pomocą taśmy mierniczej osoba badająca notowała pokonany dystans w metrach (m).

Rodzaj podparcia chodu oceniono za pomocą WISCI II [Ditunno i wsp. 2001]. Skala określa zakres i charakter pomocy (kombinacje ortezy, sprzęt wspomagający oraz pomocników), której osoby z uszkodzeniem rdzenia kręgowego potrzebują do chodzenia. Zadaniem pacjenta było przejście 10 metrów w komfortowym tempie z wykorzystaniem niezbędnego wsparcia chodu. Osoba badająca oceniała poziom badanego w którym jest bezpieczny uwzględniając stopień komfortu pacjenta. Ocenie przypisano poziom od 0 do 20:

0 - Pacjent nie jest w stanie stanąć ani chodzić pomimo pomocy

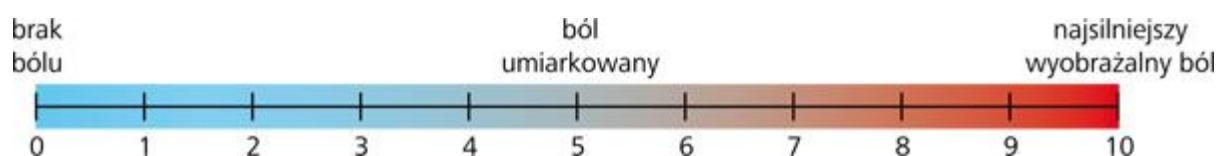
- 1 - Pacjent chodzi w poręczach, w ortezach i z pomocą 2 osób na odcinku mniejszym niż 10 m
- 2 - Pacjent chodzi w poręczach, w ortezach i z pomocą dwóch osób na odcinku 10 metrów
- 3 - Pacjent chodzi w poręczach, w ortezach i z pomocą jednej osoby na odcinku 10 metrów
- 4 - Pacjent chodzi w poręczach, bez ortez i z pomocą jednej osoby na odcinku 10 metrów
- 5 - Pacjent chodzi w poręczach, bez ortez i bez pomocy osób drugich na odcinku 10 metrów
- 6 - Pacjent chodzi o balkoniku, w ortezach i pomocą jednej osoby na odcinku 10 metrów
- 7 - Pacjent chodzi z pomocą dwóch kul, w ortezach i asystą jednej osoby na odcinku 10 metrów
- 8 - Pacjent chodzi o balkoniku, bez ortez i z asystą jednej osoby na odcinku 10 metrów
- 9 - Pacjent chodzi o balkoniku, w ortezach i bez asysty na odcinku 10 metrów
- 10 - Pacjent chodzi z pomocą jednej laski/kuli, w ortezach i asystą jednej osoby na odcinku 10 metrów
- 11 - Pacjent chodzi z pomocą dwóch kul, bez ortez i z asystą jednej osoby na odcinku 10 metrów
- 12 - Pacjent chodzi z pomocą dwóch kul, w ortezach i bez asysty osób na odcinku 10 metrów
- 13 - Pacjent chodzi o balkoniku, bez szyn i bez asysty na odcinku 10 metrów
- 14 - Pacjent chodzi z pomocą jednej laski/kuli, bez ortez i z asystą jednej osoby na odcinku 10 metrów
- 15 - Pacjent chodzi z pomocą jednej laski/kuli, bez ortez i bez asysty na odcinku 10 metrów
- 16 - Pacjent chodzi z pomocą dwóch kul, bez ortez i bez asysty na odcinku 10 metrów
- 17 - Pacjent chodzi bez laski/kuli, bez ortez, z pomocą jednej osoby na odcinku 10 metrów
- 18 - Pacjent chodzi bez laski/kuli, w ortezie/ortezach, bez pomocy osoby drugiej na odcinku 10 metrów
- 19 - Pacjent chodzi z jedną laską/kulą, bez ortezy/ortez, bez pomocy na odcinku 10 metrów
- 20 - Pacjent chodzi bez wszelkich pomocy rehabilitacyjnych i ortopedycznych, bez asysty na odcinku 10 metrów

Przed wykonaniem testów chodu u każdego badanego przeprowadzona została sesja rozgrzewkowa, która obejmowała przygotowanie stawów oraz tkanek miękkich kończyn dolnych do pionizacji oraz chodu.

Spastyczność oceniano za pomocą kwestionariusza SCI-SET (The Spinal Cord Injury Spasticity Evaluation Tool) składającego się z 35 pytań [Adams i wsp. 2007]. Pytania dotyczyły wpływu spastyczności na poszczególne aspekty życia codziennego istotne dla populacji po urazie rdzenia kręgowego obejmujące ostatnie 7 dni. Odpowiedzi mogły wahać się w stopniu od -3 (bardzo problematyczne) do +3 (bardzo pomocne). Każdy z badanych miał możliwość zaznaczenia odpowiedniej pozycji, jeśli odpowiedź nie dotyczyła jego oraz „0”, jeśli spastyczność nie miała wpływu na dany aspekt życia. Ostateczny wynik mógł wynosić od -3 do +3, a uzyskiwano go przez

zsumowanie odpowiedzi ze wszystkich mających zastosowanie pozycji i podzielenie sumy przez liczbę mających zastosowanie pozycji. Przedstawiony pacjentom kwestionariusz był w języku angielskim. Podczas wypełniania formularza przez badanego na miejscu była dostępna osoba posługująca się tym językiem i tłumaczyła poszczególne punkty, by uniknąć ewentualnych błędów tłumaczenia.

Występowanie dolegliwości bólowych oceniano z wykorzystaniem wizualnej skali analogowej (ang. Visual Analogue Scale – VAS) (Rycina2). Pacjenta poproszono o zaznaczenie aktualnie odczuwanych dolegliwości bólowych występujących poniżej poziomu uszkodzenia w zakresie od 0 do 10, gdzie 0 to brak bólu, a 10 to najsilniejszy wyobraźalny ból. W przypadku występowania dolegliwości w kilku miejscach uśredniano liczbę pomiarów. W kolejnych próbach pytano o ból okolicy/okolic zaznaczonych w pomiarze kontrolnym, przed rozpoczęciem programu usprawniania.



**Rycina 2** Wizualna skala analogowa (ang. Visual Analogue Scale - VAS)

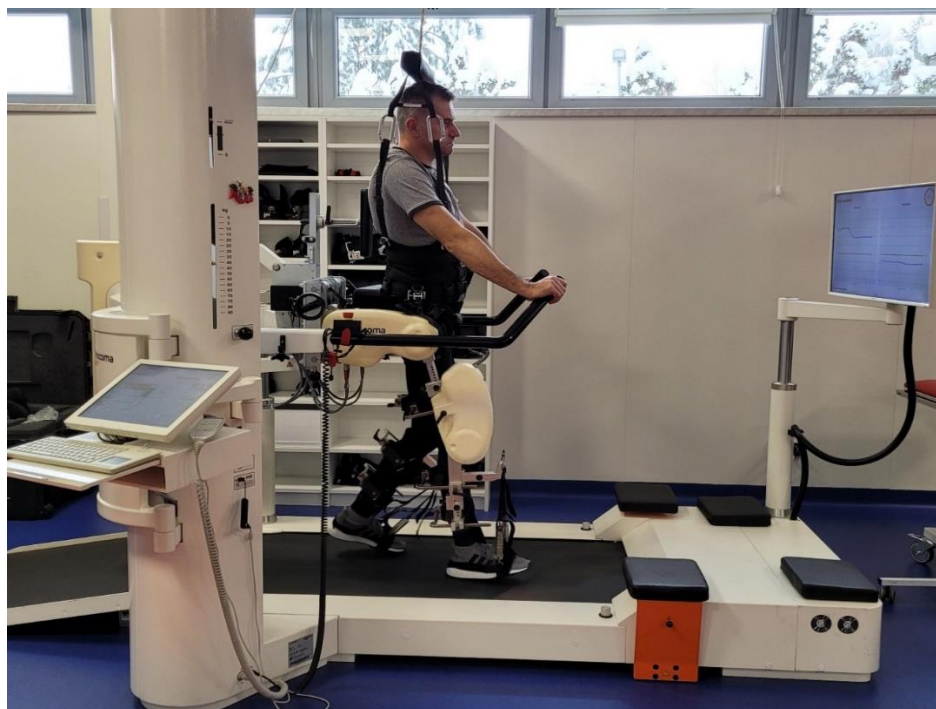
Za pomiary oraz zbieranie danych odpowiedzialny był fizjoterapeuta z wieloletnim doświadczeniem klinicznym, który został zaślepiony na temat badanych oraz ich przynależności do poszczególnych grup.

### 3.2.3 Usprawnianie

W grupie badanej L1 oraz L2 zastosowano usprawnianie chodu z wykorzystaniem Lokomatu Pro (Hocoma, AG, Volketswil, Szwajcaria). Grupa L1 otrzymywała terapię z użyciem systemu w każdy wtorek, grupa L2 każdy wtorek oraz czwartek przez okres 6 tygodni. Przed rozpoczęciem pierwszej terapii od każdego z badanych zebrano pomiary liniowe oraz obwodowe kończyn dolnych (uda oraz podudzia) w celu dopasowania ortez oraz mankietów, a także dobrano odpowiedni rozmiar kamizelki umożliwiającej precyzyjne odciążenie pacjenta w systemie. Wszystkie zebrane informacje przypisano do danego profilu pacjenta w systemie. Przed każdą sesją usprawniania wykonano odpowiednie ustawienia urządzenia dla danego uczestnika. Po wpięciu pacjenta do systemu terapię chodu rozpoczęto od uzyskania prawidłowego, jak najbardziej zbliżonego do fizjologicznego wzorca chodu. Zakres ruchu w stawach biodrowych i kolanowych oraz siła prowadząca dostosowana została indywidualnie przez fizjoterapeutę. Na początku terapii około 50% masy ciała pacjenta było



podtrzymywane przez system upręży. Z czasem redukowano podparcie masy ciała do tolerowanego przez pacjenta minimum. Szybkość chodu ustawiano na komfortowym poziomie dla każdego uczestnika i stopniowo zwiększano zachowując prawidłową kinematykę chodu. Pomimo biernej pomocy zapewnianej przez zrobotyzowane urządzenie, uczestnicy byli zachęceni do aktywnego udziału w każdej terapii tak często jak to możliwe. W celu zwiększenia motywacji pacjenta oraz uzyskanie feedbacku wzrokowego na monitorze systemu wyświetlano zaangażowanie kończyn dolnych w ruch. Sesje usprawniania w obu grupach trwały 45 minut, z 15-minutowym przygotowaniem.



**Rycina 3** Usprawnianie chodu wspomaganie systemem Lokomat, składający się z robotycznej ortozy chodu, dynamicznego odciążenia i bieżni (materiał własny).

Grupa kontrolna pozostawała bez zastosowania systemu lokomotorycznego. Badani we wszystkich grupach korzystali ze standardowych form fizjoterapii przez 3 godziny dziennie, 3 razy w tygodniu (poniedziałek, środa, piątek). Każdą terapię rozpoczynano od godzinnej części wstępnej, czyli „kosmetyki kostno-stawowej”. W tej części wykonywano ćwiczenia czynno-bierne w stawach kończyn dolnych we wszystkich zakresach ruchów. Kolejna godzina fizjoterapii poświęcona była poprawie stabilizacji centralnej oraz zwiększaniu zakresu ruchomości górnego oraz dolnego tułowia poprzez zastosowanie poniższych ćwiczeń:

1. W leżeniu tyłem z kończynami dolnymi ułożonymi na piłce gimnastycznej ( $90^{\circ}$  zgięcia w stawie biodrowym oraz kolanowym) pacjent wykonywał naprzemienny ruch kończyn górnych z jednoczesną aktywacją mięśni głębokich brzucha.
2. W leżeniu tyłem z kończynami dolnymi ułożonymi na piłce gimnastycznej ( $90^{\circ}$

- zgięcia w stawie biodrowym oraz kolanowym) pacjent wykonywał ruch tyłopochylenia miednicy z jednoczesną próbą aktywacji mięśni głębokich brzucha, mięśni dna miednicy oraz oderwania pośladków od stołu rehabilitacyjnego.
3. W leżeniu bokiem (90° zgięcia w stawie biodrowym oraz kolanowym) pacjent wykonywał próbę uniesienia miednicy z jednoczesną aktywacją mięśni głębokich tułowia.
  4. W klęku podpartym pacjent wykonywał ruch tyłopochylenia miednicy z jednoczesną aktywacją mięśni głębokich brzucha.
  5. Pacjent w pozycji siedzącej z kończynami górnymi skrzyżowanymi na klatce piersiowej przenosił ogólny środek ciężkości ciała (OSC) do przodu utrzymując prawidłową postawę oraz równowagę ciała.
  6. Pacjent w pozycji siedzącej z kończynami górnymi ustawionymi w linii stawów ramiennych przenosił ogólny środek ciężkości ciała (OSC) do boku (pravo i lewo) utrzymując prawidłową postawę oraz równowagę ciała.

Wszystkie zastosowane ćwiczenia wykonywane były w 3 seriach po 10 powtórzeń. Stopniowo zwiększano stopień trudności poprzez dodawanie obciążenia zewnętrznego z indywidualnym dopasowaniem do możliwości badanego. Kolejnym etapem fizjoterapii była pionizacja oraz usprawnianie chodu z zastosowaniem potrzebnych pomocy ortopedycznych. U wszystkich badanych były to indywidualnie dobrane ortezy kończyn dolnych oraz ortezy korygujące, na opadające stopy. Pionizację oraz usprawnianie chodu przeprowadzano z użyciem poręczy, które dopasowywano przed terapią do każdego z uczestników. Po uzyskaniu pozycji spionizowanej pacjent wykonywał ćwiczenie poprawiające równowagę ciała przez naprzemienne unoszenie kończyn górnych i kontrolę postawy ciała. Z czasem stopniowo zwiększano poziom trudności poprzez dodanie obciążenia zewnętrznego dostosowanego do możliwości osoby badanej. Po ustabilizowaniu pozycji stojącej zadaniem badanego były przejścia przodem, tyłem oraz bokiem zachowując prawidłową postawę ciała.

Sesje usprawniania we wszystkich grupach były prowadzone pod nadzorem wykwalifikowanego fizjoterapeuty, który nie był zaślepiony na temat badanych i przynależności do poszczególnych grup.

#### **3.2.4 Narzędzia analizy statystycznej**

W celu rozwiązania problemu badawczego zostały zastosowane analizy empiryczne oraz eksploracyjne o charakterze porównawczym i modelowym [McCullough i wsp. 2005, Maszczyk i wsp. 2011, 2012, 2013].

W celu określenia i omówienia macierzy danych pomiarowych zastosowano statystykę

opisową (wartości średnie, odchylenia standardowe, współczynnik zmienności i tabele liczości).

Weryfikacja występowania różnic wewnątrzgrupowych w poszczególnych grupach badawczych L1(Lokomat raz w tygodniu), L2 (Lokomat dwa razy w tygodniu) i Kontrol (kontrolna), została wykonana z wykorzystaniem wieloczynnikowej analizy wariancji ANOVA z powtarzanymi pomiarami. Gdy występowały istotne statystycznie różnice zastosowano testy post- hoc (Tukey).

Występowanie różnic międzygrupowych, zostało określone z wykorzystaniem jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA. I podobnie jak wcześniej, gdy występowały istotne statystycznie różnice zastosowano testy post- hoc (Tukey).

Ze względu na możliwość przeanalizowania poszczególnych wyników pomiarów w funkcji czasu, zbadano dynamikę zjawiska z wykorzystaniem indeksów jednopodstawowych i dynamicznych w przyrostach względnych i absolutnych.

Wielkości oraz kierunki trendów wyznaczono z zastosowaniem średniej ruchomej (prostej) według wzoru:

$$= \frac{1}{k} \sum_{i=t-k}^{t-1} y_i$$

gdzie:

y – prognoza zmiennej Y wyznaczona na okres t,

k - stała wygładzania (w omawianym przypadku 3 dla średniej trzejelementowej)

$y_i$  - wartość prognozowanej w okresie i.

Funkcję trendu określono w odniesieniu do wzoru:

$$f(t) = a + b \cdot t$$

gdzie:

a – wartość trendu w okresie 0,

b – przeciętny okresowy przyrost ( $b > 0$ ) lub spadek ( $b < 0$ ) trendu,

t – zmienna czasu.

Każdorazowo sprawdzony został stopień dopasowania funkcji trendu do danych empirycznych. W tym celu obliczany był współczynnik zbieżności, który wyraża się wzorem [Sobczyk 2002, Snarska 2005, Ostasiewicz i wsp. 2006]:

$$\varphi^2 = \frac{\sum(x_t - \hat{x}_t)^2}{\sum(x_t - \bar{x}_t)^2}$$

gdzie:

$x_t$  – rzeczywista wartość zmiennej X w momencie t,

$\hat{x}_t$  – wartość teoretyczna zmiennej objaśnianej (na podstawie modelu),

$\bar{x}_t$  – średnia arytmetyczna empirycznych wartości zmiennej objaśnianej.

Wyznaczone zostały również wariancje składnika resztkowego, które wskazują o ile przeciętnie zaobserwowane wartości zmiennej objaśnianej różnią się od wartości teoretycznych tej zmiennej wyznaczonych z modeli według wzoru [Zeliaś i wsp. 2003, Snarska 2005, Larose 2008, Dittmann i wsp. 2009]:

$$S_e^2 = \frac{\sum (x_i - \hat{x}_i)^2}{n - k}$$

gdzie

$\hat{x}_i$  – wartość teoretyczna zmiennej objaśnianej (na podstawie modelu),

$x_i$  – wartość rzeczywista zmiennej objaśnianej

n – liczba obserwacji

k – liczba zmiennych w funkcji.

Następnie obliczone zostało odchylenie standardowe składnika resztkowego jako pierwiastek kwadratowy z wariancji składnika resztkowego, ze wzoru [Zeliaś i wsp. 2003, Snarska 2005, Larose 2008, Dittmann i wsp. 2009]:

$$S_e = \sqrt{S_e^2}$$

oraz współczynnik zmienności resztkowej  $V_e$  [Zeliaś i wsp. 2003, Dittmann i wsp. 2009]:

$$V_e = \frac{S_e}{\bar{x}_i} * 100[\%]$$

gdzie:

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,

$\bar{x}_i$  – wartość średnia zmiennej objaśnianej.

Przyjęto poziom istotności dla wykonywanych analiz  $p < 0.05$ .

Reasumując, przeprowadzona została komplementarna analiza danych statystycznych z zastosowaniem programu komputerowego Statistica (StatSoft Polska Sp. z o.o.) oraz arkusza kalkulacyjnego Excel programu Microsoft Office (Microsoft, Poland).

## 4 WYNIKI

### 4.1 Analizy wstępne – statystyki opisowe uzyskanych wartości pomiarowych w grupach badanych

W pierwszej kolejności sprawdzono rozkłady wszystkich analizowanych zmiennych, uzyskanych podczas przeprowadzonych pomiarów i stwierdzono, iż mają one rozkład normalny lub zbliżony do normalnego. Parametry oraz statystyki opisowe zmiennych testowanych podczas pomiaru diagnostycznego, po 3 i 6 tygodniach usprawniania w poszczególnych grupach zaprezentowano w tabeli V.

**Tabela V** Parametry opisowe ( $\bar{x}$ -średnia arytmetyczna, S-odchylenie standardowe, V-współczynnik zmienności) badanych zmiennych podczas pomiaru diagnostycznego, po 3 i 6 tygodniach usprawniania w grupie L1, L2 i Kontrol

| Grupa           | L1        |        |        | L2        |        |        | Kontrol   |        |        |
|-----------------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| <b>Pomiar 0</b> |           |        |        |           |        |        |           |        |        |
| Zmienna         | $\bar{x}$ | S      | V      | $\bar{x}$ | S      | V      | $\bar{x}$ | S      | V      |
| <b>10MWT</b>    | 0,131     | 0,043  | 33,069 | 0,112     | 0,045  | 40,107 | 0,113     | 0,041  | 35,899 |
| <b>6MWT</b>     | 36,835    | 24,771 | 67,250 | 32,083    | 11,039 | 34,406 | 31,739    | 11,567 | 36,444 |
| <b>WISCI II</b> | 8,200     | 1,687  | 20,568 | 7,800     | 1,932  | 24,772 | 7,800     | 1,932  | 24,772 |
| <b>LEMS</b>     | 5,300     | 4,270  | 80,567 | 5,100     | 4,533  | 88,874 | 4,800     | 4,614  | 96,125 |
| <b>Pomiar 3</b> |           |        |        |           |        |        |           |        |        |
| <b>10MWT</b>    | 0,177     | 0,097  | 54,650 | 0,168     | 0,081  | 48,341 | 0,115     | 0,045  | 38,942 |
| <b>6MWT</b>     | 44,062    | 28,761 | 65,274 | 39,487    | 13,498 | 34,184 | 34,244    | 12,690 | 37,059 |
| <b>WISCI II</b> | 8,200     | 1,687  | 20,568 | 7,900     | 2,025  | 25,631 | 7,800     | 1,932  | 24,772 |
| <b>LEMS</b>     | 5,500     | 4,552  | 82,767 | 5,500     | 4,836  | 87,931 | 4,900     | 4,581  | 93,497 |
| <b>Pomiar 6</b> |           |        |        |           |        |        |           |        |        |
| <b>10MWT</b>    | 0,213     | 0,137  | 64,107 | 0,197     | 0,116  | 58,812 | 0,141     | 0,054  | 38,622 |
| <b>6MWT</b>     | 49,692    | 33,315 | 67,042 | 45,232    | 15,406 | 34,060 | 38,828    | 13,338 | 34,351 |
| <b>WISCI II</b> | 8,400     | 1,578  | 18,781 | 9,100     | 3,247  | 35,684 | 7,800     | 1,932  | 24,772 |
| <b>LEMS</b>     | 6,200     | 4,803  | 77,464 | 6,400     | 5,232  | 81,756 | 5,300     | 4,644  | 87,623 |

10 MWT – 10-metrowy test marszowy, 6MWT – test 6-minutowego marszu, WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II, LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych, VAS – Wizualna Skala Analogowa, SCI-SET - Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego

Analiza porównawcza statystyk opisowych wykazała, iż podczas pomiaru diagnostycznego w grupie L1, największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazała zmienna 6MWT (S=33,315), w pomiarze L1-6. Natomiast największe względne zróżnicowanie wykazała zmienna LEMS (V=82,767%), w pomiarze L1-3.

Analiza porównawcza statystyk opisowych wykazała, iż podczas pomiaru diagnostycznego w grupie L2, największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazała zmienna 6MWT (S=15,406), w pomiarze L2-6. Natomiast największe względne zróżnicowanie wykazała zmienna LEMS (V=82,767%), w pomiarze L2-0.

Analiza porównawcza statystyk opisowych wykazała, iż podczas pomiaru diagnostycznego w grupie Kontrolnej, największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazała zmienna 6MWT (S=13,338), w pomiarze Kontrol-6. Natomiast największe względne zróżnicowanie wykazała zmienna LEMS (V=96,125%), w pomiarze Kontrol-0.

W tabelach VI-VII zaprezentowano tabele licznosci zmiennych VAS i SCI-SET dla grupy L1, L2 i Kontrol podczas pomiaru diagnostycznego, po 3 i 6 tygodniach usprawniania.

