



ORIGINAL PAPER / PRACA ORYGINALNA

Agnieszka Guzik^{1(A,B,C,D,E,F,G)}, Mariusz Drużbicki^{1,2(A,B,C,F)}, Andrzej Kwolek^{1(A,F)},
Grzegorz Przysada^{1,2(A,B)}, Agnieszka Brzozowska-Magoń^{1(B,C)}

Gait velocity as a tool for evaluating the effects of gait training in patients with chronic stroke

Prędkość chodu jako narzędzie oceny efektów treningu chodu u pacjentów w okresie późnym po udarze mózgu

¹ Institute of Physiotherapy of University of Rzeszów, Poland

² Clinical Rehabilitation Ward of Province Hospital No. 2 in Rzeszów, Poland

ABSTRACT

Background. Gait velocity is a simple but very essential parameter which may be applied as an indicator of functional efficiency. Gait of stroke patients is characterized by reduced speed. As a result, the patients have significantly limited functioning capabilities, including walking independently outside home. The study was designed to assess selected temporal gait parameters, including gait velocity, stride velocity and swing phase velocity in patients with chronic stroke following a rehabilitation program with the use treadmill.

Material and method. The study was conducted in a group of 50 patients with hemiparesis in the late period after stroke. Temporal gait parameters such as: gait velocity, stride velocity and swing velocity were examined. Additionally, 10-metre walk test was measured.

STRESZCZENIE

Wstęp. Prędkość chodu jest prostym, a zarazem bardzo istotnym parametrem, który może być stosowany jako wyznacznik sprawności funkcjonalnej. Chód pacjentów po udarze mózgu charakteryzuje się zmniejszoną prędkością. W efekcie pacjenci mają znacznie ograniczone możliwości funkcjonowania, w tym samodzielnego chodu poza domem. **Celem** pracy jest ocena wybranych czasowych parametrów chodu, w tym prędkości chodu, prędkości cyklu chodu oraz prędkości fazy przenoszenia u pacjentów w okresie późnym po udarze mózgu, po programie rehabilitacji z wykorzystaniem bieżni ruchomej.

Materiał i metoda. Badanie przeprowadzono w grupie 50 pacjentów z niedowładem połowicznym w okresie późnym po udarze mózgu. Analizowano czasowe parametry chodu: prędkość chodu, prędkości cyklu chodu oraz prędkości fazy prze-

Mailing address / Adres do korespondencji: Agnieszka Guzik, Institute of Physiotherapy, University of Rzeszow, ul. Warszawska 26 a, 35-205 Rzeszów, Poland, Phone: +48 178721930, email: agnieszkadepa2@wp.pl

Participation of co-authors / Udział współautorów: A – preparation of a research project / przygotowanie projektu badawczego; B – collection of data / zbieranie danych; C – statistical analysis / analiza statystyczna; D – interpretation of data / interpretacja danych; E – preparation of a manuscript / przygotowanie manuskryptu; F – working out the literature / opracowanie piśmiennictwa; G – obtaining funds pozyskanie funduszy / pozyskanie funduszy

Received / Artykuł otrzymano: 19.01.2016 | Accepted / Zaakceptowano do publikacji: 10.06.2016

Publication date / Data publikacji: june / czerwiec 2016

Results. While analyzing 10-metre walk test results it was shown that after rehabilitation gait velocity increased by an average of 0.15 m/s ($p = 0.0000$). Similar results were obtained in terms of gait velocity which had been assessed using a 3-dimensional gait analysis, the average gait velocity increased by 0,14m/s ($p = 0.0000$). Analyzing stride velocity, both the paretic and non-paretic side it was noted that after rehabilitation this particular parameter increased by an average of 0.05 m/s ($p = 0.0019$) and 0.06 m/s ($p = 0.0052$). Similar results were achieved in terms of swing velocity of the paretic side - $p = 0.0017$.

Conclusions. It was demonstrated that rehabilitation program with the use of treadmill enabled significant improvement in gait velocity, stride velocity and swing phase velocity in patients with chronic stroke. Gait velocity is a practical and simple tool to be applied for monitoring of progress in rehabilitation and for assessing effects of gait re-education in patients with hemiplegia in a chronic stage after stroke.

Keywords: stroke, gait, gait velocity, treadmill training

Introduction

Mobility of patients after stroke is extremely important for the affected individuals, for those around them and the society because it impacts the patients' and their caregivers' quality of life and the overall costs of stroke borne by the entire society. Patients with post-stroke hemiplegia usually move with lower speed in comparison to healthy individuals in the same age range; there is also observable asymmetry in temporospatial gait parameters and in the range of movement in the joints of lower limbs [1–3]. Muscle strength, or more specifically ankle push-off strength as well as hip range of motion at the start of swing phase are recognized as the main determinants of gait velocity after stroke. Slow gait may result from patient's behavioural adaptation to poor strength, lack of balance and impaired sense of stability. Other factors which also may contribute to the decreased gait velocity after stroke include altered perception of stimuli during movement, deficits in cognitive functions and attention disorders [4–6]. These features may affect the ability to restore motor fitness, lead to loss of independence and consequently to increased social isolation. Therefore, restoration of functional independence through gait re-education is an essential goal of each rehabilitation program for individuals after stroke [4, 5].

In many studies effectiveness of gait re-education is determined based on the increase in gait velocity, gait distance and step length. Yet, out of the many gait parameters it is mainly velocity that is most frequently examined in order to monitor gait function recovery [7–9]. Such popularity of this parameter assessment results from the fact that it is indeed the velocity ultimately achieved by patients after stroke that determines their ability to func-

tioning. Dodatkowo wykonano test drogi na 10 metrach.

Wyniki. Analizując wyniki testu drogi wykazano, że po zakończeniu programu rehabilitacji prędkość chodu wzrosła średnio o 0,15 m/s ($p = 0,0000$). Podobne wyniki uzyskano w zakresie prędkości chodu ocenionej z wykorzystaniem 3-wymiarowej analizy chodu, średnia prędkość chodu wzrosła o 0,14m/s ($p = 0,0000$). Analizując prędkość cyklu chodu zarówno po stronie niedowładnej jak i zdrowej zanotowano, iż w wyniku rehabilitacji nastąpił wzrost tego parametru średnio o 0,05 m/s ($p = 0,0019$) i 0,06 m/s ($p = 0,0052$). Zbliżone wyniki uzyskano również w zakresie prędkości fazy przenoszenia po stronie niedowładnej – $p = 0,0017$.