**Tabela VI** Tabela licznosci VAS dla grupy L1, L2 i Kontrol z uwzględnieniem pomiaru diagnostycznego, po 3 i 6 tygodniach usprawniania

| <b>GRUPA</b> | <b>L1 (n=10)</b> |                | <b>L2 (n=10)</b> |                | <b>Kontrol (n=10)</b> |                |
|--------------|------------------|----------------|------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| <b>KLASA</b> | <b>Liczba</b>    | <b>Procent</b> | <b>Liczba</b>    | <b>Procent</b> | <b>Liczba</b>         | <b>Procent</b> |
| <b>VAS-0</b> |                  |                |                  |                |                       |                |
| <b>0</b>     | 4                | 40             | 5                | 50             | 6                     | 60             |
| <b>1,5</b>   | 1                | 10             | 0                | 0              | 0                     | 0              |
| <b>2</b>     | 1                | 10             | 2                | 20             | 0                     | 0              |
| <b>3</b>     | 1                | 10             | 0                | 0              | 0                     | 0              |
| <b>4</b>     | 1                | 10             | 0                | 0              | 0                     | 0              |
| <b>5</b>     | 2                | 20             | 2                | 20             | 0                     | 0              |
| <b>6,5</b>   | 0                | 0              | 0                | 0              | 1                     | 10             |
| <b>7</b>     | 0                | 0              | 1                | 10             | 3                     | 30             |
| <b>VAS-3</b> |                  |                |                  |                |                       |                |
| <b>0</b>     | 5                | 50             | 5                | 50             | 5                     | 50             |
| <b>1</b>     | 0                | 0              | 2                | 20             | 2                     | 20             |
| <b>1,5</b>   | 1                | 10             | 0                | 0              | 0                     | 0              |
| <b>2</b>     | 1                | 10             | 0                | 0              | 0                     | 0              |
| <b>4</b>     | 2                | 20             | 1                | 10             | 0                     | 0              |
| <b>5</b>     | 0                | 0              | 1                | 10             | 1                     | 10             |
| <b>5,5</b>   | 0                | 0              | 0                | 0              | 1                     | 10             |
| <b>6</b>     | 1                | 10             | 0                | 0              | 1                     | 10             |
| <b>7</b>     | 0                | 0              | 1                | 10             | 0                     | 0              |
| <b>VAS-6</b> |                  |                |                  |                |                       |                |
| <b>0</b>     | 6                | 60             | 6                | 60             | 5                     | 50             |
| <b>1</b>     | 0                | 0              | 1                | 10             | 0                     | 0              |
| <b>2,5</b>   | 1                | 10             | 0                | 0              | 0                     | 0              |
| <b>3</b>     | 1                | 10             | 1                | 10             | 2                     | 20             |
| <b>4</b>     | 1                | 10             | 0                | 0              | 0                     | 0              |
| <b>5</b>     | 0                | 0              | 1                | 10             | 2                     | 20             |
| <b>6</b>     | 1                | 10             | 0                | 0              | 1                     | 10             |
| <b>7</b>     | 0                | 0              | 1                | 10             | 0                     | 0              |

VAS –Wizualna Skala Analogowa

**Tabela VII** Tabela licznosci SCI-SET dla grupy L1, L2 i Kontrol z uwzględnieniem pomiaru diagnostycznego, po 3 i 6 tygodniach usprawniania

| GRUPA<br>KLASA   | L1 (n=10) |         | L2 (n=10) |         | Kontrol (n=10) |         |
|------------------|-----------|---------|-----------|---------|----------------|---------|
|                  | Liczba    | Procent | Liczba    | Procent | Liczba         | Procent |
| <b>SCI-SET-0</b> |           |         |           |         |                |         |
| -1,65            | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -1,03            | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,98             | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,97             | 1         | 10      | 0         | 0       | 2              | 20      |
| -,95             | 1         | 10      | 0         | 0       | 0              | 0       |
| -,82             | 2         | 20      | 1         | 10      | 1              | 10      |
| -,80             | 1         | 10      | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,64             | 1         | 10      | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,56             | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,44             | 0         | 0       | 0         | 0       | 0              | 0       |
| -,26             | 1         | 10      | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,24             | 0         | 0       | 1         | 10      | 1              | 10      |
| -,21             | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,12             | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,11             | 1         | 10      | 1         | 10      | 1              | 10      |
| -,09             | 0         | 0       | 1         | 10      | 1              | 10      |
| -,08             | 1         | 10      | 0         | 0       | 0              | 0       |
| 0                | 1         | 10      | 0         | 0       | 1              | 10      |
| <b>SCI-SET-3</b> |           |         |           |         |                |         |
| -1,32            | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,76             | 2         | 20      | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,74             | 1         | 10      | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,65             | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,61             | 1         | 10      | 2         | 20      | 0              | 0       |
| -,56             | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,47             | 2         | 20      | 1         | 10      | 2              | 20      |
| -,35             | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,21             | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,15             | 1         | 10      | 2         | 20      | 0              | 0       |
| -,08             | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,07             | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,06             | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,03             | 1         | 10      | 0         | 0       | 1              | 10      |
| 0                | 1         | 10      | 1         | 10      | 1              | 10      |
| ,06              | 1         | 10      | 0         | 0       | 0              | 0       |
| <b>SCI-SET-6</b> |           |         |           |         |                |         |
| -1,67            | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,85             | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,56             | 2         | 20      | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,53             | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,52             | 1         | 10      | 1         | 10      | 1              | 10      |
| -,50             | 1         | 10      | 0         | 0       | 0              | 0       |
| -,35             | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,32             | 3         | 30      | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,21             | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,15             | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,12             | 1         | 10      | 2         | 20      | 0              | 0       |
| -,10             | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,08             | 0         | 0       | 1         | 10      | 0              | 0       |
| -,06             | 0         | 0       | 0         | 0       | 1              | 10      |
| -,03             | 1         | 10      | 1         | 10      | 1              | 10      |
| 0                | 1         | 10      | 0         | 0       | 1              | 10      |
| ,21              | 0         | 0       | 1         | 10      | 1              | 10      |

SCI-SET – Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego

## **4.2 Analiza dynamiki zmienności poszczególnych parametrów oraz różnic wewnątrzgrupowych w grupie badanej L1**

### **4.2.1 Analiza dynamiki zmienności i różnic wewnątrzgrupowych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie badanej L1**

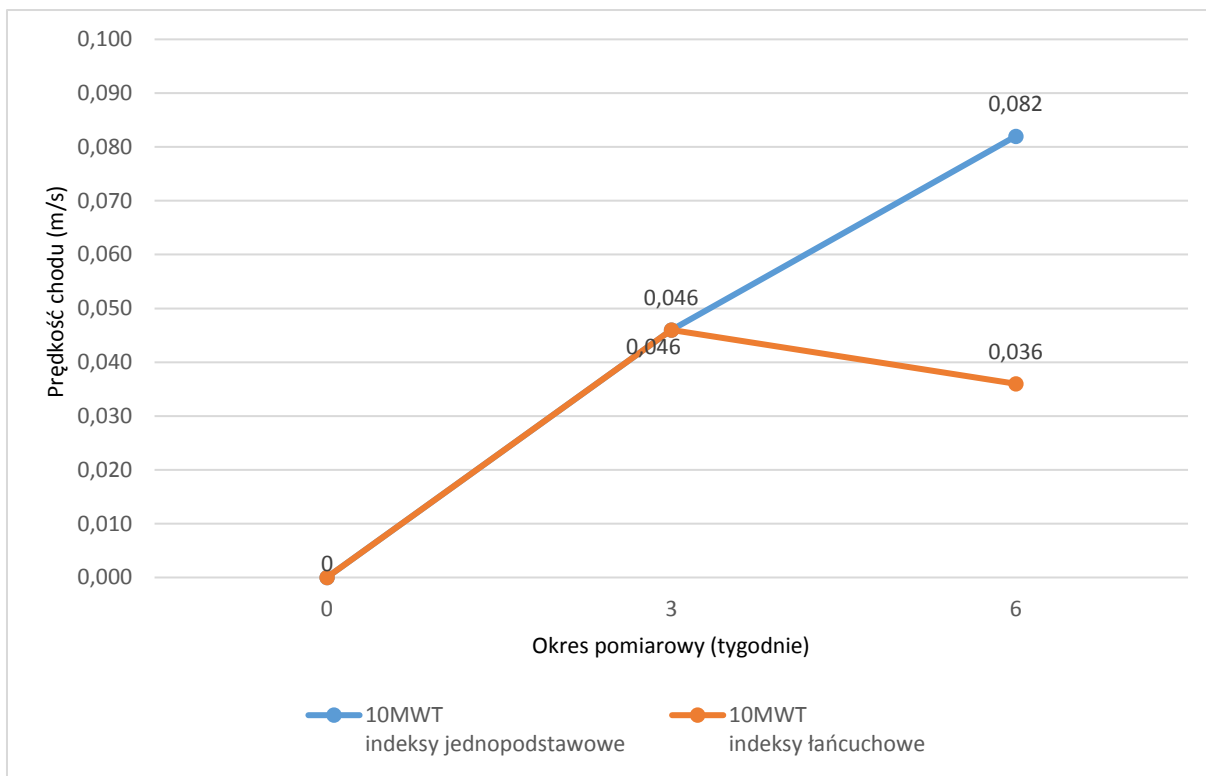
Ogólna charakterystyka liczbowa uzyskiwanych wartości przyrostów absolutnych zmiennych w aspekcie indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych przedstawiona została w tabeli VIII. Graficzną analizę rozkładu indeksów zaprezentowano na rycinach 4-9.



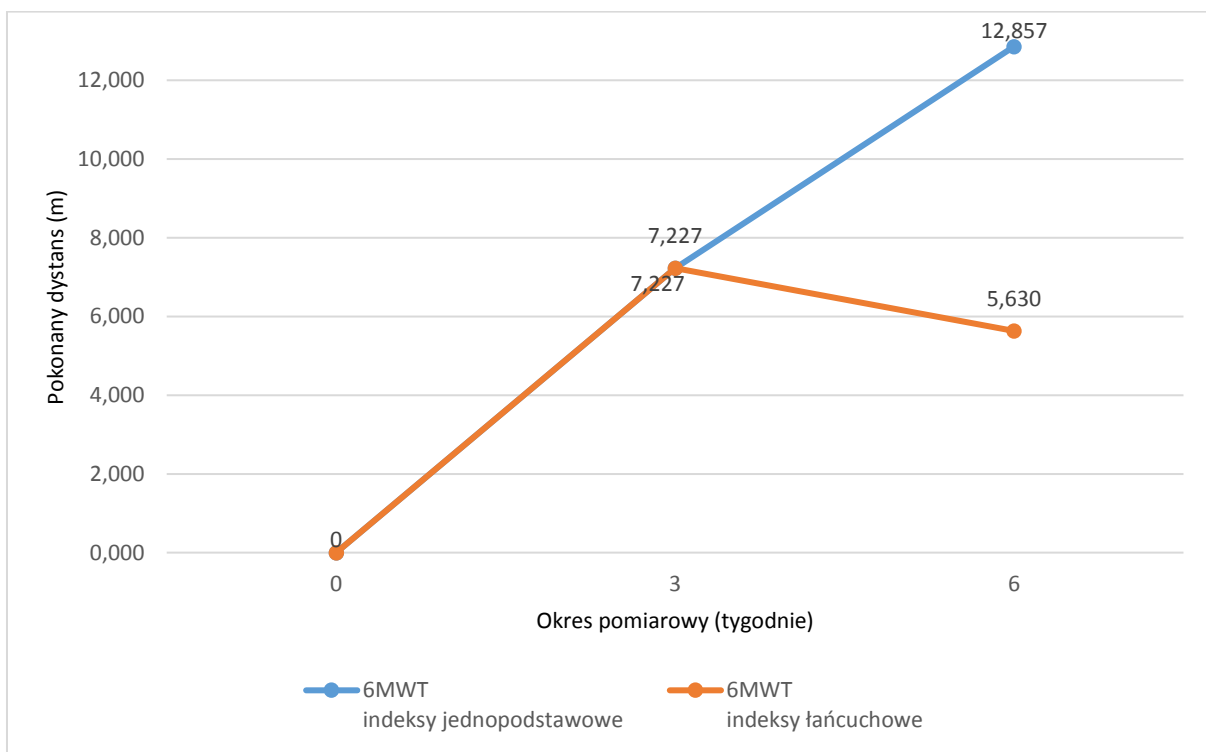
**Tabela VIII** Przyrosty absolutne zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET, jednopodstawowe i łańcuchowe w grupie badanej L1

| <b>Zmienna 10MWT</b>    |                                  |  |                                  |
|-------------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[m/s]    | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[m/s]    | Przyrosty łańcuchowe<br>[m/s]    |
| 0                       | 0.131                            | 0  | 0                                |
| 3                       | 0.177                            | 0.046                                    | 0.046                            |
| 6                       | 0.213                            | 0.082                                    | 0.036                            |
| <b>Zmienna 6MWT</b>     |                                  |  |                                  |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[m]      | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[m]      | Przyrosty łańcuchowe<br>[m]      |
| 0                       | 36.835                           | 0  | 0                                |
| 3                       | 44.062                           | 7.227                                    | 7.227                            |
| 6                       | 49.692                           | 12.857                                   | 5.630                            |
| <b>Zmienna WISCI II</b> |                                  |  |                                  |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[poziom] | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[poziom] | Przyrosty łańcuchowe<br>[poziom] |
| 0                       | 8.2                              | 0  | 0                                |
| 3                       | 8.2                              | 0.001                                    | 0.001                            |
| 6                       | 8.4                              | 0.200                                    | 0.200                            |
| <b>Zmienna LEMS</b>     |                                  |  |                                  |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[pkt]    | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[pkt]    | Przyrosty łańcuchowe<br>[pkt]    |
| 0                       | 5.3                              | 0.0                                      | 0                                |
| 3                       | 5.5                              | 0.200                                    | 0.200                            |
| 6                       | 6.2                              | 0.900                                    | 0.700                            |
| <b>Zmienna VAS</b>      |                                  |  |                                  |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[st.]    | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[st.]    | Przyrosty łańcuchowe<br>[st.]    |
| 0                       | 2.05                             | 0  | 0                                |
| 3                       | 1.75                             | -0.300                                   | -0.300                           |
| 6                       | 1.55                             | -0.500                                   | -0.200                           |
| <b>Zmienna SCI-SET</b>  |                                  |  |                                  |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[st.]    | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[st.]    | Przyrosty łańcuchowe<br>[st.]    |
| 0                       | -0.545                           | 0  | 0                                |
| 3                       | -0.393                           | 0.152                                    | 0.152                            |
| 6                       | -0.325                           | 0.220                                    | 0.068                            |

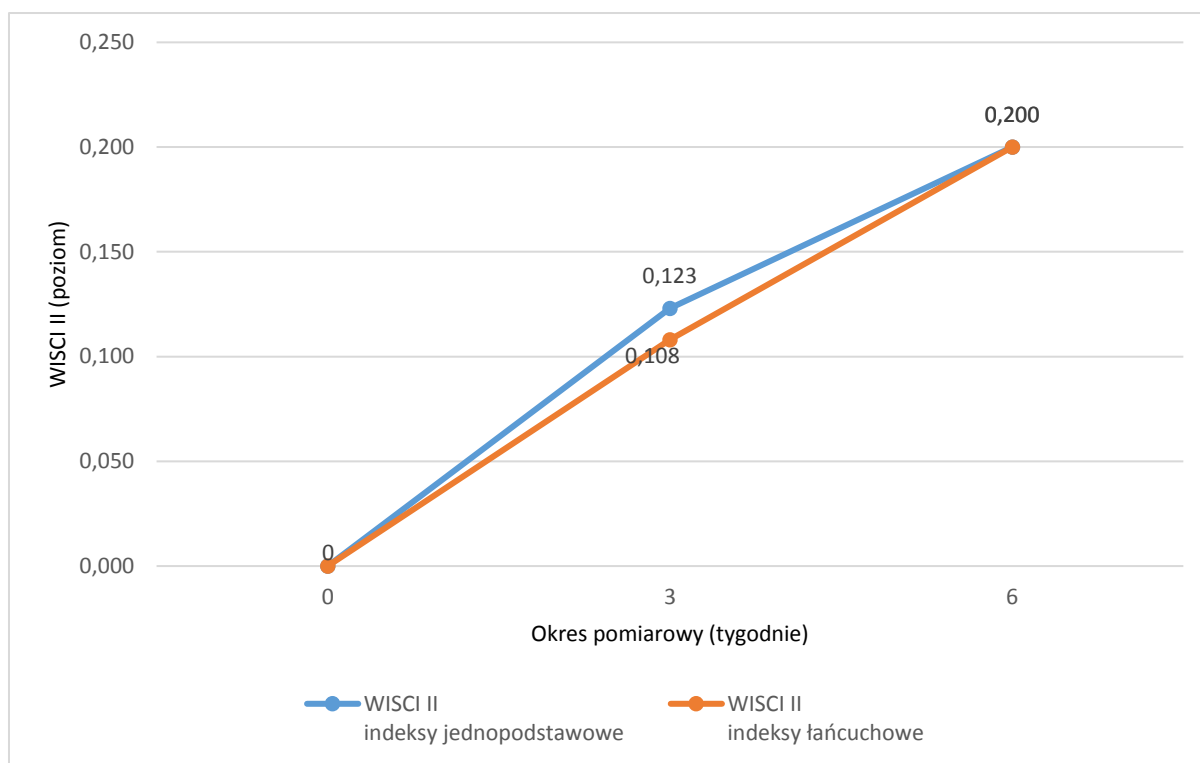
10 MWT – 10-metrowy test marszowy, 6MWT – test 6-minutowego marszu, WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II, LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych, VAS – Wizualna Skala Analogowa, SCI-SET - Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego



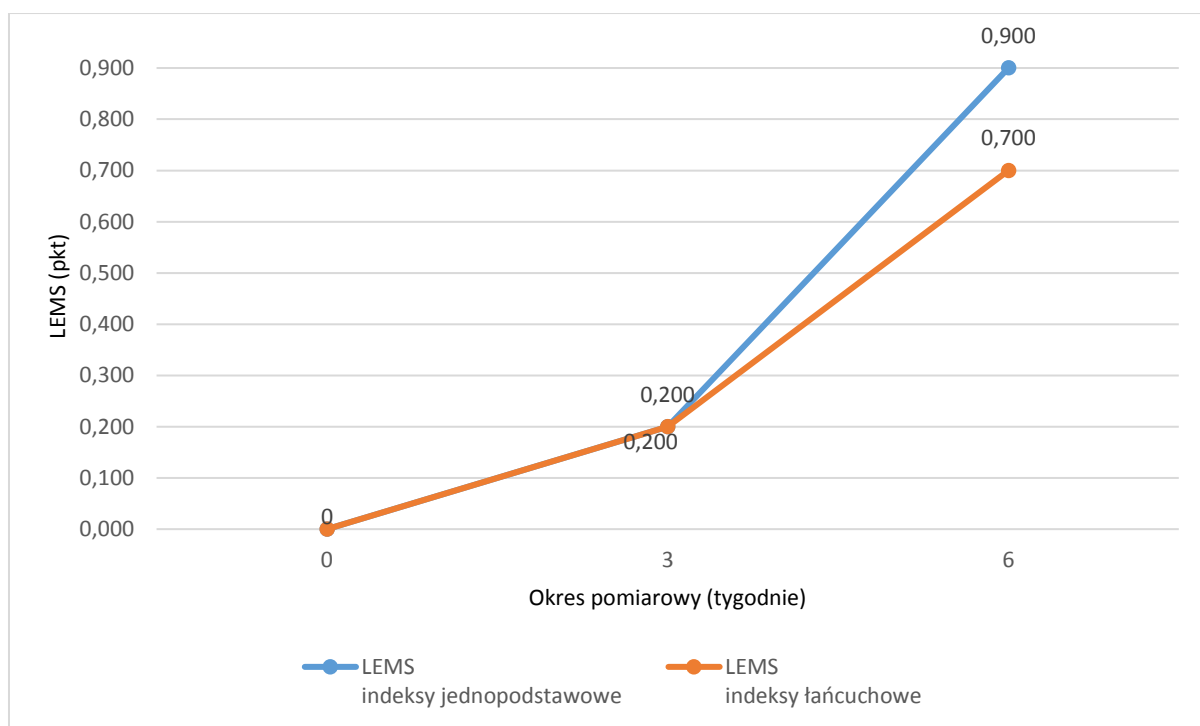
**Rycina 4** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej 10MWT w grupie badanej L1. 10MWT – 10-metrowy test marszowy



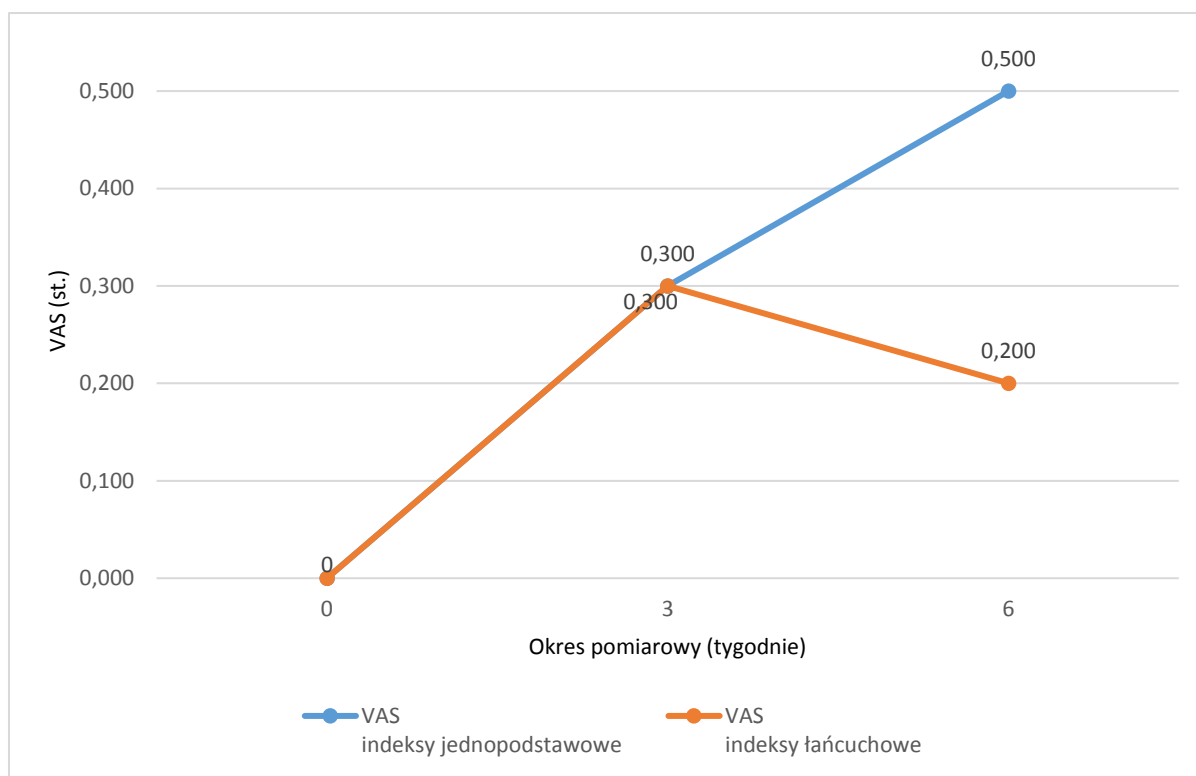
**Rycina 5** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej 6MWT w grupie badanej L1. 6 MWT- test 6-minutowego marszu



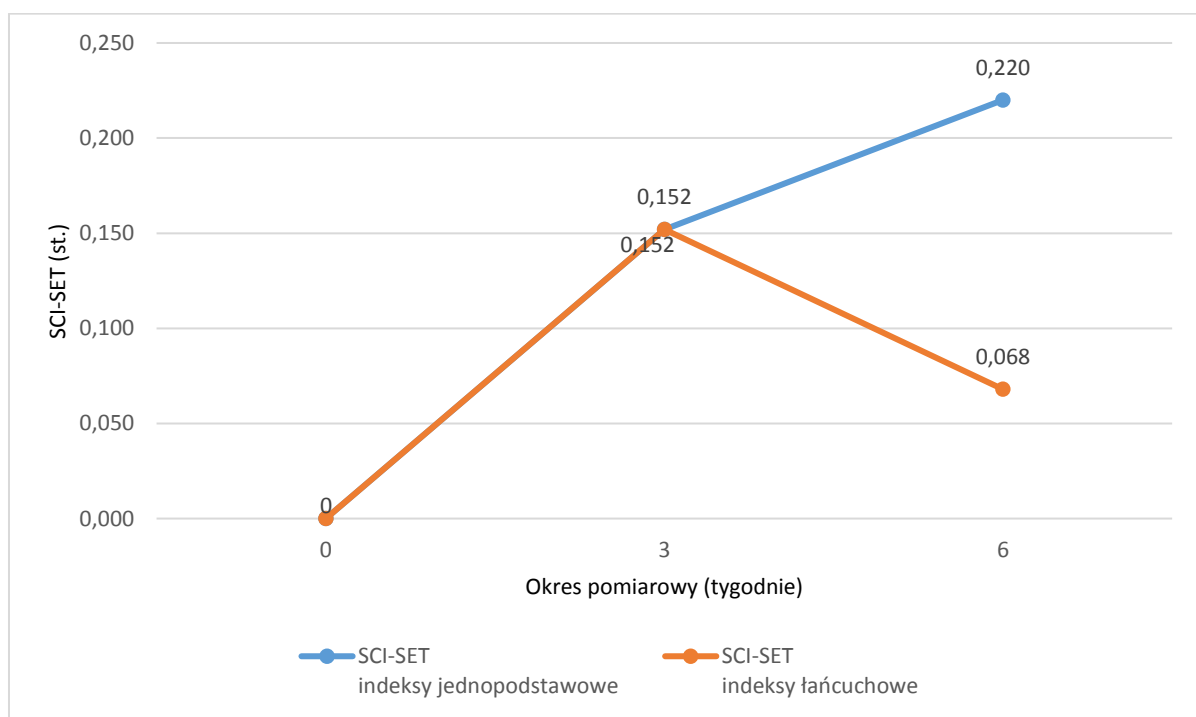
**Rycina 6** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej WISCI II w grupie badanej L1. WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II



**Rycina 7** Porównanie przyrostów absolutnych indeksów (wartości bezwzględne) jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej LEMS w grupie badanej L1. LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych



**Rycina 8** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej VAS w grupie badanej L1. VAS – Wizualna Skala Analogowa



**Rycina 9** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej SCI-SET w grupie badanej L1. SCI-SET – Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego

Biorąc pod uwagę przyrosty względne z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych zmiennej 10MWT stwierdzono, iż po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity względny wzrost wartości zmiennej w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 63%. Jednocześnie biorąc pod uwagę względne przyrosty w oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny przyrost miał miejsce w pomiarze L1-3 i wyniósł 35%.

Podobnie, w pomiarze po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy wzrost 6MWT w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 35% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. Jednocześnie biorąc pod uwagę względne przyrosty w oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny przyrost miał miejsce w pomiarze L1-3 i wyniósł 20%.

W pomiarze po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy wzrost zmiennej WISCI II w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 2% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. Biorąc pod uwagę względne przyrosty w oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny przyrost miał miejsce w pomiarze L1-6 i wyniósł również 2%.

Po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy wzrost zmiennej LEMS w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 16% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny przyrost miał miejsce w pomiarze L1-6 i wyniósł 13%.

Po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy spadek wartości zmiennej VAS w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 24,4% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny przyrost (polepszenie wyniku) miał miejsce w pomiarze L1-3 i wyniósł 15%.

Po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy spadek wartości zmiennej SCI-SET w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 40,4% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny spadek miał miejsce w pomiarze L1-3 i wyniósł 28%.

#### **4.2.2 Wyznaczenie funkcji trendów oraz weryfikacja i walidacja dopasowania danych wyjściowych do empirycznych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie badanej L1**

W celu sprawdzenia stopnia dopasowania funkcji trendu do danych empirycznych dla zmiennej **10MWT**, obliczony został współczynnik zbieżności  $\varphi^2$ . Stwierdzono, że funkcja

liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 12% zmienności zmiennej **10MWT** nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej **10MWT** przyjęła następującą postać:

$$y = 0,04x + 0,12$$

Współczynnik trendu równy 0,04 informuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar 10MWT polepszał się o 0,04. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość 10MWT powinna wynosić 0,12.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela IX). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela IX** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej 10MWT oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie badanej L1

| Zmienna      | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|--------------|-------|-------|-------------|
| <b>10MWT</b> | 0,10  | 0,56% | 0,12        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$ - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model regresyjny jako bardziej przydatny.

W następnej kolejności, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 11% zmienności zmiennej **6MWT** nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej **6MWT** przyjęła następującą postać:

$$y = 6,43x + 30,67$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar 6MWT polepszał się o 6,43. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość 6MWT powinna wynosić 30,67.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była

zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela X). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela X** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej 6MWT oraz wartości walidacyjne  $\phi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie badanej L1

| Zmienna     | $S_e$ | $V_e$ | $\phi^2$ |
|-------------|-------|-------|----------|
| <b>6MWT</b> | 0,9   | 2,56% | 0,11     |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\phi^2$ - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchylen składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

W przypadku WISCI II, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 14% zmienności zmiennej **WISCI II** nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej **WISCI II** przyjęła następującą postać:

$$y = 0,10x + 8,07$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar WISCI II polepszał się o 0,10. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość WISCI II powinna wynosić 8,07.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XI). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XI** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej WISCI II oraz wartości walidacyjne  $\phi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie badanej L1

| Zmienna         | $S_e$ | $V_e$ | $\phi^2$ |
|-----------------|-------|-------|----------|
| <b>WISCI II</b> | 1,1   | 1,64% | 0,14     |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\phi^2$ - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

W przypadku LEMS, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 12% zmienności zmiennej LEMS nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej LEMS przyjęła następującą postać:

$$y = 0,45x + 4,77$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar LEMS polepszał się o 0,45. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość LEMS powinna wynosić 4,77.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XII). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XII** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej LEMS oraz wartości walidacyjne  $\phi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie badanej L1

| Zmienna     | $S_e$ | $V_e$ | $\phi^2$ |
|-------------|-------|-------|----------|
| <b>LEMS</b> | 0,46  | 0,88% | 0,12     |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\phi^2$  - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

W odniesieniu do VAS, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 10% zmienności zmiennej VAS nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej VAS przyjęła następującą postać:

$$y = -0,25x + 2,28$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar VAS polepszał się o 0,25 (wartość mniejszego odczucia bólu). W okresie poprzedzającym



badanie teoretyczna średnia wartość VAS powinna wynosić 2,28.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XIII). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XIII** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej VAS oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie badanej L1

| Zmienna | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|---------|-------|-------|-------------|
| VAS     | 0,50  | 0,71% | 0,10        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$ - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

W odniesieniu do SCI-SET, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 15% zmienności zmiennej SCI-SET nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej SCI-SET przyjęła następującą postać:

$$y = 0,11x - 0,643$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar SCI-SET zwiększał się o 0,11. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość SCI-SET powinna wynosić -0,643.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XIV). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XIV** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej SCI-SET oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie badanej L1

| Zmienna        | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|----------------|-------|-------|-------------|
| <b>SCI-SET</b> | 0,34  | 1,06% | 0,15        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$ - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

#### **4.3 Analiza dynamiki zmienności poszczególnych parametrów oraz różnic wewnątrzgrupowych w grupie badanej L2**

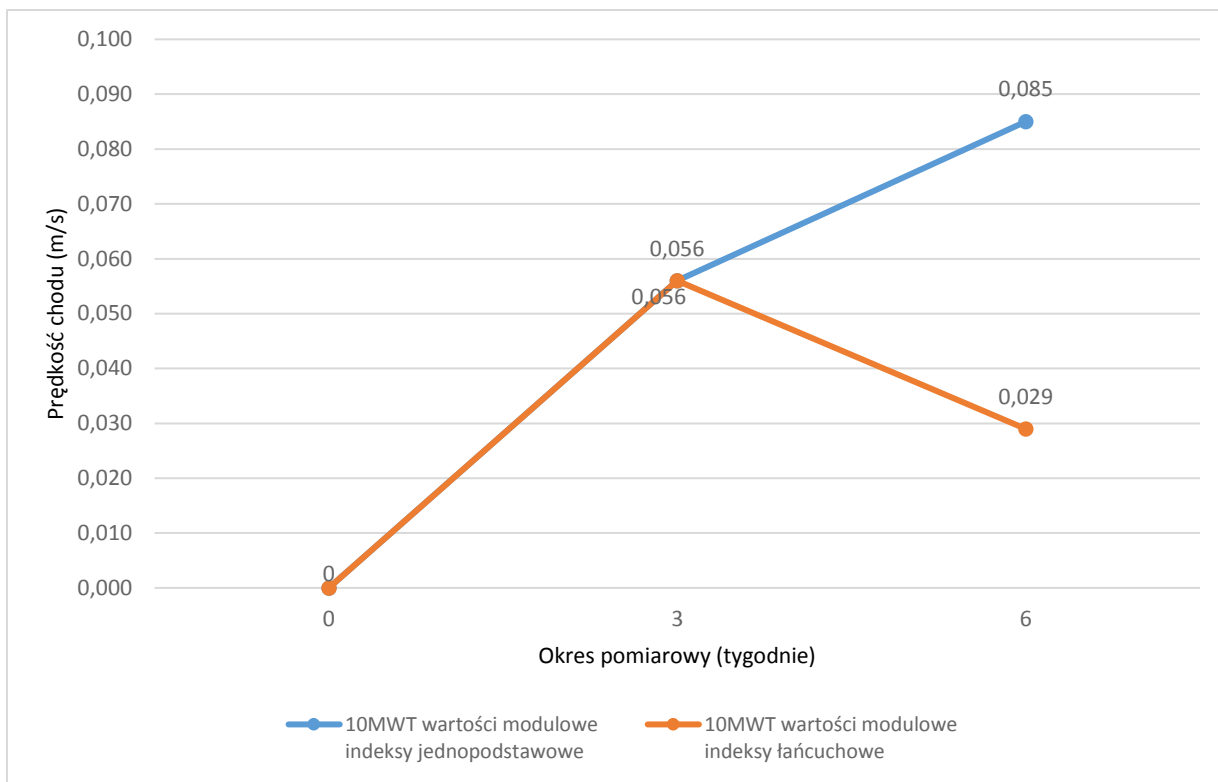
##### **4.3.1 Analiza dynamiki zmienności i różnic wewnątrzgrupowych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie badanej L2**

Ogólna charakterystyka liczbowa uzyskiwanych wartości przyrostów absolutnych zmiennych w aspekcie indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych przedstawiona została w tabeli XV. Graficzną analizę rozkładu indeksów zaprezentowano na rycinach 10-15.

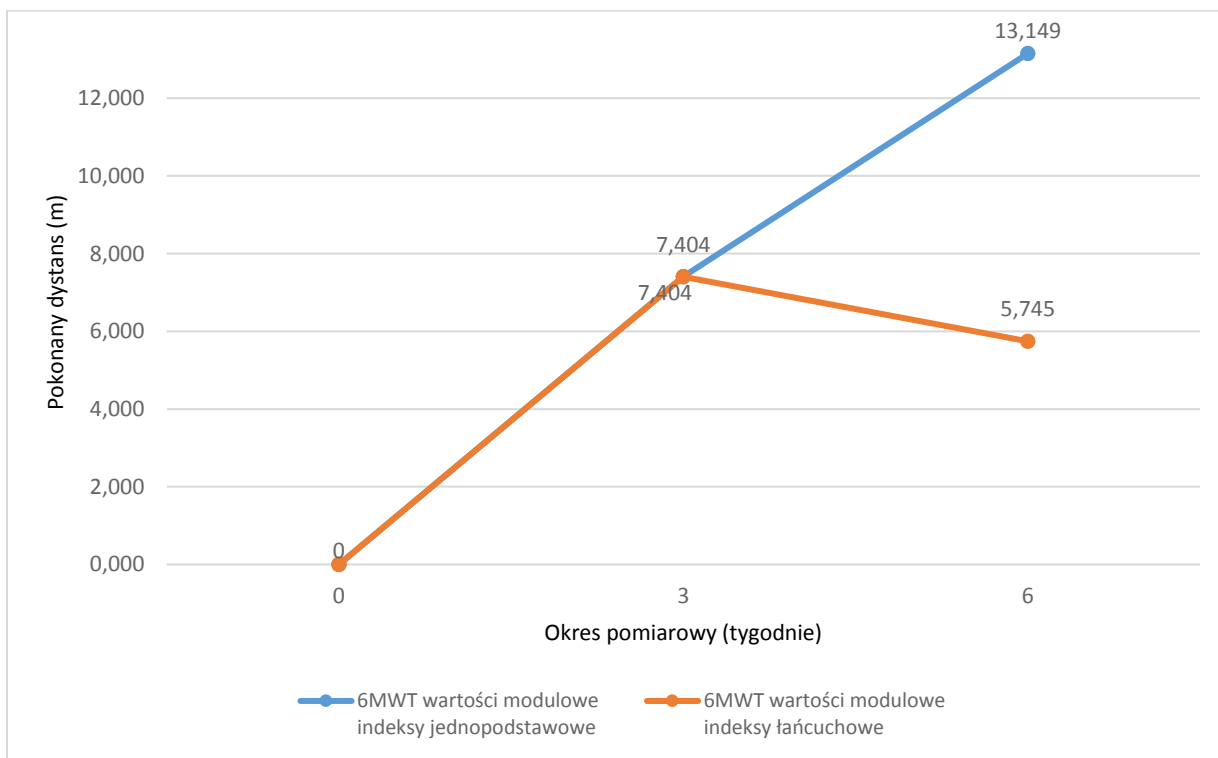
**Tabela XV** Przyrosty absolutne zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET, jednopodstawowe i łańcuchowe w grupie badanej L2

| <b>Zmienna 10MWT</b>    |                                  |  |                                     |
|-------------------------|----------------------------------|--|-------------------------------------|
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[m/s]    | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[m/s]    | Przyrosty<br>łańcuchowe<br>[m/s]    |
| 0                       | 0,112                            | 0,0                                      | 0                                   |
| 3                       | 0,168                            | 0,056                                    | 0,056                               |
| 6                       | 0,197                            | 0,085                                    | 0,029                               |
| <b>Zmienna 6MWT</b>     |                                  |  |                                     |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[m]      | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[m]      | Przyrosty<br>łańcuchowe<br>[m]      |
| 0                       | 32,083                           | 0,0                                      | 0                                   |
| 3                       | 39,487                           | 7,404                                    | 7,404                               |
| 6                       | 45,232                           | 13,149                                   | 5,745                               |
| <b>Zmienna WISCI II</b> |                                  |  |                                     |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[poziom] | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[poziom] | Przyrosty<br>łańcuchowe<br>[poziom] |
| 0                       | 7,8                              | 0,0                                      | 0                                   |
| 3                       | 7,9                              | 0,100                                    | 0,100                               |
| 6                       | 9,1                              | 1,300                                    | 1,200                               |
| <b>Zmienna LEMS</b>     |                                  |  |                                     |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[pkt]    | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[pkt]    | Przyrosty<br>łańcuchowe<br>[pkt]    |
| 0                       | 5,1                              | 0,0                                      | 0                                   |
| 3                       | 5,5                              | 0,400                                    | 0,400                               |
| 6                       | 6,4                              | 1,300                                    | 0,900                               |
| <b>Zmienna VAS</b>      |                                  |  |                                     |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[st.]    | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[st.]    | Przyrosty<br>łańcuchowe<br>[st.]    |
| 0                       | 2,1                              | 0,0                                      | 0                                   |
| 3                       | 1,8                              | -0,300                                   | -0,300                              |
| 6                       | 1,6                              | -0,500                                   | -0,200                              |
| <b>Zmienna SCI-SET</b>  |                                  |  |                                     |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[st.]    | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[st.]    | Przyrosty<br>łańcuchowe<br>[st.]    |
| 0                       | -0,509                           | 0,0                                      | 0                                   |
| 3                       | -0,323                           | 0,186                                    | 0,186                               |
| 6                       | -0,189                           | 0,320                                    | 0,134                               |

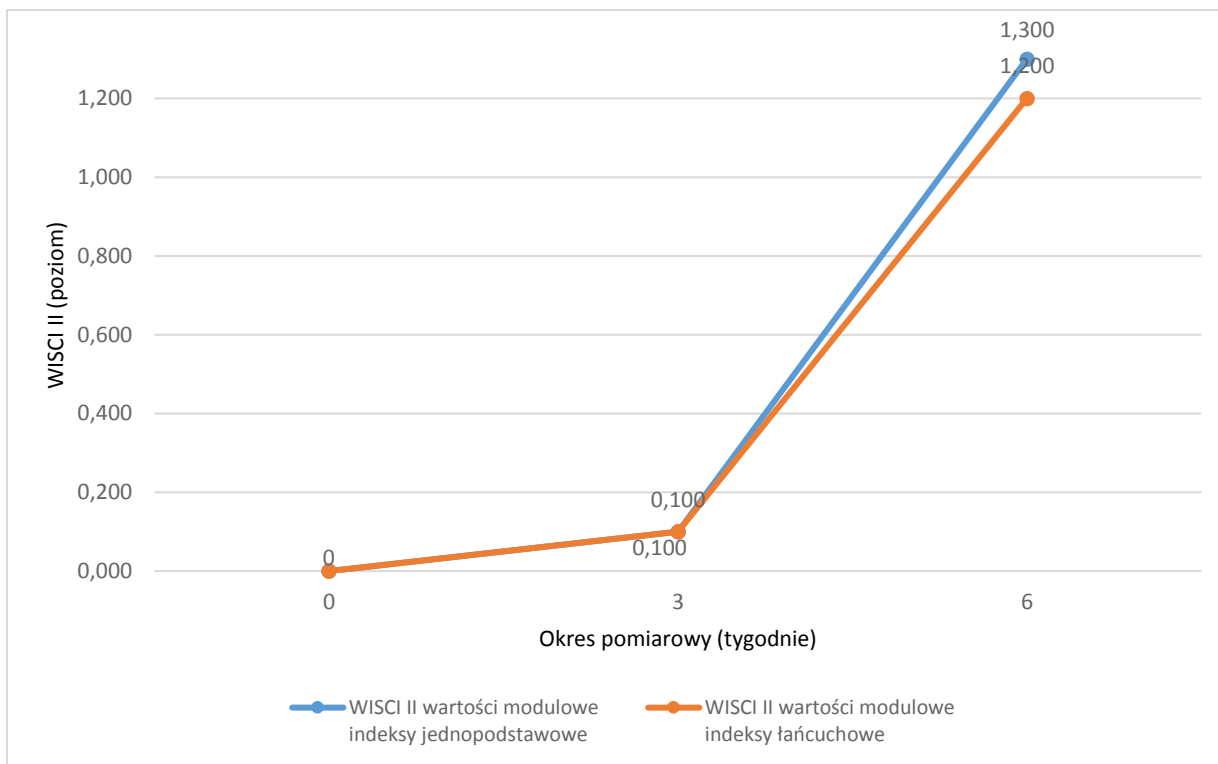
10 MWT – 10-metrowy test marszowy, 6MWT – test 6-minutowego marszu, WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II, LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych, VAS – Wizualna Skala Analogowa, SCI-SET - Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego



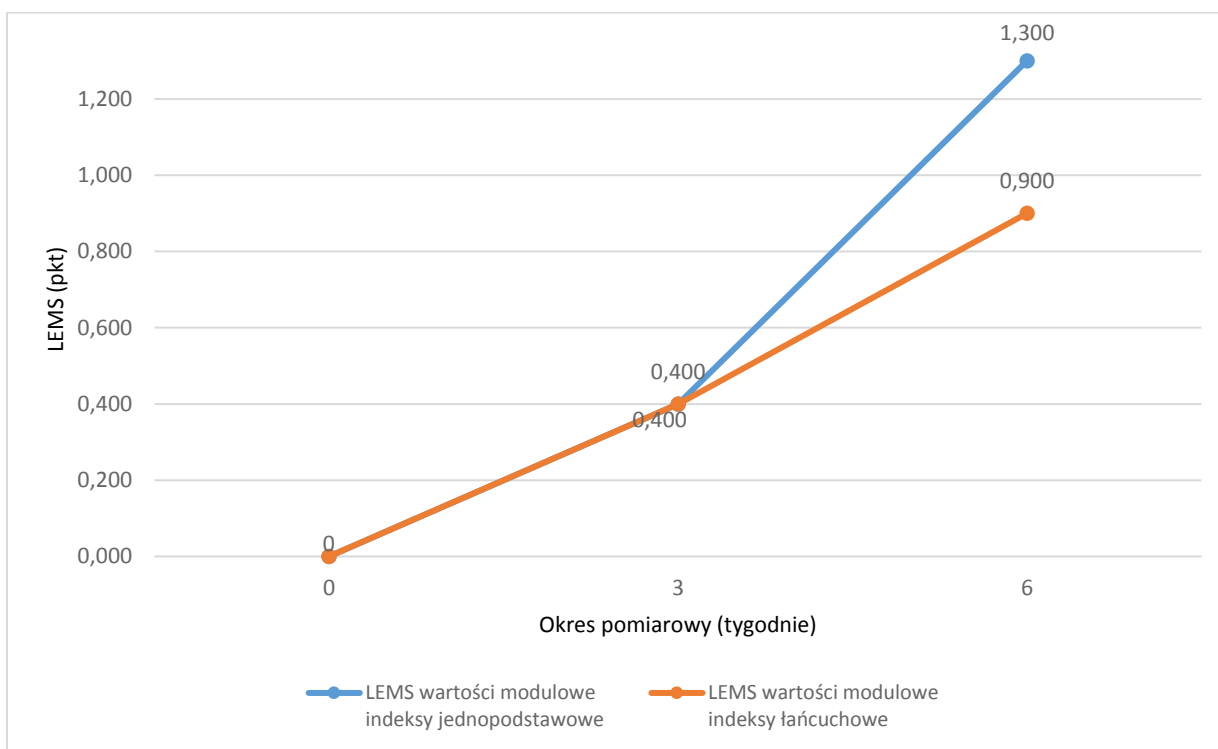
**Rycina 10** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej 10MWT w grupie badanej L2. 10 MWT – 10-metrowy test marszowy



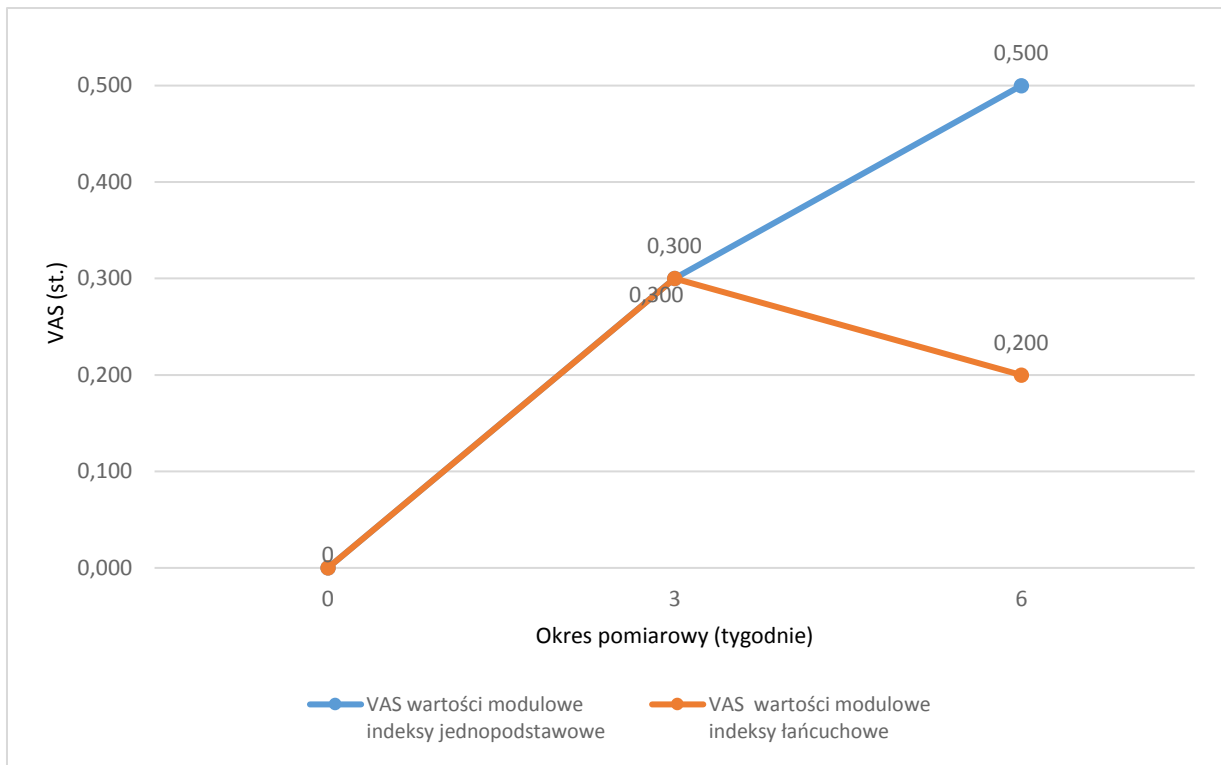
**Rycina 11** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej 6MWT w grupie badanej L2. 6MWT – test 6-minutowego marszu



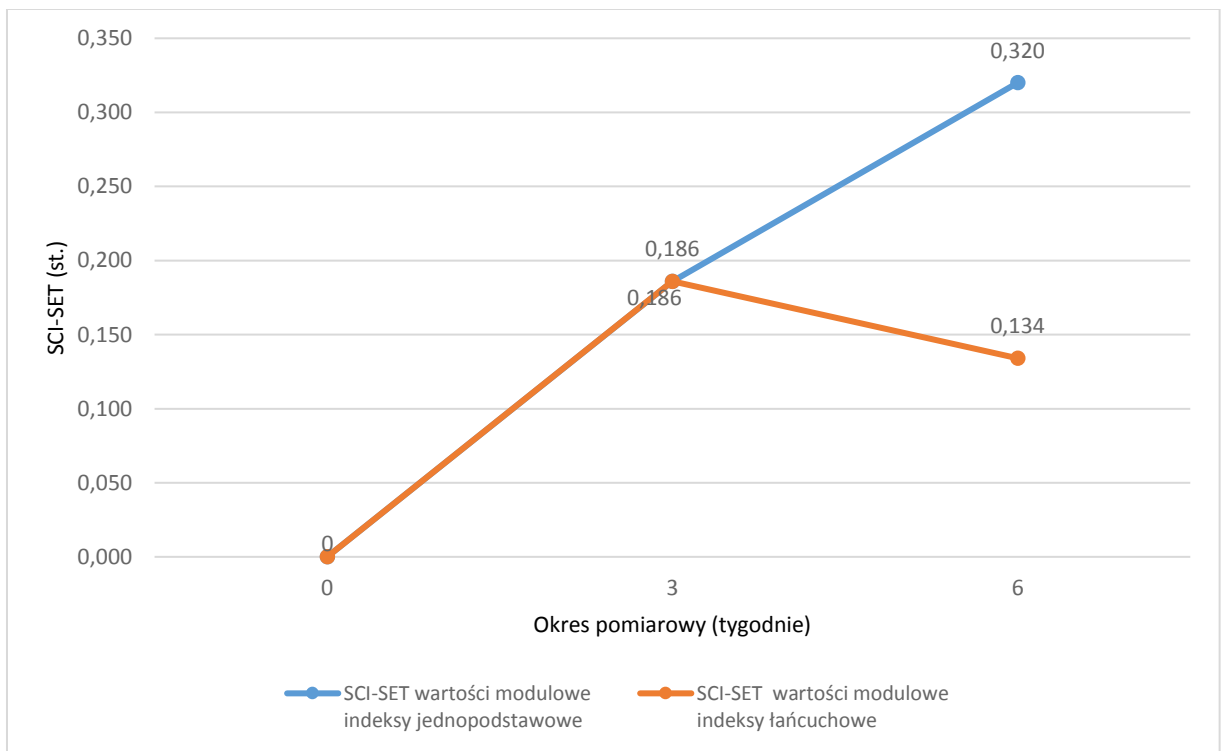
**Rycina 12** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej WISCI II w grupie badanej L2. WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II



**Rycina 13** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej LEMS w grupie badanej L2. LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych



**Rycina 14** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej VAS w grupie badanej L2. VAS – Wizualna Skala Analogowa



**Rycina 15** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej SCI-SET w grupie badanej L2. SCI-SET – Narzędzie Oceniające Spastyczność po Urazie Rdzenia Kręgowego

W pomiarze po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy wzrost 10MWT w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem fizjoterapii wyniósł 75% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny wzrost miał miejsce w pomiarze L1-3 i wyniósł 50% .

Pomiar po interwencji fizjoterapeutycznej wykazał całkowity procentowy wzrost zmiennej 6MWT w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania i wyniósł 41% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny wzrost miał miejsce w pomiarze L1-3 i wyniósł 23%.

W pomiarze po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy wzrost zmiennej WISCI II w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 17% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. Podobnie w oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny wzrost miał miejsce w pomiarze L1-6 i wyniósł 15%.

Po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy wzrost zmiennej LEMS w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 25,5% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny wzrost miał miejsce w pomiarze L1-6 i wyniósł 16%.

Po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy spadek wartości zmiennej VAS w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 23,8% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny przyrost (polepszenie wyniku) miał miejsce w pomiarze L1-3 i wyniósł 14%.

Po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy spadek wartości zmiennej SCI-SET w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 62,9% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny spadek miał miejsce w pomiarze L1-6 i wyniósł 41,5%.

#### **4.3.2 Wyznaczenie funkcji trendów oraz weryfikacja i walidacja dopasowania danych wyjściowych do empirycznych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie badanej L2**

W celu sprawdzenia stopnia dopasowania funkcji trendu do danych empirycznych dla zmiennej **10MWT**, obliczony został współczynnik zbieżności  $\phi^2$ . Stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 10% zmienności zmiennej **10MWT** nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej **10MWT** przyjęła następującą postać:

$$y = 0,04x + 0,07$$

Współczynnik trendu równy 0,07 informuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar 10MWT polepszał się o 0,07. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość 10MWT powinna wynosić 0,09.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XVI). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XVI** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej 10MWT oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie badanej L2

| Zmienna      | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|--------------|-------|-------|-------------|
| <b>10MWT</b> | 0,09  | 0,54% | 0,10        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$ - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyleni składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model regresyjny jako bardziej przydatny.

W następnej kolejności, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 9% zmienności zmiennej **6MWT** nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej **6MWT** przyjęła następującą postać:

$$y = 6,57x + 25,79$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar 6MWT polepszał się o 6,57. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość 6MWT powinna wynosić 25,79.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XVII). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.



**Tabela XVII** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej 6MWT oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie badanej L2

| Zmienna     | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|-------------|-------|-------|-------------|
| <b>6MWT</b> | 0,80  | 2,33% | 0,09        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$ - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

W przypadku WISCI II, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 12% zmienności zmiennej **WISCI II** nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej **WISCI II** przyjęła następującą postać:

$$y = 0,65x + 6,97$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar WISCI II polepszał się o 0,65. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość WISCI II powinna wynosić 6,97.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XVIII). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XVIII** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej WISCI II oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie badanej L2

| Zmienna         | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|-----------------|-------|-------|-------------|
| <b>WISCI II</b> | 0,91  | 1,34% | 0,12        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$ - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

W przypadku LEMS, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 10% zmienności zmiennej LEMS nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej LEMS przyjęła następującą postać:

$$y = 0,65x + 4,37$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar LEMS polepszał się o 0,65. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość LEMS powinna wynosić 4,37.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XIX). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XIX** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej LEMS oraz wartości walidacyjne  $\phi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie badanej L2

| Zmienna     | $S_e$ | $V_e$ | $\phi^2$ |
|-------------|-------|-------|----------|
| <b>LEMS</b> | 0,33  | 0,71% | 0,10     |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\phi^2$  - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchylenia składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

W odniesieniu do VAS, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 8% zmienności zmiennej VAS nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej VAS przyjęła następującą postać:

$$y = -0,25x + 2,33$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar VAS polepszał się o 0,25 (wartość mniejszego odczucia bólu). W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość VAS powinna wynosić 2,33.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do

wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XX). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XX** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej VAS oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie badanej L2

| Zmienna | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|---------|-------|-------|-------------|
| VAS     | 0,50  | 0,71% | 0,08        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$ - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchylen składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

W odniesieniu do SCI-SET, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 12% zmienności zmiennej SCI-SET nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej SCI-SET przyjęła następującą postać:

$$y = 0,16x - 0,661$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar SCI-SET zwiększał się o 0,16. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość SCI-SET powinna wynosić -0,661.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XXI). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XXI** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej SCI-SET oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie badanej L2

| Zmienna | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|---------|-------|-------|-------------|
| SCI-SET | 0,25  | 0,98% | 0,12        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$ - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

#### **4.4 Analiza dynamiki zmienności poszczególnych parametrów oraz różnic wewnątrzgrupowych w grupie Kontrolnej**

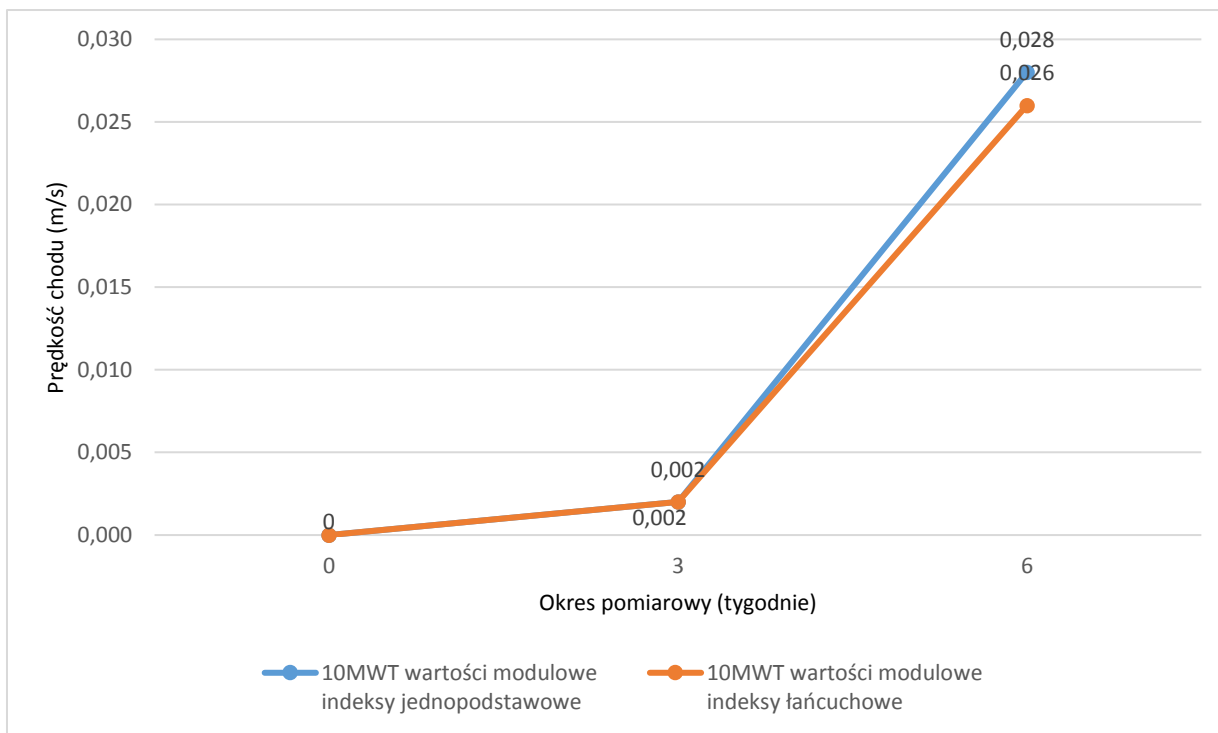
##### **4.4.1 Analiza dynamiki zmienności i różnic wewnątrzgrupowych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie Kontrolnej**

Ogólna charakterystyka liczbowa uzyskiwanych wartości przyrostów absolutnych zmiennych w aspekcie indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych przedstawiona została w tabeli XXII. Graficzną analizę rozkładu indeksów, zaprezentowano na rycinach 16-20 (brak wykresu dla zmiennej WISCI II-wartości zerowe).