Wnioski. Program rehabilitacji z wykorzystaniem bieżni ruchomej wpłynął na istotną poprawę w zakresie prędkości chodu, prędkości cyklu chodu oraz prędkości fazy przenoszenia u pacjentów w okresie późnym po udarze mózgu. Prędkość chodu jest przydatnym narzędziem umożliwiającym ocenę efektów reedukacji chodu pacjentów z niedowładem połowicznym w okresie późnym po udarze mózgu.

Słowa kluczowe: udar mózgu, chód, prędkość chodu, trening na bieżni

Wstęp

Zdolność poruszania się pacjentów po udarze mózgu jest dla nich samych, otoczenia i społeczeństwa niezmiernie ważna, gdyż rzutuje na jakość życia pacjenta, jego opiekunów i całkowite koszty udaru mózgu ponoszone przez społeczeństwo. Zazwyczaj pacjenci z niedowładem połowicznym po udarze mózgu poruszają się z mniejszą prędkością w porównaniu do populacji osób zdrowych w tym samym przedziale wiekowym, obecna jest również asymetria dotycząca parametrów czasowo-przestrzennych chodu oraz zakresu ruchu w stawach kończyn dolnych [1–3]. Siła mięśni, a dokładniej siła odbicia stawu skokowego i zgięcie stawu biodrowego na początku fazy przenoszenia, określane są jako główne determinanty prędkości chodu po udarze mózgu. Powolny chód może być wynikiem behawioralnej adaptacji pacjenta na słabą wytrzymałość, brak równowagi i zaburzone poczucie stabilności. Inne czynniki, które również mogą odgrywać pewną rolę w zmniejszeniu prędkości chodu po udarze mózgu, to zmiana w zakresie percepcji bodźców podczas poruszania się, deficyty funkcji poznawczych lub zaburzenia uwagi [4–6]. Te typowe cechy mogą wpływać na odzyskanie sprawności ruchowej, zmniejszenie samodzielności, a w konsekwencji wzrost izolacji społecznej. Dlatego przywrócenie niezależności funkcjonalnej poprzez reedukację chodu jest podstawowym celem każdego programu rehabilitacyjnego dla osób po udarze mózgu [4, 5].

W licznych badaniach skuteczność reedukacji chodu określa się na podstawie zwiększenia prędkość chodu, dystansu chodu czy długości kroku. Tymczasem wśród wielu parametrów chodu, to w głównej mierze prędkość jest najczęściej analizowana w celu monitorowania efek-

tion in their own environment and to walk without assistance both at home and outside [9, 10].

Gait velocity is a simple and at the same time extremely significant parameter which may be used as an indicator of the quality of life and a determinant of functional efficiency in various populations [6]. It has also been demonstrated that velocity is a key gait parameter in patients with hemiplegia after stroke since increase in the velocity is one of the main goals of gait re-education in the case of such patients [6, 11, 12].

The study was designed to assess selected temporal gait parameters, including gait velocity, stride velocity and swing phase velocity in patients with chronic stroke following a rehabilitation program with the use treadmill.

Material and method

The study was conducted in a group of 50 patients, at a chronic stage after stroke, over 6 months after onset of ischaemic stroke. The participants were recruited among patients receiving treatment at the Clinical Rehabilitation Ward, Province Hospital No. 2 in Rzeszów, Poland. Ischaemic stroke was confirmed by CT and MR examinations. The criteria for qualifying to participate included: ischaemic stroke, time from stroke at least 6 months, ability to walk unaided, level of paresis in the lower limb 3–4 on Brunnström scale, disability level 3 on Rankin Scale, muscle spasticity in the paretic lower limb at the level up to 1+ according to the modified Ashworth scale, current health condition confirmed by medical examination to be sufficient for participation in the study and in exercise. Exclusion criteria: impairment in higher mental functions negatively affecting the ability to understand and perform tasks during exercise (Mini Mental Scale over 24), impaired field of vision, co-occurring orthopaedic disorders, rheumatoid, including persistent joint contractures, diseases of circulatory and respiratory systems restricting the ability to perform additional treadmill exercise. Before the study all the subjects received detailed information about its purpose and procedure, and they agreed to participate in writing. The project was approved by the Bioethics Commission of the Medical Faculty, University of Rzeszów. Table 1 presents the groups' characteristics.

The examination was performed twice – before the start of the exercise and after the ten-day program was

tów poprawy funkcji chodu [7–9]. Tak popularna ocena tego parametru jest uwarunkowana tym, iż to właśnie końcowa prędkość, jaką pacjent po udarze mózgu jest w stanie uzyskać determinuje jego zdolność do funkcjonowania we własnym środowisku, a więc samodzielnego chodu zarówno w domu, jak i na zewnątrz [9, 10].

Prędkość chodu jest prostym, a zarazem bardzo istotnym parametrem, który może być stosowany jako wskaźnik jakości życia oraz wyznacznik sprawności funkcjonalnej w zróżnicowanych populacjach [6]. Dowiedziono także, że prędkość jest kluczowym parametrem chodu u pacjentów z niedowładem połowicznym po udarze mózgu, ponieważ wzrost prędkości jest jednym z głównych celów w zakresie reedukacji chodu pacjentów z hemiplegią [6, 11, 12].

Celem pracy jest ocena wybranych czasowych parametrów chodu w tym prędkości chodu, prędkości cyklu chodu oraz prędkości fazy przenoszenia u pacjentów w okresie późnym po udarze mózgu po programie rehabilitacji z wykorzystaniem bieżni ruchomej.