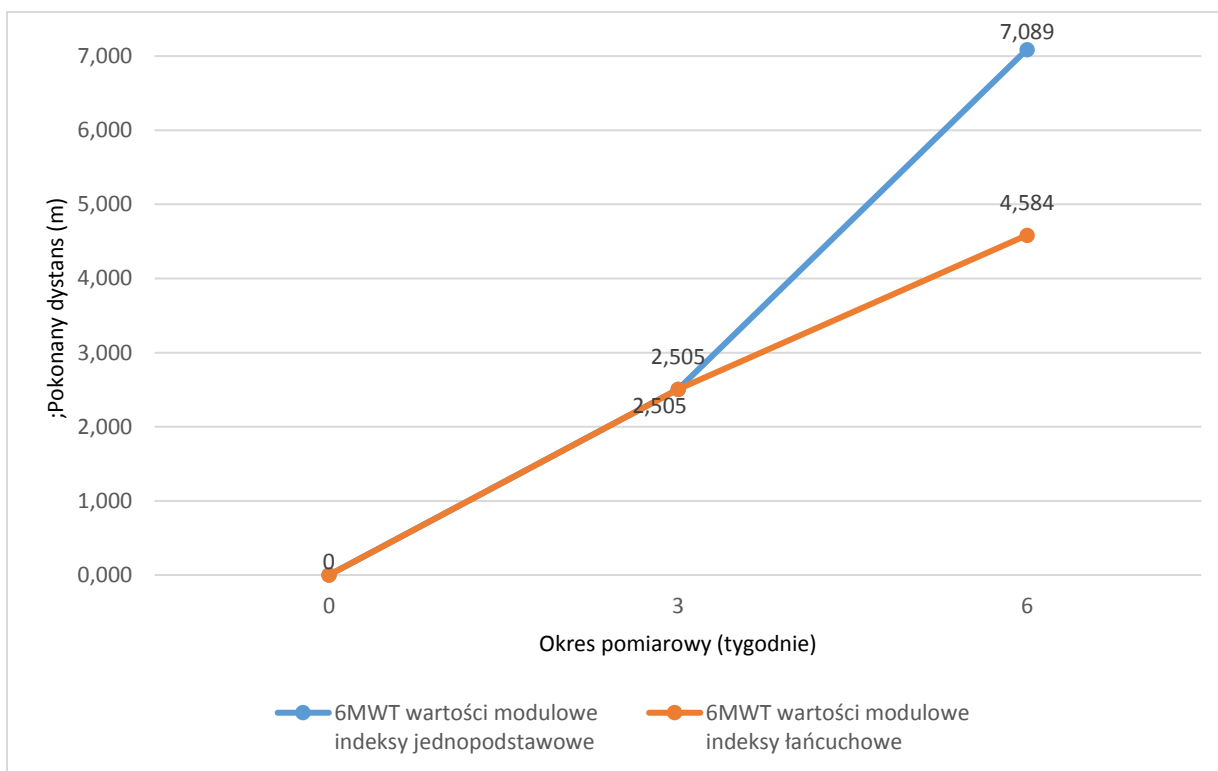
**Tabela XXII** Przyrosty absolutne zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET, jednopodstawowe i łańcuchowe w grupie Kontrolnej

| <b>Zmienna 10MWT</b>    |                                  |  |                                     |
|-------------------------|----------------------------------|--|-------------------------------------|
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[m/s]    | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[m/s]    | Przyrosty<br>łańcuchowe<br>[m/s]    |
| 0                       | 0.113                            | 0  | 0                                   |
| 3                       | 0.115                            | 0.002                                    | 0.002                               |
| 6                       | 0.141                            | 0.028                                    | 0.026                               |
| <b>Zmienna 6MWT</b>     |                                  |  |                                     |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[m]      | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[m]      | Przyrosty<br>łańcuchowe<br>[m]      |
| 0                       | 31.739                           | 0  | 0                                   |
| 3                       | 34.244                           | 2.505                                    | 2.505                               |
| 6                       | 38.828                           | 7.089                                    | 4.584                               |
| <b>Zmienna WISCI II</b> |                                  |  |                                     |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[poziom] | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[poziom] | Przyrosty<br>łańcuchowe<br>[poziom] |
| 0                       | 7.8                              | 0  | 0                                   |
| 3                       | 7.8                              | 0.000                                    | 0.000                               |
| 6                       | 7.8                              | 0.000                                    | 0.000                               |
| <b>Zmienna LEMS</b>     |                                  |  |                                     |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[pkt]    | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[pkt]    | Przyrosty<br>łańcuchowe<br>[pkt]    |
| 0                       | 4.8                              | 0  | 0                                   |
| 3                       | 4.9                              | 0.100                                    | 0.100                               |
| 6                       | 5.3                              | 0.500                                    | 0.400                               |
| <b>Zmienna VAS</b>      |                                  |  |                                     |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[st.]    | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[st.]    | Przyrosty<br>łańcuchowe<br>[st.]    |
| 0                       | 2.75                             | 0  | 0                                   |
| 3                       | 1.85                             | -0.900                                   | -0.900                              |
| 6                       | 2.2                              | -0.550                                   | 0.350                               |
| <b>Zmienna SCI-SET</b>  |                                  |  |                                     |
| Okres pomiarowy         | Wartości rzeczywiste<br>[st.]    | Przyrosty<br>jednopodstawowe<br>[st.]    | Przyrosty<br>łańcuchowe<br>[st.]    |
| 0                       | -0.562                           | 0  | 0                                   |
| 3                       | -0.453                           | -0.109                                   | -0.109                              |
| 6                       | -0.412                           | -0.150                                   | -0.041                              |

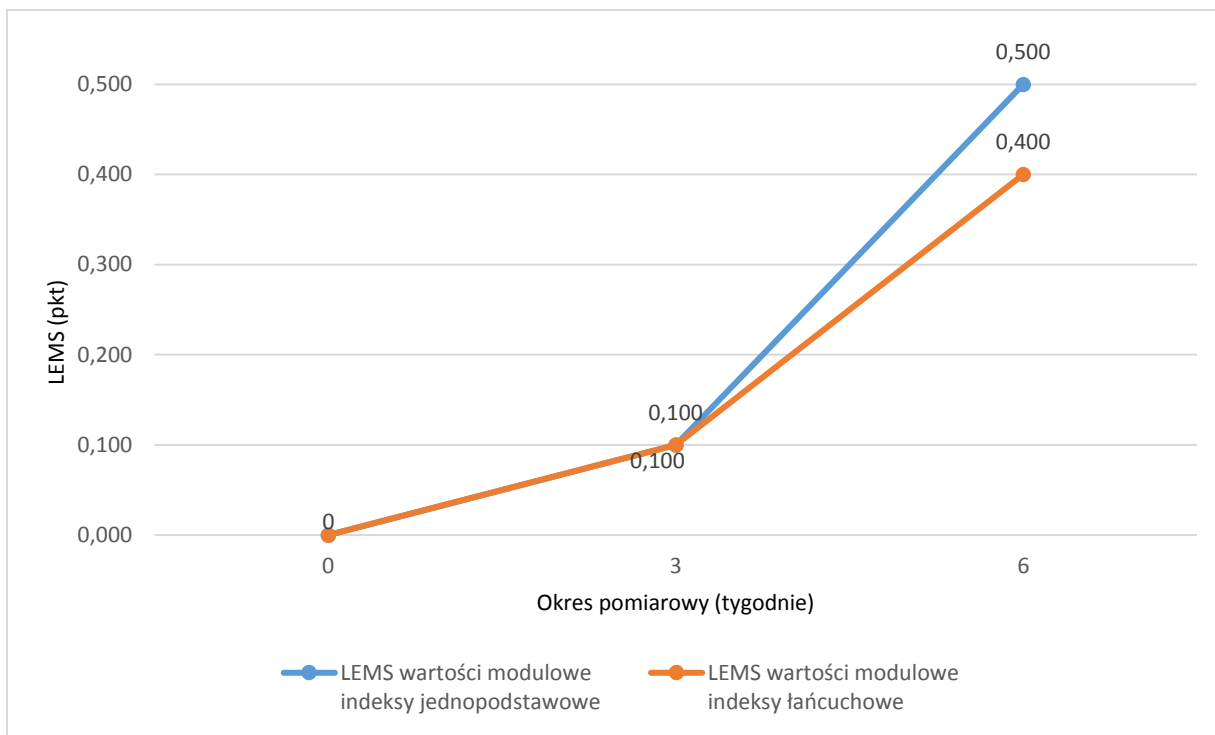
10 MWT – 10-metrowy test marszowy, 6MWT – test 6-minutowego marszu, WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II, LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych, VAS – Wizualna Skala Analogowa, SCI-SET - Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego



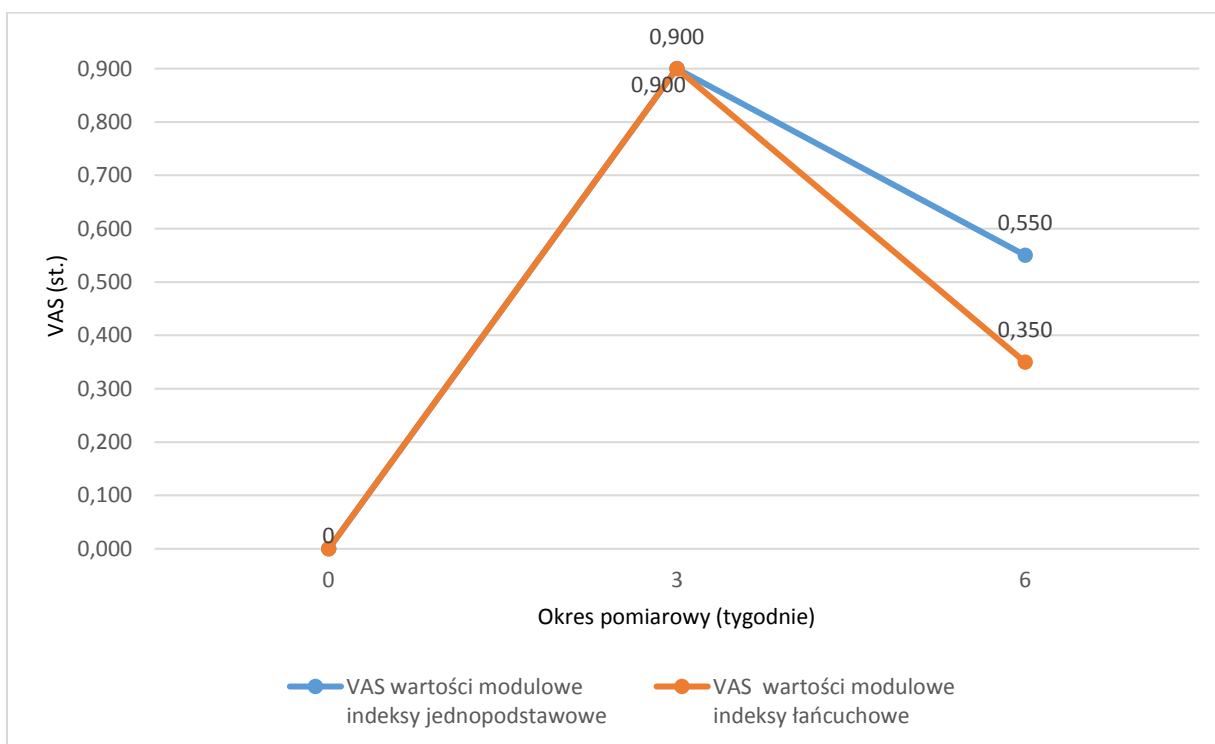
**Rycina 16** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej 10MWT w grupie Kontrolnej. 10MWT – 10-metrowy test marszowy



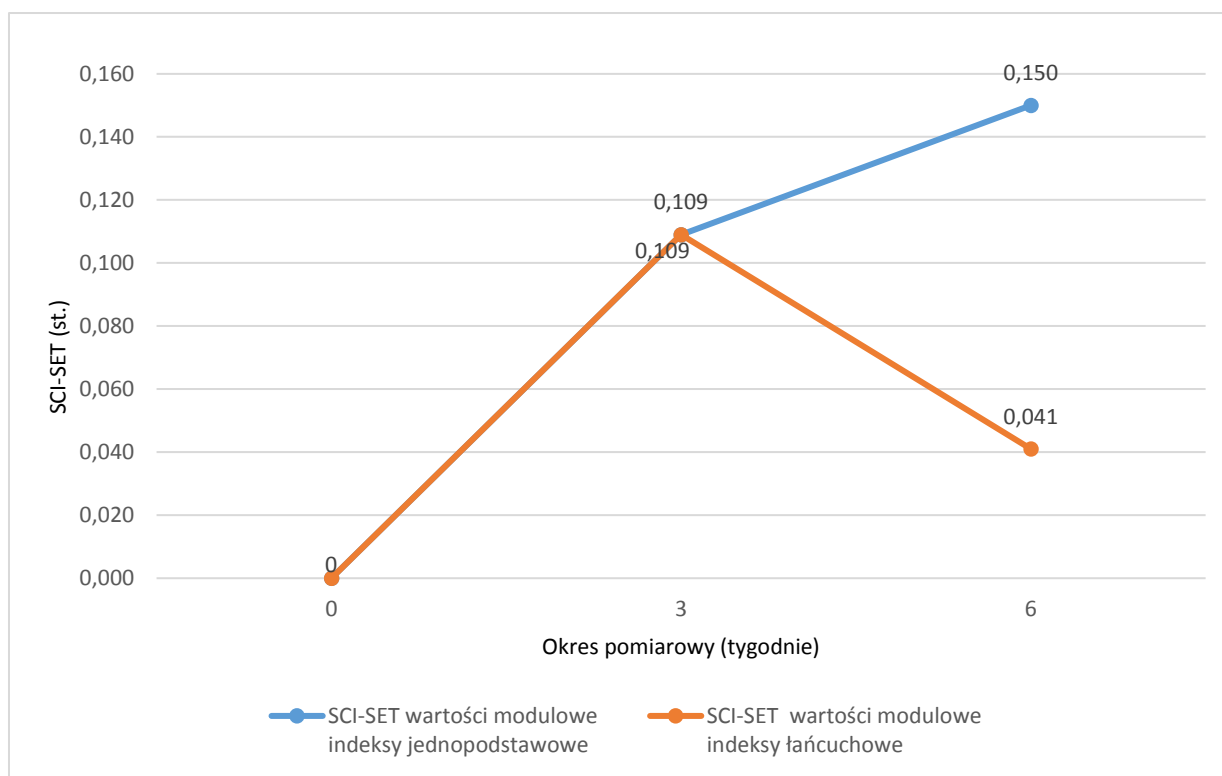
**Rycina 17** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej 6MWT w grupie Kontrolnej. 6MWT – test 6-minutowego marszu



**Rycina 18** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej LEMS w grupie Kontrolnej. LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych



**Rycina 19** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej VAS w grupie Kontrolnej. VAS – Wizualna Skala Analogowa



**Rycina 20** Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej SCI-SET w grupie Kontrolnej. SCI – SET – Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego

W pomiarze po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy wzrost 10MWT w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem fizjoterapii wyniósł 62,5% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny wzrost miał miejsce w pomiarze Kontrol-3 i wyniósł 35% .

Pomiar po interwencji fizjoterapeutycznej wykazał całkowity procentowy wzrost zmiennej 6MWT w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania i wyniósł 22,3% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny wzrost miał miejsce w pomiarze Kontrol-6 i wyniósł 13,4%.

W pomiarze po interwencji fizjoterapeutycznej nie odnotowano procentowego wzrostu zmiennej WISCI II w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych, a tym samym w oparciu o indeksy łańcuchowe.

Po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy wzrost zmiennej LEMS w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 10,4% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny wzrost miał miejsce w pomiarze Kontrol-6 i wyniósł 8,2%.



Po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy spadek wartości zmiennej VAS w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 20% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny przyrost (polepszenie wyniku) miał miejsce w pomiarze Kontrol-3 i wyniósł 30%.

Po interwencji fizjoterapeutycznej całkowity procentowy spadek wartości zmiennej SCI-SET w odniesieniu do pomiaru przed rozpoczęciem usprawniania wyniósł 27% z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych. W oparciu o indeksy łańcuchowe, najwyższy względny spadek miał miejsce w pomiarze Kontrol-3 i wyniósł 19,4%.

#### **4.4.2 Wyznaczenie funkcji trendów oraz weryfikacja i walidacja dopasowania danych wyjściowych do empirycznych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie Kontrolnej**

W celu sprawdzenia stopnia dopasowania funkcji trendu do danych empirycznych dla zmiennej **10MWT**, obliczony został współczynnik zbieżności  $\varphi^2$ . Stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 19% zmienności zmiennej **10MWT** nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej **10MWT** przyjęła następującą postać:

$$y = 0,04x + 0,09$$

Współczynnik trendu równy 0,04 informuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar 10MWT polepszał się o 0,04. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczny średnia wartość 10MWT powinna wynosić 0,09.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XXIII). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XXIII** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej 10MWT oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie Kontrolnej

| Zmienna      | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|--------------|-------|-------|-------------|
| <b>10MWT</b> | 1,09  | 2,54% | 0,19        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$  - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model regresyjny jako bardziej przydatny.

W następnej kolejności, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 18% zmienności zmiennej **6MWT** nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej **6MWT** przyjęła następującą postać:

$$y = 3,54x + 27,85$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar 6MWT polepszał się o 3,54. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość 6MWT powinna wynosić 27,85.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XXIV). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XXIV** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej 6MWT oraz wartości walidacyjne  $\phi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie Kontrolnej

| Zmienna     | $S_e$ | $V_e$ | $\phi^2$ |
|-------------|-------|-------|----------|
| <b>6MWT</b> | 0,98  | 1,33% | 0,18     |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\phi^2$  - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

W przypadku WISCI II, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 20% zmienności zmiennej **WISCI II** nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej **WISCI II** przyjęła następującą postać:

$$y = 0x + 7,88$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar WISCI II polepszał się o 0 (brak polepszenia). W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna

średnia wartość WISCI II powinna wynosić 7,88.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XXV). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XXV** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej WISCI II oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie Kontrolnej

| Zmienna         | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|-----------------|-------|-------|-------------|
| <b>WISCI II</b> | 0,91  | 1,34% | 0,20        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$  - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

W przypadku LEMS, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 19% zmienności zmiennej **LEMS** nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej **LEMS** przyjęła następującą postać:

$$y = 0,25x + 4,50$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar LEMS polepszał się o 0,25. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość LEMS powinna wynosić 4,50.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XXVI). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XXVI** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej LEMS oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie Kontrolnej

| Zmienna     | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|-------------|-------|-------|-------------|
| <b>LEMS</b> | 0,79  | 0,99% | 0,19        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$  - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

W odniesieniu do VAS, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 18% zmienności zmiennej VAS nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej VAS przyjęła następującą postać:

$$y = -0,27x + 2,82$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar VAS polepszał się o 0,27 (wartość mniejsza odczucia bólu). W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość VAS powinna wynosić 2,82.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (XXVII). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XXVII** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej VAS oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie Kontrolnej

| Zmienna    | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|------------|-------|-------|-------------|
| <b>VAS</b> | 0,66  | 0,79% | 0,18        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$  - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

W odniesieniu do SCI-SET, stwierdzono, że funkcja liniowa trendu została bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych, gdyż jedynie 22% zmienności zmiennej SCI-SET nie została wyjaśniona funkcją trendu.

Funkcja trendu zmiennej SCI-SET przyjęła następującą postać:

$$y = 0,08x - 0,63$$

Współczynnik trendu wskazuje, że w badanym okresie średnio z pomiaru na pomiar SCI-SET zwiększał się o 0,08. W okresie poprzedzającym badanie teoretyczna średnia wartość SCI-SET powinna wynosić -0,63.

Weryfikacja budowanych modeli szeregów czasowych i wartości predykcyjnej na kolejny teoretyczny pomiar, wykazała wysokie dopasowanie danych empirycznych do wyjściowych modeli. Wartość odchylenia standardowego składnika resztkowego była zadowalająca co pozytywnie zweryfikowało poprawność modeli (Tabela XXVIII). Tym samym walidacja modeli była pozytywna.

**Tabela XXVIII** Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej SCI-SET oraz wartości walidacyjne  $\varphi^2$ ,  $S_e$  oraz  $V_e$  w grupie Kontrolnej

| Zmienna        | $S_e$ | $V_e$ | $\varphi^2$ |
|----------------|-------|-------|-------------|
| <b>SCI-SET</b> | 0,95  | 1,45% | 0,22        |

$S_e$  – odchylenie standardowe składnika resztkowego,  
 $V_e$  – współczynnik zmienności resztkowej (%),  $\varphi^2$  - współczynnik zbieżności

Uzyskane wartości odchyłeń składnika resztkowego, dopasowania do danych empirycznych oraz współczynnika zmienności resztkowej, jednoznacznie wskazują na model jako przydatny i prawidłowy.

#### **4.5 Określenie istotności różnic wewnątrzgrupowych dla zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie badanej L1, L2 oraz Kontrolnej**

Wieloczynnikowa analiza wariancji ANOVA z powtarzanymi pomiarami w kolejnych pięciu punktach pomiarowych w grupie L1 oraz L2, na poziomie istotności statystycznej  $p < 0.05$  wykazała, iż można było odrzucić hipotezy o **braku różnic** pomiędzy wartościami analizowanych zmiennych w przypadku 3 zmiennych (Tabela XXIX). Mianowicie w obu grupach zachodziły istotne różnice dla zmiennych 10MWT, 6MWT oraz SCI SET.

Wieloczynnikowa analiza wariancji ANOVA z powtarzanymi pomiarami w kolejnych pięciu punktach pomiarowych w grupie Kontrolnej, na poziomie istotności statystycznej

$p < 0.05$  wykazała, iż nie można było odrzucić hipotezy o **braku różnic** pomiędzy wartościami analizowanych zmiennych (Tabela XXIX). Nie zachodziły istotne różnice dla zmiennych 10MWT, 6MWT oraz SCI SET.

**Tabela XXIX** Wynik analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic wewnątrzgrupowych w grupie L1, L2 i Kontrolnej ze względu na wyniki pomiarów przed i po usprawnianiu

| Grupa           | L1    |       | L2    |       | Kontrol |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
|                 | F     | p     | F     | p     | F       | p     |
| <b>10MWT</b>    | 5,696 | 0,020 | 6,542 | 0,021 | 1,106   | 0,345 |
| <b>6MWT</b>     | 4,489 | 0,043 | 6,408 | 0,024 | 0,820   | 0,451 |
| <b>WISCI II</b> | 0,049 | 0,952 | 0,854 | 0,437 | 0,000   | 1,000 |
| <b>LEMS</b>     | 0,108 | 0,898 | 0,187 | 0,831 | 0,033   | 0,968 |
| <b>VAS</b>      | 0,136 | 0,874 | 0,095 | 0,910 | 0,243   | 0,786 |
| <b>SCI-SET</b>  | 5,238 | 0,031 | 7,032 | 0,012 | 0,243   | 0,786 |

10 MWT – 10-metrowy test marszowy, 6MWT – test 6-minutowego marszu, WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II, LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych, VAS – Wizualna Skala Analogowa, SCI-SET - Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego, F – test F, p – poziom istotności statystycznej

W następnym kroku wykonano poszczególne testy post-hoc dla zmiennych istotnie różnych w celu określenia w jakich okresach zachodziły różnice (Tabela XXX).