Materiał i metoda

Badanie przeprowadzono w grupie 50 pacjentów w okresie chronicznym powyżej 6 miesięcy od przebytego niedokrwiennego udaru mózgu. Uczestnicy rekrutowani byli spośród osób, które odbyły leczenie w Klinicznym Oddziale Rehabilitacji Szpitala Wojewódzkiego nr 2 w Rzeszowie. Niedokrwienno udar mózgu potwierdzony był na podstawie badania KT lub MR. Kryteria kwalifikacji do badania były następujące: przebyty niedokrwienno udar mózgu, czas od udaru co najmniej 6 miesięcy, umiejętność samodzielnego chodu, stopień niedowładności kończyny dolnej 3–4 w skali Brunnström, stopień niepełnosprawności w skali Rankin 3, napięcie spastyczne w kończynie dolnej niedowładnej nie więcej niż 1 plus w zmodyfikowanej skali Ashworth, aktualny stan zdrowia potwierdzony badaniem lekarskim pozwalający na udział w badaniach i ćwiczeniach. Kryteria wykluczenia: zaburzenia wyższych czynności psychicznych ograniczające rozumienie i realizowanie zadań podczas ćwiczeń (Mini Mental Scale powyżej 24), zaburzenia pola widzenia, współistniejące choroby ortopedyczne, reumatoidalne, w tym utrwalone przykurcze stawów kończyn dolnych, choroby układu krążenia i oddychania unie-

Table 1. Characteristics of group

Tabela 1. Charakterystyka grupy

	Grupa (n=50) Group (n=50)
Wiek [w latach], średnia (SD)/ Age [years], mean (SD)	60,0 (11,7)
Płeć [kobiety/mężczyźni]/ Sex [women/men]	18/32
Strona niedowładności [prawa/lewa]/ Paretic side [right/left]	35/15
Czas od udaru [w mies.], średnia [zakres]/ Time from stroke month, mean [range]	40,0 [8–180]

SD – odchylenie standardowe/standard deviation

completed; both exams were carried out at the same time of the day. The assessment of temporal gait parameters was performed in gait analysis laboratory, at the University of Rzeszów, with the use of BTS Smart system. The markers were distributed in accordance with Davis protocol. During the trial the subjects walked with self-selected speed and were allowed to use aids such as canes, elbow crutches and tripods. The recording was made for 6 walks, with the minimum of 3 complete gait cycles. The following features were analysed: gait velocity, stride velocity and swing phase velocity. Additionally, 10-metre walk test was carried out. During gait velocity assessment along a distance of 10 metres the participants moved with self-selected speed using their own orthopaedic aids. The result was the mean score obtained during two trials. The subjects used the same orthopaedic equipment during each examination.

Treadmill training was carried out with the use of Gait Trainer 2 from Biodex. The duration of treadmill exercise was up to 20 minutes. Gait velocity started from 0.34 m/s and increased with each subsequent training to the level allowing for completing the task. Treadmill trainings were preceded with preparations during individual practice. Overall daily duration of all exercises amounted to 1.5 hours.

Individual practice included active and assisted exercise of lower limbs, balance exercise in sitting and standing position and breathing exercises. After completing the treadmill training the subjects performed breathing exercises and exercises of lower limbs with the use of rotor.

Statistical analysis

Statistical analyses were computed with the use of Statistica 10.0 (StatSoft, Poland). Parameters of the relevant characteristics distribution were assessed with Shapiro-Wilk test. In order to describe the distribution of the study group's characteristics the following descriptive statistics were examined: arithmetic mean, median, standard deviation, minimum value and maximum value. Significance of rehabilitation results was assessed using the statistical Wilcoxon test. Statistical significance was assumed for $p \leq 0,05$.

Results

The analysis of scores in gait velocity test in the study group of 50 subjects showed that, before rehabilitation, mean gait velocity was 0.59 m/s, and after the rehabilitation program was completed it reached the value of 0.74 m/s. On average gait velocity increased by 0.15 m/s. The effect of rehabilitation was highly significant – $p = 0.0000$, and the positive change in gait velocity was found in nearly all of the patients (Table 2).

Table 3 presents the results related to gait velocity assessed with 3-dimensional gait analysis. It was shown that before rehabilitation, on average, gait velocity was

możliwiające uczestniczenie w dodatkowych ćwiczeniach na bieżni. Wszyscy uczestnicy badania zostali przed rozpoczęciem dokładnie poinformowani o celu i przebiegu badania oraz wyrazili pisemną zgodę na udział. Projekt został zatwierdzony przez Komisję Bioetyczną Wydziału Medycznego Uniwersytetu Rzeszowskiego. Charakterystykę grupy przedstawiono w tabeli 1.

Badanie wykonane było dwukrotnie, początkowo przed rozpoczęciem ćwiczeń, kontrolnie po zrealizowaniu dziesięciodniowego programu, o tej samej porze dnia. Ocenę parametrów czasowych wykonano w laboratorium chodu Uniwersytetu Rzeszowskiego z wykorzystaniem systemu BTS Smart. Markery umieszczono według protokołu Davisa. Badani podczas oceny chodzili z dowolną prędkością i mogli używać sprzętu pomocniczego, jak laski, kule łokciowe lub trójnogi. Rejestrowano 6 przejść, z co najmniej 3 pełnych cykli chodu. Analizowano prędkość chodu, prędkości cyklu chodu oraz prędkości fazy przenoszenia. Dodatkowo wykonano test drogi na 10 metrach. W ocenie prędkości chodu na dystansie 10 metrów uczestnicy poruszali się z dowolną prędkością z własnym zaopatrzeniem ortopedycznym. Wynik był średnią wartością z dwóch prób. Badani używali tych samych pomocy ortopedycznych podczas każdego badania.

Do treningu na bieżni wykorzystano bieżnię Gait Trainer 2 Firmy. Czas ćwiczeń na bieżni wynosił do 20 minut. Prędkość chodu rozpoczynała się od 0,34 m/s i zwiększała się w każdym kolejnym treningu do wartości pozwalającej na realizację zadania. Treningi na bieżni poprzedzone były przygotowaniem podczas ćwiczeń indywidualnych. Całkowity dzienny czas wszystkich ćwiczeń wynosił łącznie 1,5 godziny. W ramach ćwiczeń indywidualnych prowadzono ćwiczenia czynne i wspomagane kończyn dolnych, ćwiczenia równoważne w pozycji siedzącej i stojącej oraz ćwiczenia oddechowe. Po zakończeniu ćwiczeń na bieżni uczestnicy realizowali ćwiczenia oddechowe oraz ćwiczenia kończyn dolnych z wykorzystaniem rotora.

Analiza statystyczna

Analizę statystyczną wykonano w programie Statistica 10.0 (StatSoft, Polska). Parametryczność rozkładu badanych cech oceniono za pomocą testu Shapiro-Wilka. Do opisu rozkładu cech badanej zbiorowości analizowano statystyki opisowe: średnią arytmetyczną, medianę, odchylenie standardowe, wartość minimalną i wartość maksymalną. Oceniono istotność efektów rehabilitacji za pomocą statystycznego testu Wilcoxon. Jako istotny statystycznie przyjęto wynik testu statystycznego $p \leq 0,05$.

Wyniki

Analizując wyniki testu prędkości chodu w badanej 50-osobowej grupie wykazano, że przed rehabilitacją średnia prędkość chodu wynosiła 0,59 m/s, natomiast po zakończeniu programu rehabilitacji 0,74 m/s. Prędkość

Table 2. Test prędkości chodu [m/s]

Tabela 2. Speed test [m/s]

Test prędkości chodu [m/s]/ Speed test [m/s]	\bar{x}	Me	s	min	max
przed rehabilitacją/ before rehabilitation	0,59	0,57	0,17	0,25	1,02
po rehabilitacji/ after rehabilitation	0,74	0,70	0,21	0,37	1,30
efekt rehabilitacji ($p = 0,0000^{***}$)/ rehabilitation effect	0,15	0,12	0,12	-0,09	0,42

Table 3. Prędkość chodu [m/s] oceniona z wykorzystaniem 3-wymiarowej analizy chodu

Tabela 3. Gait velocity [m/s] assessed with 3-dimensional gait analysis

Prędkość chodu [m/s]/ Gait velocity [m/s]	\bar{x}	Me	s	min	max
przed rehabilitacją/ before rehabilitation	0,45	0,43	0,14	0,20	0,77
po rehabilitacji/ after rehabilitation	0,59	0,56	0,16	0,35	0,98
efekt rehabilitacji ($p = 0,0000$)/ rehabilitation effect	0,14	0,13	0,10	0,00	0,56

lower by approx. 0.14 m/s, amounting to 0.45 m/s. After the rehabilitation program mean gait velocity was 0.59 m/s. The effect of rehabilitation was highly significant – $p = 0.0000$. The present study shows that the positive change in gait velocity was found in nearly all of the patients (Figure 1).

During analysis of stride velocity on the paretic side, it was observed that as a result of rehabilitation this parameter on average increased by 0.05 m/s. The positive change was found in most patients. The effect of rehabilitation was statistically significant – $p = 0.0019$. Similar scores in stride velocity were recorded on unaffected side; as a result of rehabilitation there was mean increase of 0.06 m/s, and the effect of rehabilitation was statistically significant – $p = 0.0052$ (Table 4). The present findings showed a positive change in a majority of patients, yet a few individuals were found with rather

chodu wzrosła średnio o 0,15 m/s. Efekt rehabilitacji był wysoce istotny statystycznie – $p = 0,0000$, a pozytywna zmiana prędkości chodu dotyczyła niemal wszystkich pacjentów (tabela 2).

W tabeli 3 zestawiono wyniki prędkości chodu ocenionej z wykorzystaniem 3-wymiarowej analizy chodu. Wykazano, że przed rehabilitacją prędkość chodu była niższa średnio o około 0,14 m/s, wynosząc 0,45 m/s. Po zakończeniu programu rehabilitacji średnia prędkość chodu wynosiła 0,59 m/s. Efekt rehabilitacji był wysoce istotny statystycznie – $p = 0,0000$. Jak wynika z badań, pozytywna zmiana prędkości chodu dotyczyła niemal wszystkich pacjentów (rycyna 1).

Analizując prędkość cyklu chodu po stronie niedowładnej zanotowano, iż w wyniku rehabilitacji nastąpił wzrost tego parametru średnio o 0,05 m/s. Pozytywna zmiana dotyczyła większości pacjentów. Efekt rehabilita-

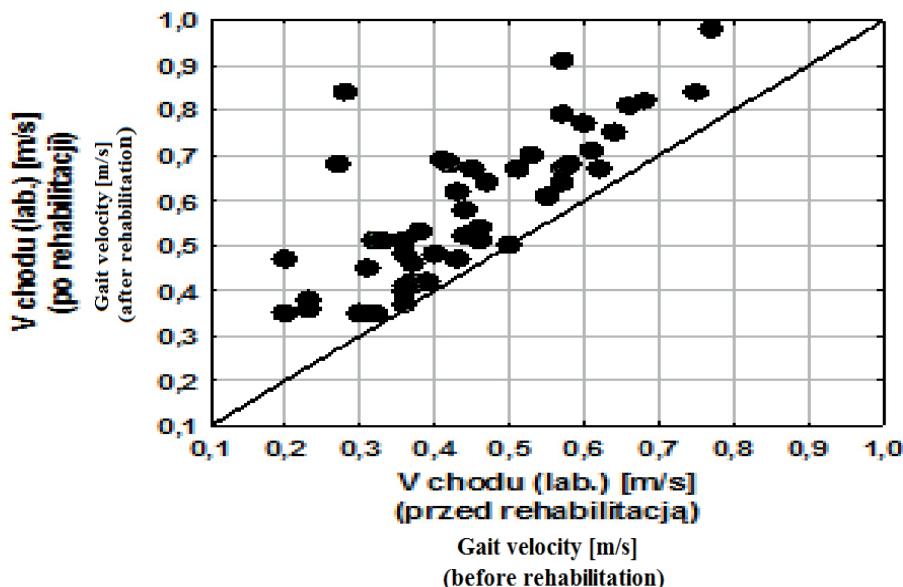


Figure 1. Gait velocity [m/s] assessed with 3-dimensional gait analysis

Rycina 1. Prędkość chodu [m/s] oceniona z wykorzystaniem 3-wymiarowej analizy chodu

significant decrease in stride velocity on the unaffected side (Figure 2).