**Tabela XXX** Wynik testu post-hoc wieloczynnikowej analizy wariancji ANOVA, w celu określenia istotnych statystycznie różnic zmiennych 10MWT, 6MWT oraz SCI SET w grupie L1 i L2

| 10MWT    |                      |          |          | 10MWT    |                      |          |          |
|----------|----------------------|----------|----------|----------|----------------------|----------|----------|
| Grupa    | {1}                  | {2}      | {3}      | Grupa    | {1}                  | {2}      | {3}      |
|          | Wartości różnicujące |          |          |          | Wartości różnicujące |          |          |
|          | M=,13100             | M=,17700 | M=,21300 |          | M=,11200             | M=,16800 | M=,19700 |
| L1-0 {1} |                      | 0,036    | 0,020    | L2-0 {1} |                      | 0,033    | 0,021    |
| L1-3 {2} | 0,036                |          | 0,702    | L2-3 {2} | 0,033                |          | 0,732    |
| L1-6 {3} | 0,020                | 0,702    |          | L2-6 {3} | 0,021                | 0,732    |          |
| 6MWT     |                      |          |          | 6MWT     |                      |          |          |
| Grupa    | {1}                  | {2}      | {3}      | Grupa    | {1}                  | {2}      | {3}      |
|          | Wartości różnicujące |          |          |          | Wartości różnicujące |          |          |
|          | M=36,835             | M=44,062 | M=49,692 |          | M=32,083             | M=39,487 | M=45,232 |
| L1-0 {1} |                      | 0,045    | 0,043    | L2-0 {1} |                      | 0,044    | 0,024    |
| L1-3 {2} | 0,045                |          | 0,903    | L2-3 {2} | 0,044                |          | 0,610    |
| L1-6 {3} | 0,043                | 0,903    |          | L2-6 {3} | 0,024                | 0,610    |          |
| SCI SET  |                      |          |          | SCI SET  |                      |          |          |
| Grupa    | {1}                  | {2}      | {3}      | Grupa    | {1}                  | {2}      | {3}      |
|          | Wartości różnicujące |          |          |          | Wartości różnicujące |          |          |
|          | M=,5450              | M=,3930  | M=,3250  |          | M=,5090              | M=,3230  | M=,1890  |
| L1-0 {1} |                      | 0,045    | 0,031    | L2-0 {1} |                      | 0,034    | 0,012    |
| L1-3 {2} | 0,045                |          | 0,884    | L2-3 {2} | 0,034                |          | 0,042    |
| L1-6 {3} | 0,031                | 0,884    |          | L2-6 {3} | 0,012                | 0,042    |          |

10 MWT – 10-metrowy test marszowy, 6MWT – test 6-minutowego marszu, SCI-SET - Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego

Otrzymane wartości analiz dowodzą, iż wystąpiły istotne statystycznie różnice wewnątrzgrupowe w grupie badanej L1 oraz L2 pomiędzy pomiarami przed, po 3 i 6 tygodniach dla wszystkich analizowanych zmiennych. Jednocześnie biorąc pod uwagę wartości różnicujące, w obu grupach można było zaobserwować istotną poprawę wyników po interwencji fizjoterapeutycznej. Szczególnie widoczne jest to w pomiarze po 6 tygodniach w odniesieniu do pomiaru testowego przed interwencją usprawniania (Tabela XXX). Największa istotna różnica w grupie L1 odnotowana została pomiędzy pomiarem po 6 tygodniach a pomiarem testowym dla zmiennej 10MWT ( $p=0,020$ ). Największa istotna różnica w grupie L2 odnotowana została pomiędzy pomiarem po 6 tygodniach a pomiarem testowym dla zmiennej SCI SET ( $p=0,012$ ), 10MWT ( $p=0,021$ ) i 6MWT ( $p=0,024$ ).

#### 4.6 Analiza różnic międzygrupowych

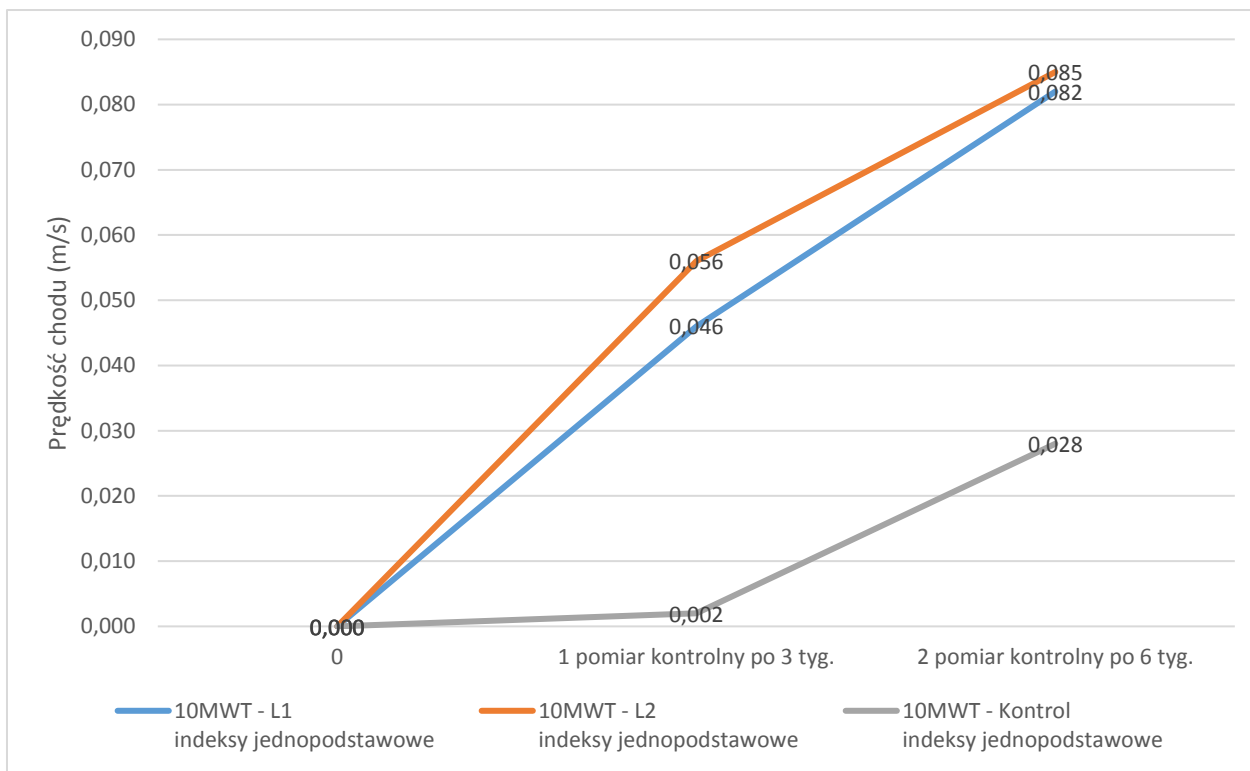
Wyniki analizy porównawczej pomiędzy grupami L1, L2 i Kontrol ze względu na wartości przyrostów absolutnych z uwzględnieniem indeksów jednopodstawowych zostały pokazane w tabeli XXXI oraz na rycinach 21 do 26.

**Tabela XXXI** Wartości indeksów jednopodstawowych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie badanej L1, L2 i Kontrol

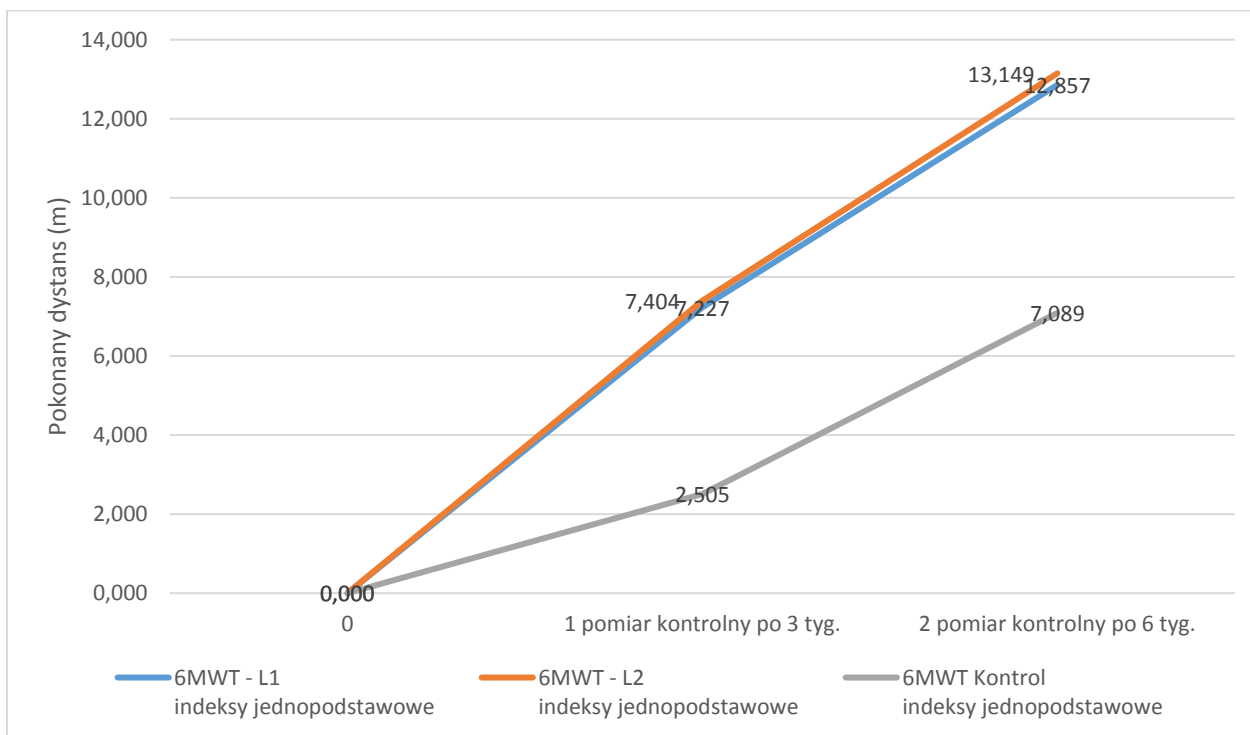
| <b>Zmienna 10MWT</b>         |   |   |  |
|------------------------------|---|---|--|
| Okres pomiarowy              | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[L1 - m/s]    | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[L2 - m/s]    | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[Kontrol - m/s]    |
| 0                            | 100   | 100   | 100  |
| 1 pomiar kontrolny po 3 tyg. | 0,046                                       | 0,056                                       | 0,002  |
| 2 pomiar kontrolny po 6 tyg. | 0,082                                       | 0,085                                       | 0,028  |
| <b>Zmienna 6MWT</b>          |   |   |  |
| Okres pomiarowy              | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[L1 - m]      | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[L2 - m]      | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[Kontrol - m]      |
| 0                            | 100   | 100   | 100  |
| 1 pomiar kontrolny po 3 tyg. | 7,227                                       | 7,404                                       | 2,505  |
| 2 pomiar kontrolny po 6 tyg. | 12,857                                      | 13,149                                      | 7,089  |
| <b>Zmienna WISCI II</b>      |   |   |  |
| Okres pomiarowy              | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[L1 - poziom] | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[L2 - poziom] | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[Kontrol - poziom] |
| 0                            | 100   | 100   | 100  |
| 1 pomiar kontrolny po 3 tyg. | 0,123                                       | 0,100                                       | 0,000  |
| 2 pomiar kontrolny po 6 tyg. | 0,200                                       | 1,300                                       | 0,000  |
| <b>Zmienna LEMS</b>          |   |   |  |
| Okres pomiarowy              | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[L1 - pkt]    | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[L2 - pkt]    | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[Kontrol - pkt]    |
| 0                            | 100   | 100   | 100  |
| 1 pomiar kontrolny po 3 tyg. | 0,200                                       | 0,400                                       | 0,100  |
| 2 pomiar kontrolny po 6 tyg. | 0,900                                       | 1,300                                       | 0,500  |
| <b>Zmienna VAS</b>           |   |   |  |
| Okres pomiarowy              | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[L - st.]     | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[L2 - st.]    | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[Kontrol - st.]    |
| 0                            | 100   | 100   | 100  |
| 1 pomiar kontrolny po 3 tyg. | 0,300                                       | 0,300                                       | 0,900  |
| 2 pomiar kontrolny po 6 tyg. | 0,500                                       | 0,500                                       | 0,550  |
| <b>Zmienna SCI-SET</b>       |   |   |  |
| Okres pomiarowy              | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[L1 - st.]    | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[L2 - st.]    | Indeksy<br>jedenpodstawowe<br>[Kontrol - st.]    |
| 0                            | 100   | 100   | 100  |
| 1 pomiar kontrolny po 3 tyg. | 0,152                                       | 0,186                                       | 0,109  |
| 2 pomiar kontrolny po 6 tyg. | 0,220                                       | 0,320                                       | 0,150  |

10 MWT – 10-metrowy test marszowy, 6MWT – test 6-minutowego marszu, WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II, LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych, VAS – Wizualna Skala Analogowa, SCI-SET - Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego

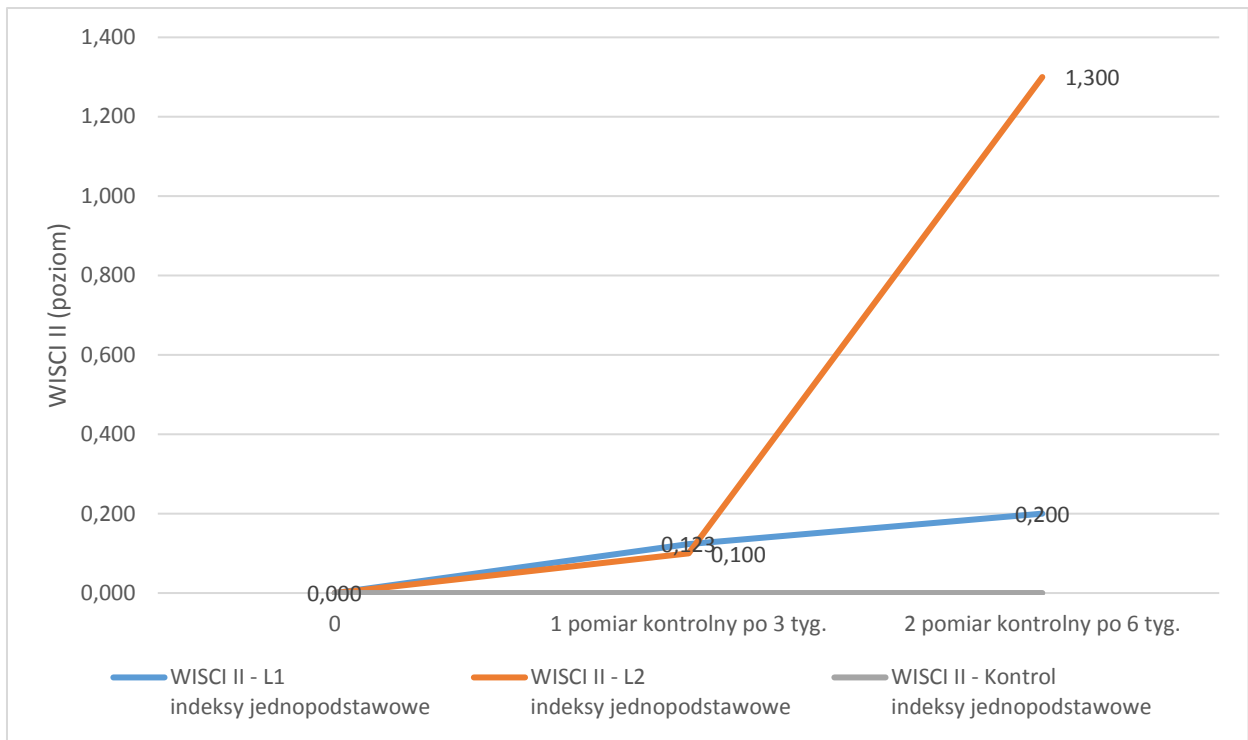




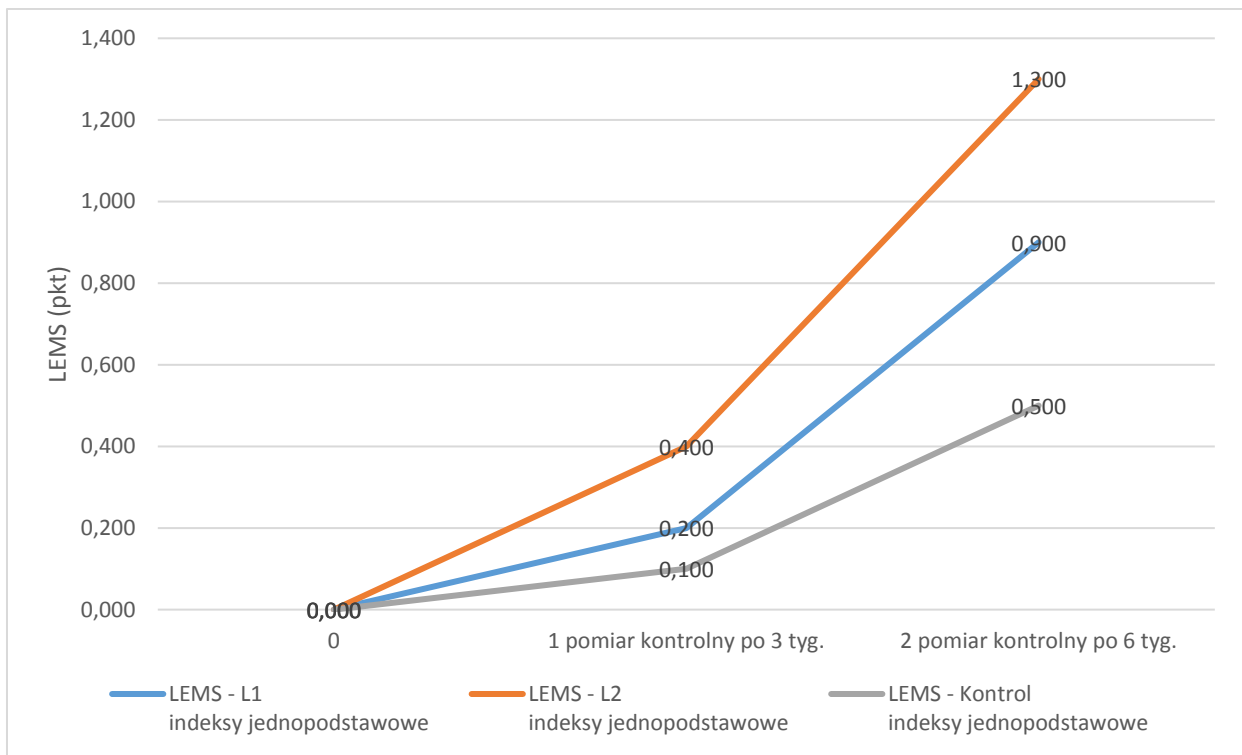
**Rycina 21** Analizy porównawcze pomiędzy indeksami jednopodstawowymi przyrostów absolutnych zmiennej 10MWT w grupie badanej L1, L2 i Kontrol. 10 MWT – 10-metrowy test marszowy



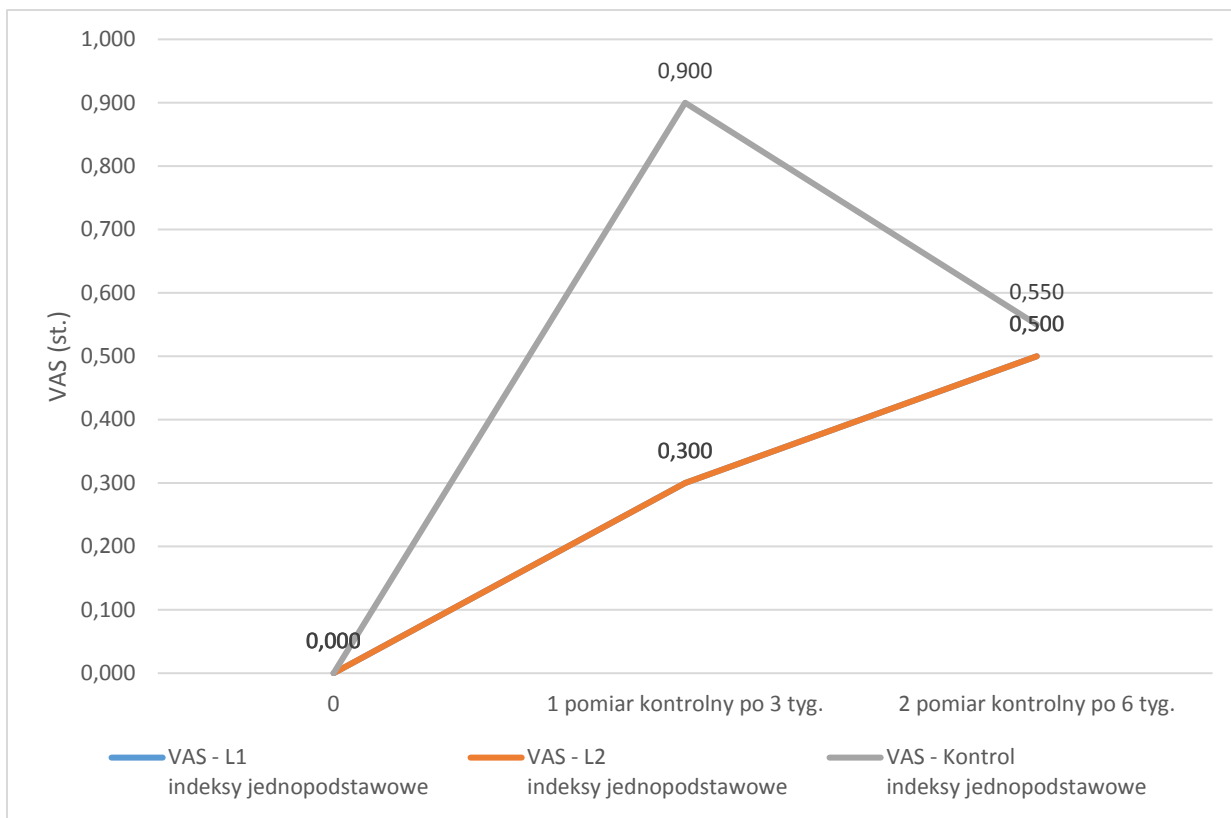
**Rycina 22** Analizy porównawcze pomiędzy indeksami jednopodstawowymi przyrostów absolutnych zmiennej 6MWT w grupie badanej L1, L2 i Kontrol. 6MWT – test 6-minutowego marszu



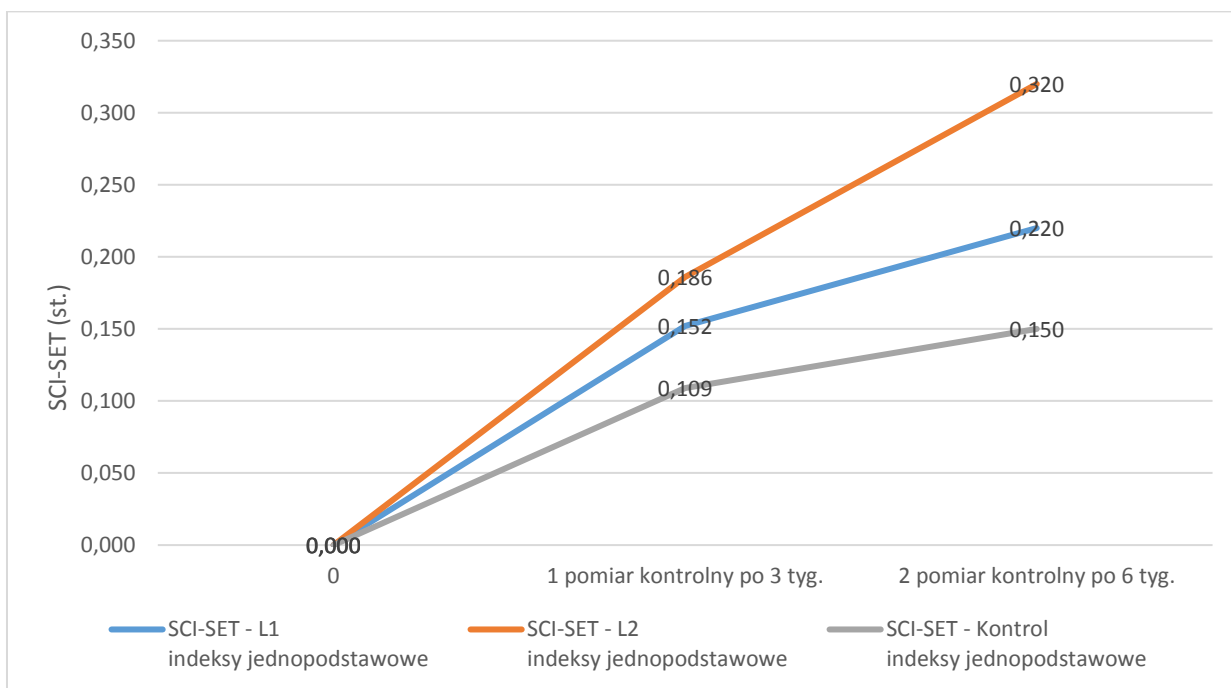
**Rycina 23** Analizy porównawcze pomiędzy indeksami jednopodstawowymi przyrostów absolutnych zmiennej WISCI II w grupie badanej L1, L2 i Kontrol (wartość 0). WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II



**Rycina 24** Analizy porównawcze pomiędzy indeksami jednopodstawowymi przyrostów absolutnych zmiennej LEMS w grupie badanej L1, L2 i Kontrol. LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych



**Rycina 25** Analizy porównawcze pomiędzy indeksami jednopodstawowymi przyrostów absolutnych zmiennej VAS w grupie badanej L1, L2 i Kontrol. VAS – Wizualna Skala Analogowa



**Rycina 26** Analizy porównawcze pomiędzy indeksami jednopodstawowymi przyrostów absolutnych zmiennej SCI-SET w grupie badanej L1, L2 i Kontrol. SCI – SET – Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego

Międzygrupowa jednoczynnikowa analiza wariancji ANOVA pomiędzy danymi pozyskanymi po 3 tygodniach interwencji fizjoterapeutycznej w grupach L1, L2 i Kontrolnej, na poziomie istotności statystycznej  $p < 0.05$  wykazała, iż można było odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy wartościami 3 analizowanych zmiennych (Tabela XXXII). Uwidoczniły się istotne różnice pomiędzy grupami po 3 tygodniach interwencji w zakresie wartości zmiennych: 10MWT, 6MWT i SCI-SET.

**Tabela XXXII** Wynik analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic międzygrupowych L1, L2 i Kontrol ze względu na wyniki pomiarów po 3 tygodniach usprawniania

| Zmienna  | F     | p     |
|----------|-------|-------|
| 10MWT    | 5,875 | 0,022 |
| 6MWT     | 4,619 | 0,035 |
| WISCI II | 0,122 | 0,886 |
| LEMS     | 0,055 | 0,946 |
| VAS      | 0,004 | 0,996 |
| SCI-SET  | 3,364 | 0,041 |

10 MWT – 10-metrowy test marszowy, 6MWT – test 6-minutowego marszu, WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II, LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych, VAS – Wizualna Skala Analogowa, SCI-SET - Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego, F – test F, p – poziom istotności statystycznej

Wykonano testy post-hoc w celu ustalenia szczegółowych zależności różnicujących poszczególne grupy dla istotnych zmiennych.

**Tabela XXXIII** Wynik testu post-hoc wieloczynnikowej analizy wariancji ANOVA, w celu określenia istotnych statystycznie różnic po 3 tygodniach interwencji w zakresie wartości zmiennych: 10MWT, 6MWT i SCI-SET

| <b>Zmienna 10MWT po 3 tygodniach interwencji fizjoterapeutycznej</b>   |                      |              |              |
|--|----------------------|--------------|--------------|
| Grupa  | {1}                  | {2}          | {3}          |
|  | Wartości różnicujące |              |              |
|  | M=,17700             | M=,16800     | M=,11500     |
| L1-3 {1}   |                      | 0,964        | <b>0,022</b> |
| L2-3 {2}   | 0,964                |              | <b>0,039</b> |
| Kontrolna-3 {3}  | <b>0,022</b>         | <b>0,039</b> |              |
| <b>Zmienna 6MWT po 3 tygodniach interwencji fizjoterapeutycznej</b>    |                      |              |              |
| Grupa  | {1}                  | {2}          | {3}          |
|  | Wartości różnicujące |              |              |
|  | M=44,062             | M=39,487     | M=34,244     |
| L1-3 {1}   |                      | 0,863        | <b>0,035</b> |
| L2-3 {2}   | 0,863                |              | 0,825        |
| Kontrolna-3 {3}  | <b>0,035</b>         | 0,825        |              |
| <b>Zmienna SCI-SET po 3 tygodniach interwencji fizjoterapeutycznej</b> |                      |              |              |
| Grupa  | {1}                  | {2}          | {3}          |
|  | Wartości różnicujące |              |              |
|  | M=-,3930             | M=-,3230     | M=-,4530     |
| L1-3 {1}   |                      | 0,891        | 0,919        |
| L2-3 {2}   | 0,891                |              | <b>0,041</b> |
| Kontrolna-3 {3}  | 0,919                | <b>0,041</b> |              |

10 MWT – 10-metrowy test marszowy, 6MWT – test 6-minutowego marszu, SCI-SET - Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego

W przypadku zmiennej 10MWT, otrzymane wartości analiz dowodzą, iż wystąpiły istotne statystycznie różnice po 3 tygodniach interwencji fizjoterapeutycznej pomiędzy grupą kontrolną, a L1 i L2. Wartości różnicujące dla L1 były najwyższe, jednak nie istotnie różne od L2 (Tabela XXXIII).