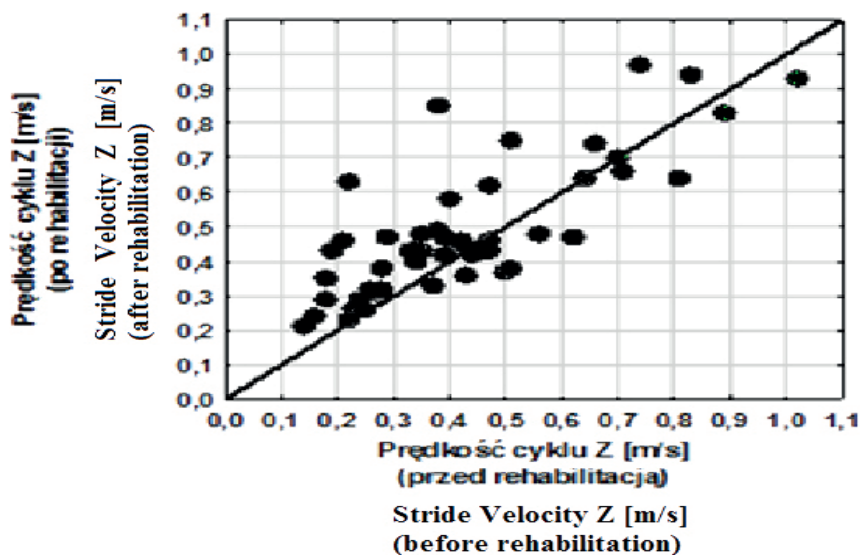
The findings related to swing phase velocity are listed in Table 5. It was shown that after rehabilitation there was an improvement, i.e. an increase in swing phase velocity on the paretic side in majority of patients. The mean increase in swing phase velocity on the paretic side was at the level of 0.12 m/s. The effect of rehabilitation was

cji był istotny statystycznie – $p = 0,0019$. Zbliżone wyniki uzyskano w zakresie prędkości cyklu chodu po stronie zdrowej, w wyniku rehabilitacji nastąpił wzrost średnio o 0,06 m/s, a efekt rehabilitacji był istotny statystycznie – $p = 0,0052$ (tabela 4). Jak wynika z badań, pozytywna zmiana dotyczyła większości pacjentów, choć było również kilka osób, u których zanotowano dość znaczne spadki prędkości cyklu chodu po stronie zdrowej (rycina 2).

Table 4. Stride Velocity [m/s]

Tabela 4. Prędkość cyklu chodu [m/s]

Prędkość cyklu chodu – kończyna niedowładna [m/s]/ Stride Velocity - affected side [m/s]	\bar{x}	Me	s	min	max
przed rehabilitacją/ before rehabilitation	0,43	0,40	0,20	0,14	1,01
po rehabilitacji/ after rehabilitation	0,48	0,44	0,19	0,20	0,96
efekt rehabilitacji ($p = 0,0019$)/ rehabilitation effect	0,05	0,04	0,11	-0,17	0,36
Prędkość cyklu chodu – kończyna zdrowa [m/s]/ Stride Velocity - unaffected side [m/s]					
przed rehabilitacją/ before rehabilitation	0,43	0,40	0,20	0,14	1,02
po rehabilitacji/ after rehabilitation	0,49	0,44	0,19	0,21	0,97
efekt rehabilitacji ($p = 0,0052$)/ rehabilitation effect	0,06	0,04	0,13	-0,17	0,47



Rycina 2. Prędkość cyklu chodu [m/s] – kończyna zdrowa (Z)

Figure 2. Stride Velocity [m/s] – unaffected side (Z)

Table 5. Prędkość fazy przenoszenia [m/s]

Tabela 5. Swing Velocity [m/s]

Prędkość fazy przenoszenia – kończyna niedowładna [m/s]/ Swing Velocity – affected side [m/s]	\bar{x}	Me	s	min	max
przed rehabilitacją/ before rehabilitation	0,88	0,77	0,44	0,28	2,31
po rehabilitacji/ after rehabilitation	1,00	1,00	0,43	0,19	2,23
efekt rehabilitacji ($p = 0,0017$)/ rehabilitation effect	0,12	0,14	0,25	-0,57	0,61
Prędkość fazy przenoszenia – kończyna zdrowa [m/s]/ Swing Velocity – unaffected side [m/s]					
przed rehabilitacją/ before rehabilitation	1,02	0,96	0,44	0,27	2,48
po rehabilitacji/ after rehabilitation	1,08	1,04	0,47	0,31	2,79
efekt rehabilitacji ($p = 0,0711$)/ rehabilitation effect	0,06	0,11	0,29	-0,65	0,63

statistically significant – $p = 0,0017$. Analysis of swing phase velocity on the unaffected side showed slightly different results for this parameter. Mean swing phase velocity before rehabilitation was at the level of 1.02 m/s, and after rehabilitation it increased only to 1.08 m/s – the effect was statistically insignificant ($p = 0,0711$).

Discussion

A review of literature suggests that numerous researchers use gait velocity as the main tool for assessing gait function, and they report that after stroke gait velocity is reduced [5,6,13-16]. This observation was a motivating factor to carry out the present study which was designed to answer the question whether gait training with the use of treadmill will enable significant improvement in gait velocity in patients with post-stroke hemiplegia.

Gait velocity is a simple, yet very important parameter of gait in patients with hemiplegia after stroke. By reference to the normative values proposed by Bohannon, on average gait velocity in senior citizens within the same age range as the study group amounts to approx. 1.3 m/s [17]. The present study showed that mean gait velocity in the patients, before the rehabilitation program was initiated, was at the level of 0.59 m/s, and after the program was completed the parameter increased to 0.74 m/s. Ada et al. claim that as a result of rehabilitation process a significant part of patients after stroke regain the ability to walk independently to a certain degree, even though effectiveness of their gait is low. On average gait velocity in individuals after stroke is approx. 0.5 m/s, ranging from 0.3 to 0.8 m/s [18]. Decrease in gait velocity is associated with significant limitations related to involvement in daily life. Restoration of independent locomotion makes it possible for patients after stroke to be less dependent on their families and friends and to be actively involved in the life of their community [18,19]. One of the most promising methods for gait improvement in rehabilitation of patients after stroke is treadmill training as it enables improvement in gait parameters and produces beneficial effects at an early and at a chronic stage after stroke onset [19–21]. According to Dean and co-authors treadmill training is a specific task which provides an opportunity to practice complete gait cycles with multiple repetitions rather than isolated movements. They also argue that treadmill training makes it possible to restore symmetrical gait pattern and to achieve better results in comparison to overground walking programs [22]. Similar results of treadmill walking were reported by Sullivan et al. They demonstrated that patients after stroke who practiced walking with the use of treadmill achieved greater improvement – by 28.6%, in comparison to patients performing overground walking tasks [23].

The present study demonstrated that treadmill training led to significant improvement in gait velocity assessed both with qualitative method during a walk test and with

W tabeli 5 przedstawiono wyniki w zakresie prędkości fazy przenoszenia. Wykazano, że po rehabilitacji nastąpiła poprawa, czyli wzrost prędkości fazy przenoszenia po stronie niedowładnej u większości pacjentów. Średni przyrost prędkości fazy przenoszenia po stronie niedowładnej wyniósł 0,12 m/s. Efekt rehabilitacji był istotny statystycznie – $p = 0,0017$. Analizując prędkość fazy przenoszenia po stronie zdrowej wykazano nieco odmienne wyniki dla tego parametru. Średnia prędkości fazy przenoszenia przed rehabilitacją wynosiła 1,02 m/s, natomiast po rehabilitacji wzrosła jedynie do 1,08 m/s – efekt ten nie był istotny statystycznie ($p = 0,0711$).

Dyskusja

Na podstawie przeglądu piśmiennictwa można stwierdzić, że liczni autorzy wykorzystują prędkości chodu jako główne narzędzie oceny funkcji chodu, donosząc, że prędkość chodu po udarze mózgu ulega zmniejszeniu [5, 6, 13–16]. To spostrzeżenie stało się motywacją do podjęcia niniejszych badań, których celem jest odpowiedź na pytanie czy trening chodu z wykorzystaniem bieżni ruchomej wpłynie na istotną poprawę w zakresie prędkości chodu u pacjentów z niedowładem połowicznym po udarze mózgu.

Prędkość chodu jest prostym, ale bardzo ważnym parametrem chodu u pacjentów z niedowładem połowicznym po udarze mózgu. Odnosząc się do wartości normatywnych podanych przez Bohannon, przeciętna prędkość chodu dla osób starszych w tym samym przedziale wiekowym co grupa badana wynosi około 1,3 m/s [17]. W badaniach własnych wykazano, iż średnia prędkość chodu pacjentów przed rozpoczęciem programu rehabilitacji wynosiła 0,59 m/s, natomiast po zakończeniu programu wzrosła do 0,74 m/s. Ada i współautorzy podają, że znaczna część pacjentów po udarze mózgu w procesie rehabilitacji odzyskuje pewien poziom niezależnego chodu, choć często jest on mało efektywny. Średnia prędkość chodu osób po udarze mózgu wynosi około 0,5 m/s, w zakresie pomiędzy 0,3–0,8 m/s [18]. Zmniejszenie prędkości chodu wpływa na znaczne ograniczenie uczestnictwa w życiu codziennym. Wiele osób po udarze mózgu nie jest w stanie chodzić na tyle szybko, aby bezpiecznie przejść przez ulicę. Konsekwencją słabej wydolności i prędkości chodu jest pogorszenie jakości życia, w tym ograniczenie funkcjonowania poza domem. Odzyskanie niezależnej lokomocji pozwala pacjentom po udarze mózgu na mniejszą zależność od rodziny i przyjaciół i aktywne uczestnictwo w życiu społecznym [18, 19]. Jednym z najbardziej obiecujących sposobów poprawy chodu w rehabilitacji pacjentów po udarze mózgu jest trening na bieżni ruchomej, wpływający na polepszenie parametrów chodu i dający dobre efekty w okresie wczesnym, jak i późnym od wystąpienia udaru [19–21]. Dean i współautorzy podają, iż trening na bieżni jest specyficznym zadaniem, które umożliwia ćwiczenie całych cykli chodu z wielokrotnymi powtórzeniami zamiast

quantitative, objective method based on 3-dimensional gait analysis. Given the above, the study has confirmed that gait velocity is a useful measuring tool enabling assessment of gait re-education in patients with chronic stroke.

Likewise, Krekora and co-authors assessed usefulness of gait velocity measurement in monitoring gait re-education in patients with spastic paresis after stroke. They reported that velocity measurement method is an effective tool for gait assessment, which is useful in monitoring progress in rehabilitation [24]. Kuys et al. demonstrated that by adding treadmill training to the rehabilitation program designed for patients after stroke it is possible to achieve improvement in gait velocity. Those qualified for the study included 30 patients after stroke whose rehabilitation program was supplemented with 30-minute treadmill training. The control group participated in a conventional rehabilitation program. The assessments were carried out three times: before the start of the exercise, directly after the program ended and as a follow-up 3 months later. The authors reported that the patients from the study group, participating in the rehabilitation regime supplemented with treadmill training achieved greater increase in gait velocity, on average by 0.18 m/s. In order to assess long-term effects of treadmill training, a follow-up examination was carried out 3 months after the rehabilitation program was completed. The authors demonstrated that the patients from the study group, who had practiced treadmill walking, 3 month later were able to walk with a velocity 0.26 m/s higher than the patients from the control group [25]. Similarly, Langhammer et al. reported that treadmill training enabled improvement of temporospatial parameters, including gait velocity, in patients with chronic stroke. The authors demonstrated significant differences in favour of patients practicing gait with the use of treadmill related to improvements in gait velocity, as well as step width and length, which suggests an increase in the symmetry of gait pattern [26]. Patterson and co-authors also assessed the relationship of treadmill training and temporospatial gait parameters in patients with chronic stroke. The study group included 39 subjects with post-stroke hemiplegia. There was an increase in gait velocity by 22%, in step length by 13% and in cadence by 7%. The reported findings show that treadmill training enabled beneficial changes in temporospatial gait parameters in patients with chronic stroke [21]. Macko et al. conducted a randomized study in which they demonstrated that treadmill training applied without focus on gait pattern improvement, led not only to enhanced cardiovascular efficiency but also to an increase in gait velocity in patients, on average, 3 years after onset of stroke [27]. Similar effects were observed by Reisman and co-authors. After 30-minute treadmill training applied 3 days a week for 4 weeks, gait velocity increased at the end of the training from 0.71 m/s to 0.81 m/s, and then to 0.86 m/s a month later. These findings suggest that a

pojedynczych ruchów. Twierdzą również, że trening na bieżni ruchomej wpływa na odtwarzanie symetrycznego wzorca chodu i pozwala na uzyskanie lepszych efektów w porównaniu do chodu po naturalnym podłożu [22]. Podobne rezultaty ćwiczeń na bieżni ruchomej uzyskali w swoich badaniach Sullivan i współautorzy. Wykazali, że pacjenci po udarze mózgu, którzy trenowali chód na bieżni uzyskali większą poprawę prędkości chodu – o 28,6% w porównaniu z pacjentami poruszającymi się po naturalnym podłożu [23].