W przypadku zmiennej 6MWT, otrzymane wartości analiz dowodzą, iż wystąpiły istotne statystycznie różnice po 3 tygodniach interwencji fizjoterapeutycznej pomiędzy grupą kontrolną, a L1. Wartości różnicujące dla L1 były najwyższe, jednak nie istotnie różne od L2. Podobnie pomiędzy grupą L2 i Kontrolną nie zachodziły istotne różnice (Tabela XXXIII).

W przypadku zmiennej SCI-SET po 3 tygodniach interwencji fizjoterapeutycznej wystąpiły istotne statystycznie różnice pomiędzy grupą kontrolną, a L2. Wartości różnicujące dla Kontrolnej były najniższe, jednak nie istotnie różne od L1. Podobnie pomiędzy L2 i L1 nie zachodziły istotne różnice (Tabela XXXIII).

Międzygrupowa jednoczynnikowa analiza wariancji ANOVA pomiędzy danymi pozyskanymi po 6 tygodniach interwencji usprawniania w grupach L1, L2 i Kontrolnej, na poziomie istotności statystycznej  $p < 0.05$  wykazała, iż można było odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy wartościami 2 analizowanych zmiennych (Tabela XXXIV). Uwidoczniły się istotne różnice pomiędzy grupami po 6 tygodniach interwencji w zakresie wartości zmiennych: 10MWT i SCI-SET.

**Tabela XXXIV** Wynik analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic międzygrupowych L1, L2 i Kontrol ze względu na wyniki pomiarów po 6 tygodniach usprawniania

| Zmienna  | F     | p     |
|----------|-------|-------|
| 10MWT    | 5,224 | 0,031 |
| 6MWT     | 0,587 | 0,563 |
| WISCI II | 0,757 | 0,479 |
| LEMS     | 0,143 | 0,867 |
| VAS      | 0,225 | 0,800 |
| SCI-SET  | 5,005 | 0,038 |

10 MWT – 10-metrowy test marszowy, 6MWT – test 6-minutowego marszu, WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II, LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych, VAS – Wizualna Skala Analogowa, SCI-SET - Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego, F – test F, p – poziom istotności statystycznej

Wykonano testy post-hoc w celu ustalenia szczegółowych zależności różnicujących poszczególne grupy dla istotnych zmiennych.

**Tabela XXXV** Wynik testu post-hoc wieloczynnikowej analizy wariancji ANOVA, w celu określenia istotnych statystycznie różnic po 6 tygodniach interwencji w zakresie wartości zmiennych: 10MWT i SCI-SET

| <b>Zmienna 10MWT po 6 tygodniach interwencji fizjoterapeutycznej</b>   |                      |              |              |
|--|----------------------|--------------|--------------|
| Grupa  | {1}                  | {2}          | {3}          |
|  | Wartości różnicujące |              |              |
|  | M=,213               | M=,197       | M=,141       |
| L1-6 {1}   |                      | 0,942        | <b>0,031</b> |
| L2-6 {2}   | 0,942                |              | <b>0,049</b> |
| Kontrolna-6 {3}  | <b>0,031</b>         | <b>0,049</b> |              |
| <b>Zmienna SCI-SET po 6 tygodniach interwencji fizjoterapeutycznej</b> |                      |              |              |
| Grupa  | {1}                  | {2}          | {3}          |
|  | Wartości różnicujące |              |              |
|  | M=,325               | M=,189       | M=,412       |
| L1-6 {1}   |                      | 0,671        | 0,848        |
| L2-6 {2}   | 0,671                |              | <b>0,038</b> |
| Kontrolna-6 {3}  | 0,848                | <b>0,038</b> |              |

10 MWT – 10-metrowy test marszowy , SCI-SET – Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego

W przypadku zmiennej 10MWT, otrzymane wartości analiz dowodzą, iż wystąpiły istotne statystycznie różnice po 6 tygodniach interwencji fizjoterapeutycznej pomiędzy grupą kontrolną, a L1 i L2. Wartości różnicujące dla L1 były najwyższe, jednak nie istotnie różne od L2 (Tabela XXXV).

W przypadku zmiennej SCI-SET po 6 tygodniach interwencji fizjoterapeutycznej, otrzymane wartości analiz dowodzą, iż wystąpiły istotne statystycznie różnice pomiędzy grupą kontrolną, a L2. Wartości różnicujące dla Kontrolnej były najniższe, jednak nie istotnie różne od L1. Podobnie pomiędzy L2 i L1 nie zachodziły istotne różnice (Tabela XXXV).

## **5 DYSKUSJA**

Celem niniejszej pracy była weryfikacja hipotez dotyczących wpływu dwóch 6-tygodniowych programów terapeutycznych z wykorzystaniem systemu robotycznego z różną częstością w połączeniu z fizjoterapią standardową na zmiany funkcji chodu, funkcję motoryczną kończyn dolnych, zmiany odczuwanego poziomu spastyczności oraz dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym oraz ewentualnego zróżnicowania wybranych parametrów pomiędzy wyróżnionymi grupami badanymi oraz grupą kontrolną (konwencjonalne metody fizjoterapii bez zastosowania urządzenia robotycznego).

Niniejszy eksperyment jest jednym z nielicznych badań określających potencjalną skuteczność usprawniania chodu wspomaganego robotem u pacjentów w okresie przewlekłym, a dostępne pozycje w literaturze uwzględniają terapię lokomotoryczną z częstością nie mniejszą niż 3 razy w tygodniu. Ponadto nikt wcześniej nie zbadał znaczenia częstości terapii chodu z wykorzystaniem systemu Lokomat w tej grupie pacjentów. Porównanie uzyskanych wyników odbędzie się zatem tam, gdzie to możliwe oraz odniesie się w dużej mierze do spostrzeżeń autorów, których badania dotyczyły usprawniania lokomotorycznego odbywającego się z większą częstością.

### **5.1 Zdolność chodzenia**

W pierwszej kolejności przeprowadzono analizę wewnątrzgrupową, gdzie ocenie poddano parametry chodu m.in. 10MWT, 6MWT, WISCI II. Wykazano istotną poprawę w prędkości oraz wytrzymałości chodu po 3 oraz 6 tygodniach u osób usprawnianych z wykorzystaniem systemu Lokomat 1 oraz 2 razy w tygodniu. Największą poprawę w obu grupach odnotowano po 6 tygodniach terapii. Nie zaobserwowano istotnych zmian dla WISCI II. Ponadto żadna osoba z badanych nie odzyskała zdolności samodzielnego poruszania się po terapii.

Podobne wyniki uzyskali Wirz i wsp. [2005] po zastosowaniu usprawniania wspomaganego robotem 3-5 razy w tygodniu przez okres 8 tygodni. W badaniu uwzględniono pacjentów sklasyfikowanych przez ASIA w stopniu C oraz D, minimum 2 lata po urazie. Według autorów osoby, których zdolności lokomotoryczne i funkcjonalne były najmniejsze odniosły największe efekty terapeutyczne. W eksperymencie, który obejmował pacjentów z całkowitym oraz częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie podoстрыm oraz przewlekłym wykazano poprawę 10MWT oraz WISCI II [Benito-Penalva i wsp. 2012]. Pacjenci sklasyfikowani w stopniu D odnieśli większą poprawę niż osoby sklasyfikowane w



stopniu C. W niniejszym eksperymencie nie wykryto istotnych zmian w WISCI II, podczas gdy pozostałe testy chodu wykazały znaczną poprawę. Pomimo poprawy funkcji chodu niezależnie od czasu trwania uszkodzenia, największe efekty występują po terapii rozpoczętej 6 miesięcy od urazu [Benito-Penalva i wsp. 2012]. Zgodnie z koncepcją okna terapeutycznego w rehabilitacji ośrodkowego układu nerwowego interwencje tracą swoją skuteczność z czasem, chociaż zmiany są możliwe długo po urazie. Być może usprawnianie lokomotoryczne z użyciem robota w okresie przewlekłym u osób z mniejszymi zdolnościami funkcjonalnymi jest niewystarczające, by zmniejszyć stosowane zaopatrzenie ortopedyczne oraz pomoc innych osób.

W celu określenia zróżnicowania pomiędzy grupami zastosowano analizę międzygrupową pomiędzy poszczególnymi okresami usprawniania. W przypadku 10MWT wykazano istotne różnice pomiędzy grupą L1 i L2, a grupą kontrolną we wszystkich okresach terapii, na korzyść usprawniania robotycznego. Niniejsze doniesienia potwierdza badanie, które obejmowało intensywne 8-tygodniowe usprawnianie chodu przy użyciu systemów elektromechanicznych [Benito-Penalva i wsp. 2012]. Poprawa była znacznie wyższa w porównaniu z konwencjonalną fizjoterapią, bez znaczących różnic pomiędzy Lokomatem a Gait Trainerem GT. Badanie natomiast obejmowało osoby zarówno poniżej 6 miesięcy jak i powyżej 12 miesięcy od urazu. Przeciwnie, nie wykazano istotnych różnic w badaniu, które obejmowało usprawnianie naziemne oraz na bieżni ze stymulacją, na bieżni ze wspomaganie manualnym oraz z użyciem robota [Field-Fote i wsp. 2011]. Zaistniałe różnice w eksperymentach mogą wynikać z różnic w protokołach badawczych oraz faktu iż, w ostatnio wspomnianym przeglądzie uwzględniono pacjentów, którzy byli zdolni do wykonania minimum jednego kroku samodzielnie. Jak wykazano osoby, które poruszały się szybciej na ziemi niż umożliwiały im zautomatyzowane ortezy chodu osiągnęły względnie mniejszą poprawę [Wirz i wsp. 2005]. Być może u lepiej funkcjonujących pacjentów terapia lokomotoryczna jest niedostateczna by uzyskać większą poprawę.

W przypadku 6MWT tylko po 3 tygodniach usprawniania uwidoczono istotne różnice pomiędzy grupą L1 a grupą kontrolną, na korzyść usprawniania robotycznego. Brak znaczącej poprawy w dalszych etapach fizjoterapii może wynikać z osiągnięcia przez badanych optymalnej wytrzymałości chodu lub zmniejszenia motywacji do terapii z czasem trwającego eksperymentu. Osiągany wzrost dystansu chodzenia w grupie L2 oraz kontrolnej był porównywalny. Choć Fiel-Fote i wsp. [2011] wykazali znacznie większą poprawę dystansu po zastosowaniu 12-tygodniowego usprawniania naziemnego w porównaniu do grup, które korzystały z terapii chodu opartej na bieżni, zastosowana w badaniu elektrostymulacja mięśni

może dawać odmienne wyniki. Ponadto pacjenci, którzy uzyskali największą poprawę wykazywali na wstępie lepszą funkcję motoryczną kończyn dolnych niż osoby biorące udział w niniejszym badaniu.

Ponadto w niniejszym eksperymencie nie zaobserwowano istotnych różnic w 10MWT oraz 6MWT pomiędzy grupą L1 oraz L2. Wartości różnicujące były najwyższe w grupie L1, co może być związane z wstępnie lepszą funkcją motoryczną kończyn dolnych u osób w tej grupie oraz wynikać z ograniczeń randomizacji.

## **5.2 Funkcja motoryczna kończyn dolnych**

W niniejszym eksperymencie nie zaobserwowano istotnych zmian w funkcji motorycznej kończyn dolnych (LEMS) w żadnej z badanych grup. Ponadto nie wykazano istotnych różnic pomiędzy grupami.

Choć doniesienia naukowe wykazują poprawę LEMS po zastosowaniu usprawniania chodu z użyciem robota u pacjentów po urazie rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym [Wirz i wsp. 2005, Benito-Penalva i wsp. 2012, Midik i wsp. 2020], wszystkie uwzględniają intensywną fizjoterapię 5 razy w tygodniu przez okres 8 tygodni. Niniejszy eksperyment obejmował terapię o mniejszej częstotliwości oraz krótszym okresie trwania. Osoby uwzględnione w badaniu w głównej mierze klasyfikowane były w stopniu B oraz C. W przypadku pacjentów charakteryzujących się mniejszą sprawnością funkcjonalną możliwe, że lepsze efekty mogłoby wykazać usprawnianie z większą częstotliwością. Częstość terapii z wykorzystaniem robota 1 lub 2 razy w tygodniu może być za niska, by wpłynąć na poprawę funkcji motorycznej kończyn dolnych. Pomimo rozbieżnych informacji dotyczących poprawy w zależności od stopnia klasyfikacji ASIA wydawać się może, że pacjenci z początkowo większym wynikiem LEMS mogą uzyskiwać większą poprawę. Jak wykazał Benito-Penalva i wsp. [2012] największe zmiany w LEMS zachodziły w grupie od 6 do 12 miesięcy od urazu, co może sugerować najlepszy okres dla poprawy funkcji motorycznych kończyn dolnych u osób po urazie rdzenia kręgowego.

Ponadto Midik i wsp. [2020] udowodnili większą poprawę w zakresie funkcji motorycznej kończyn dolnych u pacjentów w grupie usprawnianej z użyciem robota (RAGT) w połączeniu z konwencjonalną fizjoterapią w porównaniu z grupą, która otrzymała standardowy protokół terapii, czego nie potwierdzono w niniejszym badaniu. W przypadku uszkodzenia górnego oraz dolnego neuronu ruchowego także zaobserwowano lepsze wyniki po zastosowaniu RAGT w porównaniu z konwencjonalną terapią naziemną [Ruz i wsp. 2014]. Choć Shin i wsp. [2014] wykazali poprawę LEMS zarówno w grupie usprawniania

zrobotyzowanego jak i konwencjonalnego, nie wykazali istotnych różnic pomiędzy grupami. Podobnie Hornby i wsp. [2005] odnotowali znaczną poprawę LEMS u pacjentów otrzymujących RAGT, ale nie znaleźli istotnych różnic pomiędzy grupami usprawnianymi z użyciem robota (RAGT) oraz na bieżni wspomaganej masą ciała (BWSTT). Rozbieżność w badaniach może wynikać z różnych czasów trwania uszkodzenia, cech pacjenta oraz cech zastosowanego usprawniania. Większa poprawa funkcji motorycznych kończyn dolnych w grupie usprawnianej z użyciem robota w badaniu Midika i wsp. [2020] mogła ujawnić się przez krótszy czas trwania urazu oraz dłuższy okres dziennej terapii osób w tej grupie.

Choć w niniejszym eksperymencie nie wykazano istotnych zmian LEMS zarówno w grupie L1, L2 oraz konwencjonalnej fizjoterapii średni okresowy wzrost był największy w grupie L2 (0,65), a najmniejszy w grupie kontrolnej (0,25). Choć wyniki te nie potwierdzają istotnej poprawy LEMS sugerują większą korzyść ze stosowania usprawniania z użyciem Lokomatu w połączeniu ze standardową fizjoterapią w porównaniu z konwencjonalnym programem fizjoterapii. Ponadto w przypadku osób po urazie rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym, u których z mijającym czasem rezultaty fizjoterapii są mniej widoczne, każdy wzrost danego parametru wpływa pozytywnie na samopoczucie pacjenta oraz zwiększa motywację do dalszej terapii.

Co więcej istnieją dowody sugerujące, że po określonej interwencji usprawniania na bieżni zmiany LEMS nie korelują ze zmianami w zdolności chodzenia, jak uważano wcześniej [Field-Fote i wsp. 2001, Wirz i wsp. 2005]. Przewidywanie poprawy zdolności chodzenia oparte wyłącznie na ocenie statycznych zachowań motorycznych może być ograniczone. Wynik motoryczny odzwierciedla prawdopodobnie spontaniczne przywrócenie funkcji korowo-rdzeniowej, natomiast poprawa zdolności chodzenia także plastyczność ośrodków neuronalnych rdzenia kręgowego poniżej uszkodzenia [Wirz i wsp. 2005]. Ponadto podczas kroczenia następuje większa rekrutacja motoryczna niż jak w przypadku dobrowolnej aktywności generowanej podczas ruchu pojedynczego stawu [Wirz i wsp. 2005]. Zatem kompleksowa ocena pacjentów po urazie rdzenia powinna skupiać się głównie na testach odnoszących się do sprawności funkcjonalnej m.in. testach chodu.

### **5.3 Spastyczność**

Jak donoszą liczne doniesienia naukowe usprawnianie chodu z zastosowaniem systemów lokomotorycznych u osób po urazie rdzenia kręgowego powoduje zmniejszenie spastyczności [Mirbagheri i wsp. 2011, 2015; Wirz i wsp. 2005]. Mirbagheri i wsp. [2011] wykazali zmniejszenie sztywności odruchowej do 65% oraz mięśniowej do 60% po 4-

tygodniowej terapii z systemem Lokomat. Według autorów system może być przydatny w zmniejszaniu nieprawidłowej modulacji właściwości nerwowo-mięśniowych, która pojawia się jako wtórny efekt po SCI [Mirbagheri i wsp. 2011, 2015]. Osoby, które mają początkowo wyższe parametry sztywności odruchowej mogą doświadczyć znacznie większej poprawy niż grupa z początkowo niższymi wartościami. Co więcej Lokomat może być skuteczniejszy w modyfikowaniu zaburzeń nerwowo-mięśniowych związanych ze spastycznością niż stosowana w leczeniu spastyczności tyzanidyna [Mirbagheri 2015]. Choć Wirz i wsp. [2005] wykazali zmniejszenie spastycznych zachowań motorycznych tj. skurczów prostowników po usprawnianiu, zaobserwowali brak korelacji ze zmianami funkcji chodzenia.

W niniejszym eksperymencie wykazano zmniejszenie spastyczności po zastosowaniu systemu Lokomat 1 oraz 2 razy w tygodniu zarówno po 3 i 6 tygodniach usprawniania. Ponadto uwidoczniło istotne różnice pomiędzy grupą L2, a grupą kontrolną, na korzyść usprawniania robotycznego. Pomimo iż nie znaleziono istotnych różnic pomiędzy grupą L1, a kontrolną usprawnianie z zastosowaniem systemu Lokomat wydaje się być skuteczniejszą formą zmniejszania spastyczności u osób po urazie rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym. Fizjoterapia robotyczna to rodzaj powtarzalnych zadań funkcjonalnych. Powtarzające się elementy programu terapeutycznego mogą mieć wpływ na zmniejszenie spastyczności oraz funkcji lokomotorycznych poprzez aktywację rdzeniowych ośrodków ruchowych [Wirz i wsp. 2005].

W literaturze brakuje informacji dotyczącej najskuteczniejszego programu usprawniania z użyciem systemu Lokomat. W niniejszym eksperymencie nie wykazano istotnych różnic pomiędzy grupą usprawnianą 1 oraz 2 razy w tygodniu. Uzyskanie zbliżonych wartości w obu grupach może świadczyć o braku wpływu częstości terapii na zmniejszenie spastyczności. Zbyt mała różnica w częstości usprawniania może także nie dawać obiektywnej oceny.

Ponadto w niniejszym badaniu zastosowano subiektywną ocenę wpływu spastyczności na codzienne życie samego badanego co różni eksperyment od pozostałych. Badanie fizykalne przeprowadzone przez badającego na którym oparte jest większość eksperymentów może nie wywołać spastyczności u osób zgłaszających objawy lub wywołać ją w częściach ciała aktualnie niebadanych. Jak wykazano ocena jednego lub więcej objawów spastyczności nie koreluje dobrze z samooceną spastyczności oraz poprawą funkcji [Sherwood i wsp. 2000, Skold 2000, Lechner i wsp. 2006]. Udowodniono także, że samooceny są bardziej wrażliwe na zmiany w aspektach związanych z codziennym życiem po zastosowaniu interwencji wpływającej na spastyczność [Ditunno i wsp. 1994, Skold 2000]. Kwestionariusz SCI-SET jest wiarygodnym i

trafnym narzędziem oceniającym zarówno problematyczny jak i korzystny wpływ spastyczności na codzienne życie osób po urazie rdzenia kręgowego [Adams i wsp. 2007]. 7-dniowy kwestionariusz umożliwia wykluczenie błędów pomiarowych wynikających ze zmiennego charakteru spastyczności. Choć nie jest znana przyczyna, wiadomo, że nasilenie spastyczności może zmieniać się w zależności od dnia tygodnia czy godziny, a nawet czynników atmosferycznych [Skold 2000]. Samoocena spastyczności pacjenta ma ogromne znaczenie i powinna być stosowana zarówno w warunkach klinicznych jak i badawczych.

#### **5.4 Dolegliwości bólowe**

W badaniu nie zaobserwowano zmniejszenia dolegliwości bólowych w żadnej z badanych grup. Ponadto nie wykazano istotnych różnic pomiędzy grupami.

Labruyere i wsp. [2014] wykazali jednak zmniejszenie dolegliwości bólowych po 4-tygodniowym usprawnianiu obejmującym 16 sesji z użyciem Lokomatu u pacjentów z przewlekłym uszkodzeniem rdzenia kręgowego. Osoby biorące udział w badaniu klasyfikowane były w stopniu D według ASIA, co różni grupę badaną od niniejszej próby. Ponadto pacjenci już na wstępie poruszali się z umiarkowaną pomocą. Ocena dolegliwości bólowych następowała przed oraz 5 minut po każdej sesji fizjoterapeutycznej, co sugeruje redukcję bólu krótkotrwałego chwilę po zadziałaniu bodźca. W niniejszym badaniu uwzględniono efekt dopiero po 3 oraz 6 tygodniach fizjoterapii.

Jak wykazują dostępne doniesienia naukowe aktywność fizyczna wpływa na zmniejszenie zarówno bólu neuropatycznego jak i mięśniowo-szkieletowego [Edgerton i wsp. 1997, Mannerkorpi i wsp. 2007]. Ze względu na ograniczoną liczbę badanych w eksperymencie uwzględniono ból ogólny, bez podziału na określony rodzaj bólu. Ponadto początkowa intensywność dolegliwości bólowych u uczestników znacznie się różniła co może wpływać na końcowe wyniki eksperymentu. Nie ma pewności czy usprawnianie z wykorzystaniem Lokomatu wpłynęłoby na zmniejszenie dolegliwości bólowych u pacjentów z porównywalną intensywnością problemu. Potrzeba dalszych badań ukierunkowanych na dany rodzaj bólu.

#### **5.5 Ograniczenia eksperymentu**

Niniejsze badanie wykazało kilka istotnych ograniczeń, o których warto wspomnieć na zakończenie dyskusji. Liczba pacjentów uczestniczących w eksperymencie była stosunkowo niewielka. Ograniczenie pacjentów biorących udział w badaniu do jednego ośrodka fizjoterapeutycznego uwzględniając wszelkie kryteria selekcji spowodowało zmniejszenie wstępnie planowanej grupy badawczej. Rozszerzenie eksperymentu o kolejne placówki byłoby

utrudnione ze względu na fakt małej dostępności innowacyjnych zrobotyzowanych urządzeń do usprawniania chodu. Ponadto wybuch pandemii Sars-Cov 2 na przełomie 2019/2020 spowodował zmniejszenie chętnych do uczestnictwa w regularnym procesie fizjoterapeutycznym w obawie o zagrożenie zdrowia. Pacjenci po urazie rdzenia kręgowego byli szczególnie narażeni na powikłania wynikające z zarażenia co w wielu przypadkach spowodowało całkowitą rezygnację z procesu usprawniania na długi czas. Zmniejszona ilość pacjentów korzystających z fizjoterapii w ośrodku w późniejszym czasie spowodowała ograniczony dobór uczestników badania. Ponadto dwie osoby zrezygnowały z eksperymentu w trakcie prowadzenia procesu fizjoterapii nie informując o przyczynie decyzji, co sugerować może obawę przed zarażeniem wirusem. Choć w próbach usprawniania wytrzymałościowego z udziałem osób po urazie rdzenia kręgowego zazwyczaj ilość badanych jest nieduża, większa grupa mogłaby spowodować większą moc statystyczną wykonanych testów.

W niniejszym eksperymencie nie uwzględniono wpływu długoterminowego stosowanej fizjoterapii. W badaniu udział wzięły osoby głównie z poza terenu lokalnego, co uniemożliwiło ocenę ewentualnej regresji otrzymanej poprawy. Większość uczestników nie była w stanie wrócić, by określić poziom utrzymania efektów terapeutycznych ze względu na wysokie koszty transportu. Zebranie grupy z określonymi cechami urazu rdzenia kręgowego w danej lokalizacji jest mało prawdopodobne. Pomimo iż liczba urazów ciągle wzrasta na tle innych jednostek chorobowych jest to nieokazała grupa pacjentów. Ponadto wciąż jest spore grono osób po urazie rdzenia kręgowego, które nie mają możliwości korzystania z usług rehabilitacyjnych ze względów ekonomicznych czy społecznych.

## 6 WNIOSKI

1. Usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową wpływa na poprawę prędkości, wytrzymałości chodu oraz zmniejszenie odczuwanego poziomu spastyczności u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym, natomiast nie ma wpływu na poprawę rodzaju podparcia chodu, funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz zmniejszenie dolegliwości bólowych.
2. Usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową wpływa na poprawę prędkości, wytrzymałości chodu oraz zmniejszenie odczuwanego poziomu spastyczności u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym, natomiast nie ma wpływu na poprawę rodzaju podparcia chodu, funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz zmniejszenie dolegliwości bólowych.
3. Występują istotne różnice pomiędzy grupą usprawniania z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową, a konwencjonalnymi metodami fizjoterapii w poprawie prędkości oraz wytrzymałości chodu pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym, na korzyść usprawniania wspomaganego robotem.
4. Występują istotne różnice pomiędzy grupą usprawniania z zastosowaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową, a konwencjonalnymi metodami fizjoterapii w poprawie prędkości oraz zmniejszeniu odczuwanego poziomu spastyczności u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym, na korzyść usprawniania wspomaganego robotem.
5. Usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową i usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową przynoszą podobną poprawę prędkości oraz wytrzymałości chodu oraz zmniejszenie poziomu odczuwanej spastyczności u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym. Oba programy usprawniania nie wpływają istotnie na zmniejszenie podparcia chodu, poprawę funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz zmniejszenie dolegliwości bólowych.

## **Wartości aplikacyjne**

Uzyskane wyniki niniejszego eksperymentu wykazują, że zarówno usprawnianie z wykorzystaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową oraz usprawnianie z wykorzystaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową powinno być stosowane w celu poprawy stanu funkcjonalnego oraz samopoczucia pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym m.in. poprzez poprawę prędkości, wytrzymałości chodu oraz zmniejszenie poziomu odczuwanej spastyczności. Zastosowane usprawnianie jest jednak niewystarczające, by uzyskać poprawę w rodzaju podparcia chodu, polepszeniu funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz zmniejszeniu dolegliwości bólowych.

Usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową jest skuteczniejszą formą fizjoterapii pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym poprzez istotną poprawę prędkości oraz wytrzymałości chodu niż konwencjonalne metody fizjoterapii. Usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową jest skuteczniejszą formą fizjoterapii pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym poprzez istotną poprawę prędkości oraz zmniejszenia odczuwanego poziomu spastyczności niż konwencjonalne metody fizjoterapii.

Usprawnianie z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden oraz dwa razy w tygodniu przynoszą podobne efekty terapeutyczne, co sugeruje, że częstość usprawniania z wykorzystaniem robota może nie mieć znaczenia w procesie fizjoterapeutycznym pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym. Potrzeba jednak dalszych badań uwzględniających szerszy zakres powtarzalności terapii oraz oceniających wpływ długoterminowy.



## 7 BIBLIOGRAFIA

1. Adams MM, Ginis KA, Hicks AL. *The spinal cord injury spasticity evaluation tool: development and evaluation*. Arch Phys Med Rehabil, 2007, 88(9):1185-92.
2. Adams MM, Hicks AL. *Spasticity after spinal cord injury*. Spinal Cord, 2005, 43: 577-86.
3. Alcobendas-Maestro M, Esclarín-Ruz A, Casado-López RM, Muñoz-González A, Pérez-Mateos G, González-Valdizán E, Martín JL. *Lokomat robotic-assisted versus overground training within 3 to 6 months of incomplete spinal cord lesion: randomized controlled trial*. Neurorehabil Neural Repair, 2012, 26(9): 1058-63.
4. Alexeeva N, Sames C, Jacobs PL, Hobday L, Distasio MM, Mitchell SA, Calancie B. *Comparison of training methods to improve walking in persons with chronic spinal cord injury: a randomized clinical trial*. J Spinal Cord Med, 2011, 34: 362-379.
5. Amatachaya S, Naewla S, Srisim K, Arrayawichanon P, Siritaratiwat W. *Concurrent validity of the 10-meter walk test as compared with the 6-minute walk test in patients with spinal cord injury at various levels of ability*. Spinal Cord, 2014, 52(4): 333–336.
6. Anderson KD. *Targeting recovery: Priorities of the spinal cord-injured population*. J Neurotrauma, 2004, 21: 1371– 1383.
7. Baligand C, Chen YW, Ye F, Pandey SN, Lai SH, Liu M, Vandenborne K. *Transcriptional Pathways Associated with Skeletal Muscle Changes after Spinal Cord Injury and Treadmill Locomotor Training*. BioMed Res Int, 2015, 2015: 1–13.
8. Barbeau H, Pépin A, Norman KE, Ladouceur M, Leroux A. *Review: walking after spinal cord injury: control and recovery*. Neuroscientist, 1998, 4: 14–24.
9. Bedbrook GM. *The care and management of spinal cord injuries*. Springer-Verlag New York, Berlin 1981.
10. Benito-Penalva J, Edwards DJ, Opisso E, Cortes M, Lopez-Blazquez R, Murillo N, Costa U, Tormos JM, Vidal-Samsó J, Valls-Solé J, European Multicenter Study about Human Spinal Cord Injury Study Group; Medina J. *Gait training in human spinal cord injury using electromechanical systems: effect of device type and patient characteristics*. Arch Phys Med Rehabil, 2012, 93(3): 404–412.
11. Bettis T, Kim BJ, Hamrick MW. *Impact of muscle atrophy on bone metabolism and bone strength: Implications for muscle-bone crosstalk with aging and disuse*. Osteoporos Int, 2018, 29(8): 1713–1720.
12. Biemond A. *Contusio cervicalis posterior*. Ned T Geneesk, 1964, 108, 1333.
13. Brandt-Rauf PW, Brandy-Rauf SI. *History of occupational medicine: relevance of*

- Imhotep and the Edwin Smith papyrus*. Br J Industr Med, 1987, 44: 68-70.
14. Brown-Triolo DL, Roach MJ, Nelson K, Triolo RJ. *Consumer perspectives on mobility: Implications for neuroprosthesis design*. J Rehabil Res Dev, 2002, 39: 659-670.
  15. Burridge JH, Wood DE, Hermens HJ, Voerman GE, Johnson GR, Wijck F, Platz T, Gregoric M, Hitchcock R, Pandyan AD. *Theoretical and methodological considerations in the measurement of spasticity*. Disabil Rehabil, 2005, 27: 69-80.
  16. Chisholm AE, Alamro RA, Williams AM, Lam T. *Overground vs. treadmill-based robotic gait training to improve seated balance in people with motor-complete spinal cord injury: a case report*. J Neuroeng Rehabil, 2017, 14: 27.
  17. Chisholm AE, Peters S, Borich MR, Boyd LA, Lam T. *Short-term Cortical Plasticity Associated With Feedback-Error Learning After Locomotor Training in a Patient With Incomplete Spinal Cord Injury*. Phys Ther, 2015, 95(2): 257-266.
  18. Curt A, Alkadhi H, Crelier GR, Boendermaker SH, Hepp-Reymond MC, Kollias SS. *Changes of non-affected upper limb representation in paraplegic patients as assessed by Fmri*. Brain, 2002, 125: 2567-2578.
  19. Dietz V, Fouad K. *Restoration of sensorimotor functions after spinal cord injury*. Brain, 2014, 137(3): 654-667.
  20. Dietz V, Harkema SJ. *Locomotor activity in spinal cord-injured persons*. J Appl Physiol, 2004, 42: 1-6.
  21. Dietz V, Wirz M, Curt A, Colombo G. *Locomotor pattern in paraplegic patients: training effects and recovery of spinal cord function*. Spinal Cord, 1998, 36: 380-390.
  22. Dittmann P, Szabela-Pasierbińska E, Dittmann I, Szpula A. *Prognozowanie w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Wolters Kluwers, 2009, Warszawa.
  23. Ditunno JF Jr, Formal CS. *Chronic spinal cord injury*. N Engl J Med., 1994, 330: 550-556.
  24. Ditunno PL, Ditunno JF Jr. *Walking index for spinal cord injury (WISCI II): scale revision*. Spinal Cord, 2001, 39: 654-656.
  25. Ditunno PL, Patrick M, Stineman M, Ditunno JF. *Who wants to walk? Preferences for recovery after SCI: a longitudinal and cross-sectional study*. Spinal Cord, 2008, 46(7): 500-506.
  26. Donovan WH. *Spinal Cord Injury- Past, Present, and Future*. J Spinal Cord Med, 2007, 30(2): 85-100.
  27. Drasites KP, Shams R, Zaman V, Matzelle D, Shields DC, Garner DP, Sole CJ, Haque A, Banik NL. *Pathophysiology, Biomarkers, and Therapeutic Modalities Associated*

- with Skeletal Muscle Loss Following Spinal Cord Injury*. Brain Sci, 2020, 10(12): 933.
28. Dudley-Javoroski S, Shields RK. *Muscle and bone plasticity after spinal cord injury: Review of adaptations to disuse and to electrical muscle stimulation*. J Rehabil Res Dev, 2008, 45(2): 283-296.
29. Edgerton VR, de Leon RD, Tillakaratne N, Recktenwald MR, Hodgson JA, Roy RR. *Use-dependent plasticity in spinal stepping and standing*. Adv Neurol., 1997, 72:233–247.
30. Eser P, Frotzler A, Zehnder Y, Wick L, Knecht H, Denoth J, Schiessl H. *Relationship between the duration of paralysis and bone structure: A pQCT study of spinal cord injured individuals*. Bone, 2004, 34(5): 869–80.
31. Fang C-Y, Tsai J-L, Li G-S, Lien AS-Y, Chang Y-J. *Effects of Robot-Assisted Gait Training in Individuals with Spinal Cord Injury: A Meta-analysis*. Biomed Res Int, 2020, 2020: 2102785.
32. Field-Fote EC, Roach KE. *Influence of a locomotor training approach on walking speed and distance in people with chronic spinal cord injury: a randomized clinical trial*. Phys Ther, 2011, 91: 48-60.
33. Galea MP. *Spinal cord injury and physical activity: Preservation of the body*. Spinal Cord, 2011, 50: 344-351.
34. Galen SS, Clarke CJ, McLean AN, Allan DB, Conway BA. *Isometric hip and knee torque measurements as an outcome measure in robot assisted gait training*. NeuroRehabilitation 2014, 34(2): 287-95.
35. Gaździk TS. *Podstawy ortopedii i traumatologii narządu ruchu*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2001, Warszawa.
36. Gerhart KA, Bergstrom E, Charlifue SW, Menter RR, Whiteneck GG. *Long-term spinal cord injury: functional changes over time*. Arch Phys Med Rehabil, 1993, 74: 1030-1034.
37. Gorgey AS, Witt O, O'Brien L, Cardozo C, Chen Q, Lesnefsky EJ, Graham ZA. *Mitochondrial health and muscle plasticity after spinal cord injury*. Graefe's Arch. Clin. Exp. Ophthalmol, 2018, 119: 315–331.
38. Henderson LA, Gustin SM, Macey PM, Wrigley PJ, Siddall PJ. *Functional reorganization of the brain in humans following spinal cord injury: evidence for underlying changes in cortical anatomy*. J Neurosci, 2011, 31(7): 2630-2637.
39. Hornby TG, Zemon DH, Campbell D. *Robotic-assisted, body-weight-supported treadmill training in individuals following motor incomplete spinal cord injury*. Phys

- Ther, 2005, 85: 52–66.
40. Hughes JT. *The Edwin Smith Papyrus; an analysis of the first case reports of spinal cord injuries*. Paraplegia, 1988, 26: 71–82.
  41. Humanes-Valera D, Aguilar J, Foffani G. *Reorganization of the intact somatosensory cortex immediately after spinal cord injury*. PLoS One, 2013, 8(7): e69655.
  42. Hussain S, Xie SQ, Jamwal PK, Parsons J. *An intrinsically compliant robotic orthosis for treadmill training*. Med Eng Phys, 2012, 34(10): 1448–1453.
  43. Hwang S, Kim H-R, Han Z-A, Lee B-S, Kim S, Shin H, Moon J-G, Yang S-P, Lim M-H, Cho D-Y, Kim H, Lee H-J. *Improved Gait Speed After Robot-Assisted Gait Training in Patients With Motor Incomplete Spinal Cord Injury: A Preliminary Study*. Ann Rehabil Med, 2017, 41(1): 34-41.
  44. Jankowska S, Kopański Z, Gajdosz R. *The epidemiology of isolated spine traumas in the material of the Emergency Room at the University Hospital in Krakow*<sup>21</sup>. Journal of Clinical Healthcare 2/2015.
  45. Jayaraman A, Gregory CM, Bowden M, Stevens JE, Shah P, Behrman AL, Vandeborne K. *Lower extremity skeletal muscle function in persons with incomplete spinal cord injury*. Spinal Cord, 2006, 44(11): 680- 687.
  46. Jazayeri SB, Beygi S, Shokraneh F, Hagen EM, Rahimi-Movaghar V. *Incidence of traumatic spinal cord injury worldwide: a systematic review*. Eur Spine J, 2015, 24: 905–918.
  47. Jurkiewicz MT, Mikulis DJ, McIlroy WE, Fehlings MG, Verrier MC. *Sensorimotor cortical plasticity during recovery following spinal cord injury: a longitudinal fMRI study*. Neurorehabil Neural Repair, 2007, 21(6): 527-538.
  48. Kiwerski J. *Epidemiologia urazów rdzenia kręgowego*. Prewencja i rehabilitacja 2005, 3(9): 3-6.
  49. Kiwerski J. *Schorzenia i urazy kręgosłupa*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2014, Warszawa.
  50. Kodani A, Kikuchi T, Tohda C. *Acteoside Improves Muscle Atrophy and Motor Function by Inducing New Myokine Secretion in Chronic Spinal Cord Injury*. J Neurotrauma, 2019, 36: 1935-1948.
  51. Kozubski W, Liberski PP. *Choroby układu nerwowego*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2004, Warszawa.
  52. Krause JS, Carter RE. *Risk of mortality after spinal cord injury: Relationship with social support, education, and income*. Spinal Cord, 2009, 47(8): 592-596.

53. Krawetz P, Nance P. *Gait analysis of spinal cord injured subjects: effects of injury level and spasticity*. Arch Phys Med Rehabil, 1996, 77: 635-638.
54. Labruyere R, Hedel HJ. *Strength training versus robot-assisted gait training after incomplete spinal cord injury: a randomized pilot study in patients depending on walking assistance*. J Neuroeng Rehabil., 2014, 11: 4.
55. Lance JW. *The control of muscle tone, reflexes, and movement: Robert Wartenberg Lecture*. Neurology, 1980, 30: 1303-13.
56. Larose DT. *Metody i modele eksploracji danych*. Wydawnictow PWN, 2008, Warszawa.
57. Lechner HE, Frotzler A, Eser P. *Relationship between self- and clinically rated spasticity in spinal cord injury*. Arch Phys Med. Rehabil, 2006, 87: 15-19.
58. Lee JH, Jun HS. *Role of Myokines in Regulating Skeletal Muscle Mass and Function*. Front. Physiol, 2019, 10: 42.
59. Lünenburger L, Colombo G, Riener R, Dietz V. *Biofeedback in gait training with the robotic orthosis Lokomat*. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2004, 7: 4888–4891.
60. Mannerkorpi K, Henriksson C. *Non-pharmacological treatment of chronic widespread musculoskeletal pain*. Best Pract Res Clin Rheumatol., 2007, 21:513–534.
61. Masiero S, Poli P, Rosati G, Zanutto D, Iosa M, Paolucci S, Morone G. *The value of robotic systems in stroke rehabilitation*. Expert Rev Med Devices, 2014, 11(2): 187-198.
62. Maszczyk A, Gołaś A, Pietraszewski P, Roczniok R, Zając A, Stanula A. *Application of Neural and Regression Models in Sports Results Prediction*. Procedia Soc Behav Sci, 2013, 117: 482-487.
63. Maszczyk A, Roczniok R, Czuba M, Zając A, Waśkiewicz Z, Mikołajec K, Stanula A. *Application of regression and neural models to predict competitive swimming performance*. Percept. Mot. Ski, 2012, 114(2): 610-624.
64. Maszczyk A, Zając A, Ryguła I. *A Neural Network model approach to athlete selection*. Sport Eng, 2011, 13: 83-93.
65. Maynard FM, Bracken MB, Creasey G, Ditunno JF, Donovan WH, Ducker TB, Garber SL, Marino RJ, Stover SL, Tator CH, Waters RL, Wilberger JE, Young W. *International Standards for Neurological and Functional Classification of Spinal Cord Injury*. Spinal Cord, 1997, 35: 266-274.
66. Maynard FM, Karunas RS, Waring WP. *Epidemiology of spasticity following traumatic spinal cord injury*. Arch Phys Med Rehabil, 1990, 71: 566-569.
67. Mayr A, Kofler M, Quirbach E, Matzak H, Fröhlich K, Saltuari L. *Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat*

- gait orthosis*. *Neurorehabil Neural Repair*, 2007, 21(4): 307-314.
68. McCullough BD, Wilson B. *On the accuracy of statistical procedures in Microsoft Excel 2003*. *Comput Stat Data An*, 2005, 49: 1244-1252.
69. Meissner MH. *Lower extremity venous anatomy*. *Semin Intervent Radiol*, 2005, 22: 147-156.
70. Midik M, Paker N, Bugdayci D, Midik AC. *Effects of robot-assisted gait training on lower extremity strength, functional independence, and walking function in men with incomplete traumatic spinal cord injury*. *Turk J Phys Med Rehabil.*, 2020, 66(1): 54–59.
71. Miller LE, Zimmermann AK, Herbert WG. *Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis*. *Med Devices (Auckl)*, 2016, 9: 455–466.
72. Mirbagheri MM. *Comparison between the therapeutic effects of robotic-assisted locomotor training and an anti-spastic medication on spasticity*. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2015, 2015: 4675-4678.
73. Mirbagheri MM, Patel C, Quiney K. *Robotic-assisted locomotor training impact on neuromuscular properties and muscle strength in spinal cord injury*. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2011, 2011: 4132-4135.
74. Moore CD, Craven BC, Thabane L, Laing AC, Frank-Wilson AW, Kontulainen SA, Papaioannou A, Adachi JD, Giangregorio LM. *Lower-extremity muscle atrophy and fat infiltration after chronic spinal cord injury*. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 2015, 15(1): 32-41.
75. Nam KiY, Kim HJ, Kwon BS, Park J-W, Lee HJ, Yoo A. *Robot-assisted gait training (Lokomat) improves walking function and activity in people with spinal cord injury: a systematic review*. *J Neuroeng Rehabil*, 2017, 14(1): 24.
76. Nashold BC, Bullitt E. *Dorsal root entry zone lesions to control central pain in paraplegics*. *J Neurosurg*, 1981, 55(3): 414-9.
77. Nees TA, Tappe-Theodor A, Sliwinski C, Motsch M, Rupp R, Kuner R, Weidner N, Blesch A. *Early-onset treadmill training reduces mechanical allodynia and modulates calcitonin gene-related peptide fiber density in lamina III/IV in a mouse model of spinal cord contusion injury*. *Pain*. 2016, 157(3): 687-697.
78. Nooijen CF, ter Hoeve N, Field-Fote EC. *Gait quality is improved by locomotor training in individuals with SCI regardless of training approach*. *J Neuroeng Rehabil*, 2009, 6: 36-47.
79. Noreau L, Proulx P, Gagnon L, Drolet M, Laramée MT. *Secondary impairments after*

- spinal cord injury: A population-based study*. Am J Phys Med Rehabil, 2000, 79(6): 526-535.
80. Norman KE, Pépin A, Barbeau H. *Effects of drugs on walking after spinal cord injury*. Spinal Cord, 1998, 36(10): 699-715.
  81. Olasode BJ, Komolafe IE, Komolafe M, Olasode OA. *Traumatic spinal cord injuries in Ile-Ife, Nigeria, and its environs*. Trop Doct 2006, 36: 181-182.
  82. Onifer SM, Smith GM, Fouad K. *Plasticity after spinal cord injury: relevance to recovery and approaches to facilitate it*. Neurotherapeutics, 2011, 8: 283-293.
  83. Opara J, Mehlich K, Bielecki A. *Zastosowanie indeksu chodzenia po urazie rdzenia kręgowego - WISCI*. Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja, Medsportpress, 2007, 2(6), 9: 122-127.
  84. Ostasiewicz S, Rusnak Z, Siedlecka U. *Statystyka. Elementy teorii i zastosowania*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, 2006, Wrocław.
  85. Phillips L, Ozer M, Axelson P, Chizek H. *Spinal Cord Injury: A Guide for Patient and Family*. Raven Press, 1987, New York.
  86. Ptaszyńska-Sarosiek I, Niemcunowicz-Janica A, Janica J. *Urazy kręgosłupa z uszkodzeniem rdzenia kręgowego – poglądy reprezentowane przez neurologów*. ARCH MED Sąd KRYM, 2007, LvII, 294-297.
  87. Ragnarsson K. *Functional electrical stimulation after spinal cord injury: Current use, therapeutic effects and future directions*. Spinal Cord, 2007, 1–20.
  88. Rosińczuk J, Pietralik P, Wojciechowicz Ł, Kołtuniuk A. *Uraz kręgosłupa i rdzenia kręgowego w świetle dokumentacji medycznej*. The Journal of Neurological and Neurosurgical Nursing, 2014, 3(4): 153–156.
  89. Rossi EC, Green D, Rosen JS, Spies SM, Jao JS. *Sequential changes in factor VIII and platelets preceding deep vein thrombosis in patients with spinal cord injury*. Brit J Haematol, 1980, 45: 143-151.
  90. Ruz-Esclarin A, Alcobendas-Maestro M, Casado-Lopez R, Florido-Sanchez MA, Gonzalez-Valdizan E, Martin JL. *A comparison of Robotic Walking Therapy and Conventional Walking Therapy in Individuals With Upper Versus Lower Motor Neuron Lesions: A Randomized Controlled Trial*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2014, 95 (6): 1023-1031.
  91. Rymer WZ, Power RK. *Muscular weakness in incomplete spinal cord injury*. Compr Ther, 1987, 13: 3-7.
  92. Santayana G. *The Life of Reason, Reason in Common Sense*. New York: Charles

- Scribner's, 1905, 284.
93. Schneider RC, Gosch HH, Norrell H, Jerva M, Combs LW, Smith RA. *Vascular insufficiency and differential distortion of brain and cord caused by cervicomedullary football injuries*. J Neurosurg, 1970, 33(4): 363-75.
  94. Schwartz I, Sajina A, Neeb M, Fisher I, Katz-Luerer M, Meiner Z. *Locomotor training using a robotic device in patients with subacute spinal cord injury*. Spinal Cord, 2011, 49: 1062-1067.
  95. Sczesny-Kaiser M, Höffken O, Aach M, Cruciger O, Grasmücke D, Meindl R, Schildhauer TA, Schwenkreis P, Tegenthoff M. *HAL® exoskeleton training improves walking parameters and normalizes cortical excitability in primary somatosensory cortex in spinal cord injury patients*. J Neuroeng Rehabil, 2015, 12: 68.
  96. Sherwood AM, Graves DE, Priebe MM. *Altered motor control and spasticity after spinal cord injury: subjective and objective assessment*. J Rehabil Res Dev, 2000, 37: 41-52.
  97. Shiao R, Lee-Kubil CA. *Neuropathic Pain After Spinal Cord Injury: Challenges and Research Perspectives*. Neurotherapeutics, 2018, 15(3): 635–653.
  98. Shin JC, Kim DH, Yu SJ, Yang HE, Yoon SY. *Epidemiologic Change of Patients With Spinal Cord Injury*. Ann Rehabil Med, 2013, 37(1): 50-56.
  99. Shin JC, Kim JY, Park HK, Kim NY. *Effect of Robotic-Assisted Gait Training in Patients With Incomplete Spinal Cord Injury*. Ann Rehabil Med., 2014, 38(6): 719–725.
  100. Silfhout L, Vana Z, Petioky J, Edwards MJ, Bartels RH, Meent H, Hosman AJ. *Highest ambulatory speed using Lokomat gait training for individuals with a motor-complete spinal cord injury: a clinical pilot study*. Acta Neurochirurgica, 2020,162: 951-956.
  101. Singh A, Tetreault L, Kalsi-Ryan S, Nouri A, Fehlings MG. *Global prevalence and incidence of traumatic spinal cord injury*. Clin Epidemiol 2014, 23(6): 309-331.
  102. Skold C, Levi R, Seiger A. *Spasticity after traumatic spinal cord injury: nature, severity, and location*. Arch Phys Med Rehabil, 1999, 80: 1548-1557.
  103. Skold C. *Spasticity in spinal cord injury: self- and clinically rated intrinsic fluctuations and intervention-induced changes*. Arch Phys Med Rehabil, 2000, 81: 144-149.
  104. Sliwinski C, Nees TA, Puttagunta R, Weidner N, Blesch A. *Sensorimotor activity partially ameliorates pain and reduces nociceptive fiber density in the chronically injured spinal cord*. Journal of Neurotrauma, 2018, 35(18): 2222-2238.



105. Snarska A. *Statystyka, Ekonometria, Prognozowanie. Ćwiczenia z Excelem*. Wydawnictwo Placet, Warszawa, 2005.
106. Sobczyk M. *Statystyka*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002.
107. Sribnick EA, Samantaray S, Das A, Smith J, Matzelle DD, Ray SK, Banik NL. *Postinjury estrogen treatment of chronic spinal cord injury improves locomotor function in rats*. J Neurosci Res, 2010, 88: 1738-1750.
108. Stampacchia G, Rustici A, Bigazzi S, Gerini A, Tombini T, Mazzoleni S. *Walking with a powered robotic exoskeleton: subjective experience, spasticity and pain in spinal cord injured persons*. NeuroRehabilitation, 2016, 39(2): 277-283.
109. Swinnen E, Duerinck S, Baeyens J-P, Meeusen R, Kerckhofs E. *Effectiveness of robot-assisted gait training in persons with spinal cord injury: a systematic review*. J Rehabil Med, 2010, 42: 520-526.
110. Tarnacka B, Turczyn P. *Zastosowanie robotyki w rehabilitacji zaburzeń chodu w schorzeniach neurologicznych*. Polski Przegląd Neurologiczny 2017, 14(2): 63–73.
111. Tefertiller C, Pharo B, Evans N, Winchester P. *Efficacy of rehabilitation robotics for walking training in neurological disorders: a review*. J Rehabil Res Dev, 2011, 48(4): 387-416.
112. Thomas CK, Tucker ME, Bigland-Ritchie BR. *Voluntary muscle weakness and coactivation after chronic cervical spinal cord injury*. J Neurotrauma, 1998, 15: 149-161.
113. Thomas CK, Zaidner EY, Calancie B, Broton JG, Bigland-Ritchie BR. *Muscle weakness, paralysis and atrophy after human cervical spinal cord injury*. Exp Neurol, 1997, 148: 414-423.
114. Topka H, Cohen LG, Cole RA, Hallett M. *Reorganization of corticospinal pathways following spinal cord injury*. Neurology, 1991, 41(8): 1276–1283.
115. Varoqui D, Niu X, Mirbagheri MM. *Ankle voluntary movement enhancement following robotic-assisted locomotor training in spinal cord injury*. J Neuroeng Rehabil, 2014, 11: 46.
116. Winchester P, McColl R, Querry R, Foreman N, Mosby J, Tansey K, Williamson J. *Changes in supraspinal activation patterns following robotic locomotor therapy in motor-incomplete spinal cord injury*. Neurorehabil Neural Repair, 2005, 19(4): 313-324.
117. Wirz M, Zemon DH, Rupp R, Scheel A, Colombo G, Dietz V, Hornby TG. *Effectiveness of automated locomotor training in patients with chronic incomplete spinal cord injury: a multicenter trial*. Arch Phys Med Rehabil, 2005, 86: 672–80.

118. Yang J, Weimer RM, Kallop D, Olsen O, Wu Z, Renier N, Uryu K, Tessier-Lavigne M. *Regulation of Axon Degeneration after Injury and in Development by the Endogenous Calpain Inhibitor Calpastatin*. *Neuron*, 2013, 80: 1175-1189.
119. Zeliaś A, Pawełek B, Wanat S. *Prognozowanie ekonomiczne. Teoria, przykłady, zadania*. PWN, 2003, Warszawa.

## 8 STRESZCZENIE

**WSTĘP:** Choć wiadomo jakie potencjalne efekty terapeutyczne przynosi usprawnianie chodu z wykorzystaniem systemów robotycznych u pacjentów po urazie rdzenia kręgowego, wybór pomiędzy robotyką a terapią konwencjonalną w reedukacji chodu stanowi często duży problem. Brakuje jednoznacznych dowodów potwierdzających większą skuteczność jednej z powyższych koncepcji usprawniania, a wszelkie próby badawcze uwzględniają terapię chodu z dużą częstością, głównie u pacjentów w okresie ostrym lub podostrym. Brakuje dowodów, które potwierdzałyby skuteczność terapii chodu z wykorzystaniem systemu Lokomat z częstością mniejszą niż 3 razy w tygodniu u pacjentów w okresie przewlekłym, a brak określonych optymalnych programów usprawniania uniemożliwia dostosowanie właściwej terapii dla potrzeb pacjenta.