W badaniach własnych wykazano, że trening na bieżni ruchomej wpłynął na istotną poprawę w zakresie prędkości chodu ocenionej zarówno metodą jakościową w teście drogi, jak i metodą ilościową, obiektywną z wykorzystaniem 3-wymiarowej analizy chodu. W związku z powyższym przeprowadzone badania potwierdziły, że prędkość chodu jest przydatnym narzędziem pomiarowym w zakresie oceny reedukacji chodu u pacjentów w okresie późnym po udarze mózgu.

Podobnie Krekora i współautorzy w swoich badaniach dokonali oceny przydatności pomiaru prędkości w monitorowaniu reedukacji chodu pacjentów z niedowładem spastycznym po udarze mózgu. Wykazali, iż metoda pomiaru prędkości jest dobrym narzędziem do oceny chodu, przydatnym w monitorowaniu postępów rehabilitacji [24]. Kuys i współautorzy wykazali, że uzupełnienie programu rehabilitacji pacjentów po udarze mózgu o trening na bieżni ruchomej wpływa na poprawę prędkości chodu. Do badania zakwalifikowano 30 pacjentów po udarze mózgu, których program rehabilitacji uzupełniono o 30-minutowy trening na bieżni. Grupa kontrolna otrzymała konwencjonalny program rehabilitacji. Badanie wykonano trzykrotnie, początkowe przed rozpoczęciem ćwiczeń, kontrolne bezpośrednio po zrealizowaniu programu i po 3 miesiącach od zakończenia. Autorzy wykazali, że pacjenci z grupy badanej, których program rehabilitacji uzupełniono o treningi na bieżni ruchomej uzyskali istotnie większy wzrost prędkości chodu, średnio o 0,18 m/s. W celu oceny odległych efektów treningu na bieżni ruchomej przeprowadzono również badanie po 3 miesiącach od zakończenia programu rehabilitacji. Autorzy wykazali, że pacjenci z grupy badanej, którzy trenowali chód na bieżni po 3 miesiącach przemieszczali się z prędkością o 0,26 m/s większą niż pacjenci z grupy kontrolnej [25]. Podobnie Langhammer i współautorzy podają, że trening na bieżni ruchomej wpływa na poprawę parametrów czasowo-przestrzennych, w tym prędkości chodu u pacjentów w okresie późnym po udarze mózgu. Autorzy wykazali istotne różnice na korzyść grupy pacjentów trenujących chód na bieżni w zakresie poprawy prędkości chodu, długości i szerokości kroków, co wskazuje na zwiększenie symetryczności wzorca chodu [26]. Również Patterson i współautorzy podjęli się oceny wpływu treningu na bieżni ruchomej na parametry czasowo-przestrzenne chodu pacjentów w okresie późnym po udarze

short but intensive rehabilitation program with the use of treadmill may be applied in physiotherapeutic practice and may contribute to long-term gait improvement in patients after stroke [20].

The present findings show that gait velocity, assessed either with the use of simple, quick and cost-effective clinical methods or with the aid of advanced, computerized gait analysis, may serve as a tool for assessing gait quality in patients with post-stroke hemiplegia.

Conclusions

It was demonstrated that rehabilitation program with the use of treadmill enabled significant improvement in gait velocity, stride velocity and swing phase velocity in patients with chronic stroke. Gait velocity is a practical and simple tool to be applied for monitoring of progress in rehabilitation and for assessing effects of gait re-education in patients with hemiplegia in a chronic stage after stroke.

mózgu. Do badania zakwalifikowano 39 osób z niedowładem połowicznym po udarze mózgu. Zanotowano wzrost prędkość chodu o 22%, długości kroku o 13% i częstości kroków o 7%. Uzyskane wyniki wskazują, że trening na bieżni ruchomej wpłynął na korzystne zmiany w parametrach czasowo-przestrzennych chodu u pacjentów w okresie późnym po udarze mózgu [21]. Macko i współautorzy przeprowadzili randomizowane badania, w których wykazali, że trening na bieżni ruchomej prowadzony bez nacisku na poprawę wzorca chodu wpływa nie tylko na zwiększenie wydolności układu sercowo-naczyniowego, ale również na wzrost prędkości chodu pacjentów w okresie późnym, średnio 3 lata po udarze mózgu [27]. Podobne efekty w swoich badaniach uzyskali Reisman i współautorzy. Po zastosowaniu 30-minutowego treningu na bieżni ruchomej, 3 dni w tygodniu przez 4 tygodnie, prędkość chodu zwiększyła się bezpośrednio po zakończeniu treningu z 0,71 m/s do 0,81 m/s, i do 0,86 m/s miesiąc później. Wyniki te wskazują, że krótki, ale intensywny program rehabilitacji z wykorzystaniem bieżni ruchomej może być wykorzystywany w praktyce fizjoterapeutycznej i może prowadzić do utrzymania się długoterminowych efektów poprawy chodu pacjentów po udarze mózgu [20].

Wyniki badań własnych wskazują, że prędkość chodu oceniona zarówno przy użyciu prostych, szybkich, nieskosztownych metod klinicznych, jak i z wykorzystaniem nowoczesnej, skomputeryzowanej analizy chodu może stanowić odpowiednie narzędzie do oceny jakości chodu pacjentów z niedowładem połowicznym po udarze mózgu.