**CEL PRACY:** Celem pracy była analiza wpływu dwóch 6-tygodniowych programów terapeutycznych z zastosowaniem systemu robotycznego: (1) usprawnianie z użyciem Lokomatu jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową oraz (2) usprawnianie z użyciem Lokomatu dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową na zmiany funkcji chodu, funkcję motoryczną kończyn dolnych, zmiany odczuwanego poziomu spastyczności oraz dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym oraz określenie czy pojawiło się zróżnicowanie wybranych parametrów pomiędzy wyróżnionymi grupami badanymi oraz grupą kontrolną (fizjoterapia standardowa bez zastosowania systemu robotycznego).

**MATERIAŁ I METODY BADAŃ:** 30 pacjentów z częściowym, urazowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym zostało włączonych do randomizowanego badania klinicznego. Dwie grupy badawcze otrzymały 6-tygodniowe usprawnianie chodu z zastosowaniem systemu Lokomat, jeden (L1) oraz dwa razy (L2) w tygodniu. Grupa kontrolna pozostała bez zastosowania terapii chodu wspomaganego robotem. We wszystkich grupach zastosowano fizjoterapię konwencjonalną 3 razy w tygodniu. Ocenie poddano prędkość, wytrzymałość oraz stopień podparcia chodu, funkcję motoryczną kończyn dolnych, spastyczność oraz dolegliwości bólowe. Głównymi miarami wyników były: test chodu na 10 metrów (10MWT), 6-minutowy test marszowy (6MWT), Wskaźnik Chodzenia dla Urazów Rdzenia II (WISCI II), ocena motoryczna kończyn dolnych (LEMS), ocena poziomu spastyczności (kwestionariusz SCI-SET) oraz ocena dolegliwości bólowych (skala VAS). Ocenę przeprowadzono przed rozpoczęciem procedury usprawniania, po 3 oraz po 6 tygodniach treningu. W celu rozwiązania problemu badawczego zostały zastosowane analizy

empiryczne oraz eksploracyjne o charakterze porównawczym i modelowym.

**WYNIKI:** W grupie L1 oraz L2 wykazano istotną statystycznie poprawę zmiennych 10MWT, 6MWT oraz SCI-SET. Nie wykazano istotnej statystycznie poprawy w zmiennych WISCI II, LEMS oraz VAS. Uwidoczniono istotne różnice pomiędzy grupą L1 a grupą kontrolną w poprawie 10MWT oraz 6MWT, na korzyść usprawniania wspomaganego robotem. Uwidoczniono istotne różnice pomiędzy grupą L2 a grupą kontrolną w poprawie 10MWT oraz zmniejszeniu odczuwanego poziomu spastyczności, na korzyść usprawniania wspomaganego robotem. Nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy grupą L1 i L2.

**WNIOSKI:** Usprawnianie chodu z wykorzystaniem systemu Lokomat przeprowadzane 1 oraz 2 razy w tygodniu wpływa na poprawę prędkości, wytrzymałości chodu oraz zmniejszenie poziomu spastyczności, natomiast nie ma wpływu na poprawę rodzaju podparcia chodu, funkcji motorycznej kończyn dolnych oraz dolegliwości bólowych u pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym. Występują istotne różnice pomiędzy grupą usprawniania z zastosowaniem Lokomatu Pro jeden raz w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową a konwencjonalnymi metodami fizjoterapii w poprawie prędkości oraz wytrzymałości chodu, na korzyść usprawniania wspomaganego robotem. Występują istotne różnice pomiędzy grupą usprawniania z zastosowaniem Lokomatu Pro dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową a konwencjonalnymi metodami fizjoterapii w poprawie prędkości oraz zmniejszeniu odczuwanego poziomu spastyczności, na korzyść usprawniania wspomaganego robotem. Częstość usprawniania robotycznego nie ma wpływu na wielkość poprawy.

**WARTOŚCI APLIKACYJNE:** Stosowanie programów usprawniania z wykorzystaniem Lokomatu Pro (1) jeden raz w tygodniu oraz (2) dwa razy w tygodniu w połączeniu z fizjoterapią standardową jest zasadne w uzyskaniu poprawy stanu funkcjonalnego oraz samopoczucia pacjentów z częściowym uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym. Oba programy terapii robotycznej w połączeniu z fizjoterapią standardową mogą być lepszą formą usprawniania pacjentów z uszkodzeniem rdzenia kręgowego w okresie przewlekłym poprzez poprawę prędkości, wytrzymałości chodu oraz zmniejszenie spastyczności niż standardowa fizjoterapia. Cykliczność usprawniania chodu wspomaganego robotem może nie mieć wpływu na uzyskanie odmiennych efektów terapeutycznych w danej grupie pacjentów.

**Słowa kluczowe:** uraz rdzenia kręgowego, usprawnianie chodu wspomaganie robotem, zdolność chodzenia, spastyczność, ból

## 9 SUMMARY

**BACKGROUND:** Although the potential therapeutic effects of gait therapy using robotic systems in patients with spinal cord injury are well-known, the choice between robotics and conventional therapy in gait reeducation is often a big issue. There is no unequivocal evidence supporting the greater effectiveness of one of the above treatment concepts, and all research trials include high-frequency gait therapy, mainly in acute or subacute patients. There is no evidence to support the effectiveness of therapy with the use of the Lokomat system less than 3 times a week in chronic patients, and the lack of specific optimal therapy parameters makes it impossible to adjust the appropriate physiotherapy to the patient's needs.

**OBJECTIVE OF THE WORK:** The aim of the study was to analyze the impact of two 6-week therapeutic programs from the robotic system: (1) therapy with the use of Lokomat once a week with standard physiotherapy and (2) therapy with the use of Lokomat twice a week with standard physiotherapy on changes in gait function, motor function of the lower limbs, changes in the perceived level of spasticity and pain in patients with chronic, motor incomplete spinal cord injury and whether there are differences in selected parameters distinguished by the study groups and the control group (standard physiotherapy without the use of a robotic system).

**MATERIAL AND METHODS OF STUDY:** 30 patients with traumatic, chronic, motor incomplete spinal cord injury were included in a randomized clinical trial. Two study groups received 6 weeks of lokomat gait therapy, once (L1) and twice (L2) per week. The control group was left without the use of robotic gait therapy. All groups received conventional physiotherapy 3 times a week. Speed, endurance and gait support, motor function of the lower limbs, spasticity and pain were assessed. The main outcome measures were: 10-meter walk test (10MWT), 6-minute walk test (6MWT), Walking Index for Spinal Cord Injuries II (WISCI II), lower extremity motor score (LEMS), assessment of spasticity level (SCI-SET questionnaire) and assessment of pain (VAS scale). The assessment was carried out before the start of the therapy procedure, after 3 and after 6 weeks of therapy. In order to solve the research problem, there were empirical and exploratory analyzes of a comparative and model used.

**RESULTS:** In the L1 and L2 groups, a statistically significant improvement of the 10MWT, 6MWT and SCI-SET variables was demonstrated. There was no statistically significant improvement in the WISCI II, LEMS and VAS variables. There were significant differences between the L1 group and the control group in the improvement of 10MWT nad 6MWT, in favor of robot-assisted rehabilitation. There were significant differences between the L2 group and the control group in improving 10MWT and reducing the perceived level of spasticity, in favor

of robot-assisted rehabilitation. There were no statistically significant differences between the L1 and L2 groups.

**CONCLUSIONS:** Gait therapy with the use of the Lokomat system, carried out 1 and 2 times a week, improves the speed, endurance of gait and reduces the level of spasticity, but does not improve the type of gait support, motor function of the lower limbs and pain in patients with chronic, motor incomplete spinal cord injury. Significant differences were found between the once-a-week Lokomat Pro rehabilitation group in combination with standard physiotherapy and conventional physiotherapy methods in improving gait speed and stamina in favor of robot-assisted rehabilitation. Significant differences were found between the twice-a-week Lokomat Pro rehabilitation group in combination with standard physiotherapy and conventional physiotherapy methods in improving speed and reducing the perceived level of spasticity, in favor of robot-assisted rehabilitation. The frequency of this therapy does not affect the amount of improvement.

**CLINICAL REHABILITATION IMPACT:** The use of gait therapy with the use of the Lokomat 1 and 2 times a week in patients with chronic, motor incomplete spinal cord injury is justified in order to improve the functional status of the patient, e.g. by improving speed, gait endurance and reducing the level of perceived spasticity. Both robotic therapy programs with standard physiotherapy in patients with chronic, motor incomplete spinal cord injury may be a better form of therapy improving the speed, endurance of gait and reducing the level of spasticity than conventional physiotherapy. The cyclicity of the assistive gait therapy may not affect different therapeutic effects in the group of patients.

**Keywords:** spinal cord injury, robot assisted gait therapy, walking ability, spasticity, pain

## 10 WYKAZ RYCIN

|   |    |
|---|----|
| <b>Rycina 1</b> Struktura badania (opis w tekście) .....  | 25 |
| <b>Rycina 2</b> Wizualna skala analogowa (ang. Visual Analogue Scale - VAS) .....   | 32 |
| <b>Rycina 3</b> Usprawnianie chodu wspomagane systemem Lokomat, składający się z robotycznej ortozy chodu, dynamicznego ociążenia i bieżni (materiał własny).....   | 33 |
| <b>Rycina 4</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej 10MWT w grupie badanej L1. 10MWT – 10-metrowy test marszowy.....  | 42 |
| <b>Rycina 5</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej 6MWT w grupie badanej L1. 6 MWT- test 6-minutowego marszu .....   | 42 |
| <b>Rycina 6</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej WISCI II w grupie badanej L1. WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II .....            | 43 |
| <b>Rycina 7</b> Porównanie przyrostów absolutnych indeksów (wartości bezwzględne) jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej LEMS w grupie badanej L1. LEMS – ocena motoryczna kończyn dolnych.....                                    | 43 |
| <b>Rycina 8</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej VAS w grupie badanej L1. VAS – Wizualna Skala Analogowa.....  | 44 |
| <b>Rycina 9</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej SCI-SET w grupie badanej L1. SCI-SET – Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego ..... | 44 |
| <b>Rycina 10</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej 10MWT w grupie badanej L2. 10 MWT – 10-metrowy test marszowy.....  | 52 |
| <b>Rycina 11</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej 6MWT w grupie badanej L2. 6MWT – test 6-minutowego marszu .....  | 52 |
| <b>Rycina 12</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej WISCI II w grupie badanej L2. WISCI II – Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II .....           | 53 |
| <b>Rycina 13</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej LEMS w grupie badanej L2. LEMS – ocena   |    |

|  |    |
|--|----|
| motoryczna kończyn dolnych.....  | 53 |
| <b>Rycina 14</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów<br>jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej VAS w grupie badanej L2. VAS – Wizualna<br>Skala Analogowa.....  | 54 |
| <b>Rycina 15</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów<br>jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej SCI-SET w grupie badanej L2. SCI-SET –<br>Narzędzie Oceniające Spastyczność po Urazie Rdzenia Kręgowego .....  | 54 |
| <b>Rycina 16</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów<br>jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej 10MWT w grupie Kontrolnej. 10MWT – 10-<br>metrowy test marszowy.....   | 62 |
| <b>Rycina 17</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów<br>jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej 6MWT w grupie Kontrolnej. 6MWT – test 6-<br>minutowego marszu .....  | 62 |
| <b>Rycina 18</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów<br>jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej LEMS w grupie Kontrolnej. LEMS – ocena<br>motoryczna kończyn dolnych.....                                      | 63 |
| <b>Rycina 19</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów<br>jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej VAS w grupie Kontrolnej. VAS – Wizualna<br>Skala Analogowa.....  | 63 |
| <b>Rycina 20</b> Porównanie przyrostów absolutnych (wartości bezwzględne) indeksów<br>jednopodstawowych i łańcuchowych zmiennej SCI-SET w grupie Kontrolnej. SCI – SET –<br>Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego ..... | 64 |
| <b>Rycina 21</b> Analizy porównawcze pomiędzy indeksami jednopodstawowymi przyrostów<br>absolutnych zmiennej 10MWT w grupie badanej L1, L2 i Kontrol. 10 MWT – 10-metrowy<br>test marszowy.....  | 73 |
| <b>Rycina 22</b> Analizy porównawcze pomiędzy indeksami jednopodstawowymi przyrostów<br>absolutnych zmiennej 6MWT w grupie badanej L1, L2 i Kontrol. 6MWT – test 6-<br>minutowego marszu .....   | 73 |
| <b>Rycina 23</b> Analizy porównawcze pomiędzy indeksami jednopodstawowymi przyrostów<br>absolutnych zmiennej WISI II w grupie badanej L1, L2 i Kontrol (wartość 0). WISCI II –<br>Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II .....        | 74 |
| <b>Rycina 24</b> Analizy porównawcze pomiędzy indeksami jednopodstawowymi przyrostów<br>absolutnych zmiennej LEMS w grupie badanej L1, L2 i Kontrol. LEMS – ocena motoryczna<br>kończyn dolnych .....  | 74 |



|   |    |
|---|----|
| <b>Rycina 25</b> Analizy porównawcze pomiędzy indeksami jednopodstawowymi przyrostów absolutnych zmiennej VAS w grupie badanej L1, L2 i Kontrol. VAS – Wizualna Skala Analogowa .....   | 75 |
| <b>Rycina 26</b> Analizy porównawcze pomiędzy indeksami jednopodstawowymi przyrostów absolutnych zmiennej SCI-SET w grupie badanej L1, L2 i Kontrol. SCI – SET – Narzędzie do Oceny Spastyczności po Urazie Rdzenia Kręgowego ..... | 75 |

## 11 WYKAZ TABEL

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela I</b> Tabela licznosci dla płci, wieku, masy i wysokości ciała, poziomu urazu, stopnia AIS oraz lat po urazie w grupie L1, L2 i Kontrol .....  | 21 |
| <b>Tabela II</b> Statystyka opisowa dla grupy L1, L2 i Kontrol; zmienne – jakościowe ( $\bar{x}$ -średnia arytmetyczna, S-odchylenie standardowe, V-współczynnik zmienności).....  | 23 |
| <b>Tabela III</b> Wynik analizy wariancji międzygrupowej dla zmiennych: wiek, masa ciała, wysokość ciała, poziom urazu, AIS, lata po urazie .....  | 23 |
| <b>Tabela IV</b> Wynik analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic międzygrupowych L1, L2 i Kontrol ze względu na wyniki pomiarów przed usprawnianiem .....  | 24 |
| <b>Tabela V</b> Parametry opisowe ( $\bar{x}$ -średnia arytmetyczna, S-odchylenie standardowe, V-współczynnik zmienności) badanych zmiennych podczas pomiaru diagnostycznego, po 3 i 6 tygodniach usprawniania w grupie L1, L2 i Kontrol ..... | 37 |
| <b>Tabela VI</b> Tabela licznosci VAS dla grupy L1, L2 i Kontrol z uwzględnieniem pomiaru diagnostycznego, po 3 i 6 tygodniach usprawniania.....   | 38 |
| <b>Tabela VII</b> Tabela licznosci SCI-SET dla grupy L1, L2 i Kontrol z uwzględnieniem pomiaru diagnostycznego, po 3 i 6 tygodniach usprawniania.....  | 39 |
| <b>Tabela VIII</b> Przyrosty absolutne zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET, jednopodstawowe i łańcuchowe w grupie badanej L1 .....  | 41 |
| <b>Tabela IX</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej 10MWT oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz Ve w grupie badanej L1 .....  | 46 |
| <b>Tabela X</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej 6MWT oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz Ve w grupie badanej L1 .....  | 47 |
| <b>Tabela XI</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej WISCI II oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz Ve w grupie badanej L1 .....   | 47 |
| <b>Tabela XII</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej LEMS oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz Ve w grupie badanej L1 .....  | 48 |
| <b>Tabela XIII</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej VAS oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz Ve w grupie badanej L1 .....  | 49 |
| <b>Tabela XIV</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej SCI-SET oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz Ve w grupie badanej L1 .....   | 50 |
| <b>Tabela XV</b> Przyrosty absolutne zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET, jednopodstawowe i łańcuchowe w grupie badanej L2 .....  | 51 |
| <b>Tabela XVI</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej 10MWT oraz   |    |

|  |    |
|--|----|
| wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz $V_e$ w grupie badanej L2 .....   | 56 |
| <b>Tabela XVII</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej 6MWT oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz $V_e$ w grupie badanej L2 .....                      | 57 |
| <b>Tabela XVIII</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej WISCI II oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz $V_e$ w grupie badanej L2 .....                 | 57 |
| <b>Tabela XIX</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej LEMS oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz $V_e$ w grupie badanej L2 .....                       | 58 |
| <b>Tabela XX</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej VAS oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz $V_e$ w grupie badanej L2 .....                         | 59 |
| <b>Tabela XXI</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej SCI-SET oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz $V_e$ w grupie badanej L2 .....                    | 59 |
| <b>Tabela XXII</b> Przyrosty absolutne zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET, jednopodstawowe i łańcuchowe w grupie Kontrolnej.....   | 61 |
| <b>Tabela XXIII</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej 10MWT oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz $V_e$ w grupie Kontrolnej.....                     | 65 |
| <b>Tabela XXIV</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej 6MWT oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz $V_e$ w grupie Kontrolnej.....                       | 66 |
| <b>Tabela XXV</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej WISCI II oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz $V_e$ w grupie Kontrolnej.....                    | 67 |
| <b>Tabela XXVI</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej LEMS oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz $V_e$ w grupie Kontrolnej.....                       | 68 |
| <b>Tabela XXVII</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej VAS oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz $V_e$ w grupie Kontrolnej.....                       | 68 |
| <b>Tabela XXVIII</b> Wartości weryfikacyjne modeli szeregów czasowych dla zmiennej SCI-SET oraz wartości walidacyjne $\varphi^2$ , Se oraz $V_e$ w grupie Kontrolnej.....                  | 69 |
| <b>Tabela XXIX</b> Wynik analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic wewnątrzgrupowych w grupie L1, L2 i Kontrolnej ze względu na wyniki pomiarów przed i po usprawnianiu .....      | 70 |
| <b>Tabela XXX</b> Wynik testu post-hoc wieloczynnikowej analizy wariancji ANOVA, w celu określenia istotnych statystycznie różnic zmiennych 10MWT, 6MWT oraz SCI SET w grupie L1 i L2..... | 70 |
| <b>Tabela XXXI</b> Wartości indeksów jednopodstawowych zmiennych 10MWT, 6MWT, WISCI II, LEMS, VAS i SCI-SET w grupie badanej L1, L2 i Kontrol .....  | 72 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela XXXII</b> Wynik analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic międzygrupowych L1, L2 i Kontrol ze względu na wyniki pomiarów po 3 tygodniach usprawniania .....   | 76 |
| <b>Tabela XXXIII</b> Wynik testu post-hoc wieloczynnikowej analizy wariancji ANOVA, w celu określenia istotnych statystycznie różnic po 3 tygodniach interwencji w zakresie wartości zmiennych: 10MWT, 6MWT i SCI-SET ..... | 77 |
| <b>Tabela XXXIV</b> Wynik analizy wariancji ANOVA, w celu określenia różnic międzygrupowych L1, L2 i Kontrol ze względu na wyniki pomiarów po 6 tygodniach usprawniania.....  | 78 |
| <b>Tabela XXXV</b> Wynik testu post-hoc wieloczynnikowej analizy wariancji ANOVA, w celu określenia istotnych statystycznie różnic po 6 tygodniach interwencji w zakresie wartości zmiennych: 10MWT i SCI-SET .....         | 79 |

# ANEKSY

## Aneks 1. Indeks Chodzenia po Urazie Rdzenia Kręgowego II WISCI II).

### Scoring Sheet (WISCI II)

Patient Name \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

Check descriptors which apply to current walking performance, then assign the highest level of walking performance. (In scoring a level, one should choose the level at which the patient is safe as judged by the therapist, with patient's comfort level described. If devices other than stated in the standard definitions are used, they should be documented as descriptors. If there is a discrepancy between two observers, the higher level should be chosen.)

#### Descriptors

Gait: reciprocal \_\_\_\_\_; swing through \_\_\_\_\_

| Devices                           | Braces   | Assistance                | Patient reported comfort level        |
|-----------------------------------|--|---------------------------|---------------------------------------|
| // bars < 10 mtrs                 | Long Leg Braces- Uses 2<br>Uses 1              | Max assist x 2 people     | Very comfortable                      |
| //bars 10 mtrs                    | Short Leg Braces- Uses 2<br>Uses 1             | Min/Mod assist x 2 people | Slightly comfortable                  |
| Walker- Standard Rolling Platform | Locked at knee _____<br>Unlocked at knee _____ | Min/Mod assist x 1 person | Neither comfortable nor uncomfortable |
| Crutches- Uses 2<br>Uses 1        | Other:   |                           | Slightly uncomfortable                |
| Canes- Quad<br>Uses 2<br>Uses 1   |  |                           | Very Uncomfortable                    |
| No devices                        | No braces                                      | No assistance             |                                       |

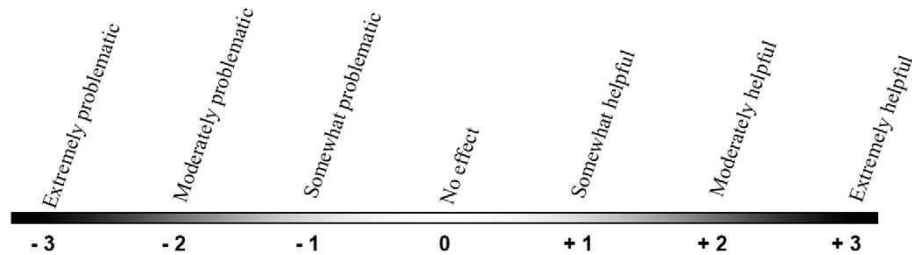
#### WISCI Levels

| Level | Devices         | Braces    | Assistance    | Distance            |
|-------|-----------------|-----------|---------------|---------------------|
| 0     |                 |           |               | Unable              |
| 1     | Parallel bars   | Braces    | 2 persons     | Less than 10 meters |
| 2     | Parallel bars   | Braces    | 2 persons     | 10 meters           |
| 3     | Parallel bars   | Braces    | 1 person      | 10 meters           |
| 4     | Parallel bars   | No braces | 1 person      | 10 meters           |
| 5     | Parallel bars   | Braces    | No assistance | 10 meters           |
| 6     | Walker          | Braces    | 1 person      | 10 meters           |
| 7     | Two crutches    | Braces    | 1 person      | 10 meters           |
| 8     | Walker          | No braces | 1 person      | 10 meters           |
| 9     | Walker          | Braces    | No assistance | 10 meters           |
| 10    | One cane/crutch | Braces    | 1 person      | 10 meters           |
| 11    | Two crutches    | No braces | 1 person      | 10 meters           |
| 12    | Two crutches    | Braces    | No assistance | 10 meters           |
| 13    | Walker          | No braces | No assistance | 10 meters           |
| 14    | One cane/crutch | No braces | 1 person      | 10 meters           |
| 15    | One cane/crutch | Braces    | No assistance | 10 meters           |
| 16    | Two crutches    | No braces | No assistance | 10 meters           |
| 17    | No devices      | No braces | 1 person      | 10 meters           |
| 18    | No devices      | Braces    | No Assistance | 10 meters           |
| 19    | One cane/crutch | No braces | No assistance | 10 meters           |
| 20    | No devices      | No braces | No assistance | 10 meters           |

Level assigned \_\_\_\_\_

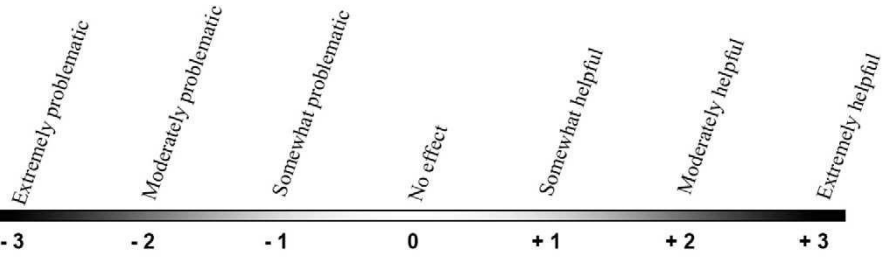
## Aneks 2. The Spinal Cord Injury Spasticity Evaluationa Tool (SCI-SET).

For each of the following, please choose the answer that best describes how your spasticity symptoms have affected that area of your life **during the past 7 days**. When I talk about “spasticity symptoms”, I mean:  
a) uncontrolled, involuntary muscle contraction or movement (slow or rapid; short or prolonged),  
b) involuntary, repetitive, quick muscle movement (up and down; side to side), c) muscle tightness, and  
d) what you might describe as “spasms”. Please let me know when a question is not applicable to you.



DURING THE **PAST 7 DAYS**, HOW HAVE YOUR SPASTICITY SYMPTOMS AFFECTED:

|  | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
|--|----|----|----|---|----|----|----|-----|
| 1. your showering?   | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 2. your dressing/undressing?                                   | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 3. your transfers (to and from bed, chair, vehicle, etc.)?     | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 4. your sitting positioning (in your chair, etc.)?             | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 5. the preparation of meals?                                   | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 6. eating?   | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 7. drinking?   | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 8. your small hand movements (writing, use of computer, etc.)? | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 9. your ability to perform household chores?                   | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 10. your hobbies/recreational activities?                      | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 11. your enjoyment of social outings?                          | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 12. your ability to stand/weight-bear?                         | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 13. your walking ability?                                      | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 14. your stability/balance?                                    | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 15. your muscle fatigue?                                       | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 16. the flexibility of your joints?                            | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 17. your therapy/exercise routine?                             | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 18. your manual wheelchair use?                                | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |



DURING THE **PAST 7 DAYS**, HOW HAVE YOUR SPASTICITY SYMPTOMS AFFECTED:

|   | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |     |
|---|----|----|----|---|----|----|----|-----|
| 19. your power wheelchair use?                            | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 20. your lying positioning (in bed, etc.)?                | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 21. your ability to change positions in bed?              | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 22. your ability to get to sleep?                         | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 23. the quality of your sleep?                            | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 24. your sex life?  | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 25. the feeling of being annoyed?                         | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 26. the feeling of being embarrassed?                     | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 27. your feeling of comfort socially?                     | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 28. your feeling of comfort physically?                   | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 29. your pain?  | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 30. your concern with falling?                            | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 31. your concern with getting injured?                    | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 32. your concern with accidentally injuring someone else? | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 33. your ability to concentrate?                          | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 34. your feelings of control over your body?              | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |
| 35. your need to ask for help?                            | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | N/A |

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Number of (+) items: _____ | Negative score: _____       |
| Number of (-) items: _____ | Positive score: _____       |
| Number of (0) items: _____ | <b>Total score:</b> _____   |
|                            | Applicable items (#): _____ |
|                            | <b>Average score:</b> _____ |