Wnioski

Wykazano, że program rehabilitacji z wykorzystaniem bieżni ruchomej wpłynął na istotną poprawę w zakresie prędkości chodu, prędkości cyklu chodu oraz prędkości fazy przenoszenia u pacjentów w okresie późnym po udarze mózgu. Prędkość chodu jest użytecznym i prostym narzędziem, przydatnym w monitorowaniu postępów rehabilitacji i umożliwiającym ocenę efektów reedukacji chodu pacjentów z niedowładem połowicznym w okresie późnym po udarze mózgu.

Bibliography / Bibliografia

1. Mendis S. Stroke disability and rehabilitation of stroke: World Health Organization perspective. *Int J Stroke* 2013;8:3–4.
2. Kang TW, Lee JH, Cynn HS. Six-Week Nordic Treadmill Training Compared with Treadmill Training on Balance, Gait, and Activities of Daily Living for Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2016;25(Suppl 4):848–56.
3. Charalambous CC, Bonilha HS, Kautz SA, Gregory CM, Bowden MG. Rehabilitating walking speed poststroke with treadmill-based interventions: a systematic review of randomized controlled trials. *Neurorehabil Neural Repair* 2013;27(Suppl 8):709–21.
4. Patterson KK, Nadkarni, NK, Black SE, McIlroy WE. Temporal gait symmetry and velocity differ in their relationship to age. *Gait Posture* 2012;35(Suppl 4):590–594.
5. Dickstein R. Rehabilitation of Gait Speed After Stroke: A Critical Review of Intervention Approaches. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 2008;22(Suppl 6):649–660.
6. Lamontagne A, Fung J. Faster is better: implications for speed-intensive gait training after stroke. *Stroke* 2004;35:2543–2548.
7. Lu X, Hu N, Deng S, Li J, Qi S, Bi S. The reliability, validity and correlation of two observational gait scales assessed by video tape for Chinese subjects with hemiplegia. *J Phys Ther Sci* 2015;27(Suppl 12):3717–21.

8. Schmid A, Duncan PW, Studenski S. Improvements in speed-based gait classifications are meaningful. *Stroke* 2007;38(Suppl 7):2096-2100.
9. Tenore N, Fortugno F, Viola F, Galli M, Giaquinto S. Gait Analysis as a Reliable Tool for Rehabilitation of Chronic Hemiplegic Patients. *Clin Exp Hypertens* 2006;28:349-355.
10. Patterson KK, Nadkarni NK, Black SE, McIlroy WE. Temporal gait symmetry and velocity differ in their relationship to age. *Gait Posture* 2012;35(Suppl 4):590–594.
11. Bohannon RW, Andrews AW, Glenney SS. Minimal clinically important difference for comfortable speed as a measure of gait performance in patients undergoing inpatient rehabilitation after stroke. *J Phys Ther Sci* 2013; 25(Suppl 10):1223-5.
12. Cesari M, Kritchevsky SB, Penninx BW, et al. Prognostic value of usual gait speed in well-functioning older people--results from the Health, Aging and Body Composition Study. *J Am Geriatr Soc* 2005;53(Suppl 10):1675-80.
13. Fritz S, Lusardi M. White paper: "walking speed: the sixth vital sign". *J Geriatr Phys Ther* 2009;32(Suppl 2):46-9.
14. Pang EY, Fong SS, Tse MM, Tam EW, Ng SS, So BC. Reliability and validity of the sideways step test and its correlation with motor function after stroke. *J Phys Ther Sci* 2015;27(Suppl 6):1839-45.
15. von Schroeder HP, Coutts RD, Lyden PD, Billings E Jr, Nickel VL. Gait parameters following stroke: a practical assessment. *J Rehabil Res Dev* 1995; 32(Suppl 1):25-31.
16. Kwakkel G, Wagenaar RC. Effect of duration of upper- and lower-extremity rehabilitation sessions and walking speed on recovery of interlimb coordination in hemiplegic gait. *Phys Ther* 2002;82(Suppl 5):432-48.
17. Bohannon RW. Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20–79 years: reference values and determinants. *Age Ageing* 1997;26(Suppl 1):15-9.
18. Ada L, Dean CM, Lindley R, Lloyd G. Improving community ambulation after stroke: the AMBULATE Trial. *BMC Neurol* 2009;11(Suppl 9):1-6.
19. Eng JJ, Tang PF. Gait training strategies to optimize walking ability in people with stroke: A synthesis of the evidence. *Expert Rev Neurother* 2007;7(Suppl 10):1417–1436.
20. Reisman DS, McLean H, Bastian AJ. Split-belt treadmill training poststroke: a case study. *J Neurol Phys Ther* 2010;34(Suppl 4):202-7.
21. Patterson SL, Rodgers MM, Macko RF, Forrester LW. Effect of treadmill exercise training on spatial and temporal gait parameters in subjects with chronic stroke: a preliminary report. *J Rehabil Res Dev* 2008;45:221–228.
22. Dean CM, Ada L, Bampton J, Morris ME, Katrak PH, Potts S. Treadmill walking with body weight support in subacute non-ambulatory stroke improves walking capacity more than overground walking: a randomised trial. *J Physiother* 2010;56(Suppl 2):97-103.
23. Sullivan KJ, Knowlton BJ, Dobkin BH. Step training with body weight support: effect of treadmill speed and practice paradigms on poststroke locomotor recovery. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83:683-91.
24. Krekora K, Czernicki J. Przydatność pomiaru prędkości w monitorowaniu reedukacji chodu u chorych z niedowładem spastycznym po udarze mózgu. *Balneol Pol* 2009;51(Suppl 1):40-45.
25. Kuys SS, Brauer SG, Ada L. Higher-intensity treadmill walking during rehabilitation after stroke in feasible and not detrimental to walking pattern or quality: a pilot randomized trial. *Clin Rehabil* 2011;25(Suppl 4):316-26.
26. Langhammer B, Stanghelle JK. Exercise on a treadmill or walking outdoors? A randomized controlled trial comparing effectiveness of two walking exercise programmes late after stroke. *Clin Rehabil* 2010;24(Suppl 1):46-54.
27. Macko RF, Ivey FM, Forrester LW, et al. Treadmill exercise rehabilitation improves ambulatory function and cardiovascular fitness in patients with chronic stroke: A randomized, controlled trial. *Stroke* 2005;36(Suppl 10):2206–11.