

# Analiza wartości składowej pionowej siły reakcji podłoża oraz indeksu symetryczności podczas chodu u chorych leczonych metodą Ilizarowa w celu egalizacji korekcji osi podudzia

Gait analysis in patients after lengthening and correction of tibia with Ilizarov technique

numer DOI 10.2478/v10109-010-0045-4

Małgorzata Morasiewicz<sup>1</sup>, Piotr Koprowski<sup>2</sup>, Zdzisława Wrzosek<sup>1</sup>, Szymon Dragan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu AWF we Wrocławiu

The Chair of Physiotherapy in Motor System Dysfunctions, University of Physical Education in Wrocław,

<sup>2</sup> Katedra i Klinika Ortopedii i Traumatologii Narządu Ruchu AM we Wrocławiu

The Chair and Clinic of Orthopaedics and Traumatology of The Motor System, Medical University in Wrocław

## Streszczenie:

Celem pracy była ocena wpływu zastosowania metody Ilizarowa na symetrię chodu. Materiał i metody: materiał kliniczny to 16 chorych leczonych metodą Ilizarowa z powodu nierówności oraz zaburzeń osi kończyny dolnej w obrębie podudzia w Klinice Ortopedii i Traumatologii Narządu Ruchu AM we Wrocławiu w latach 1995-2005. Badanych pacjentów podzielono na trzy grupy w zależności od etiologii schorzenia. W badaniach wykorzystano platformę pedobarograficzną firmy Zebris Medical GmbH umożliwiającą analizę trójwymiarowego rozkładu sił reakcji podłoża podczas chodu. Wnioski: 1. Przywrócenie anatomicznego kształtu i długości kończynie dolnej, za pomocą metody Ilizarowa, doprowadziło do poprawy funkcji chodu, zakładając, że jej wyznacznikiem jest symetria obciążania kończyn dolnych. 2. Etiologia skrócenia kończyny miała wpływ na wydolność funkcjonalną chodu jedynie podczas analizy siły  $F_{2_{max}}$ .

**Słowa kluczowe:** badanie chodu, metoda Ilizarowa, symetria chodu.

## Abstract:

Aim. Evaluation of the effects of the Ilizarov method on gait symmetry. Material and methods. 16 patients with limb length discrepancy and tibia deformation, treated with the Ilizarov technique in the 1st Clinic of Orthopaedics and Traumatology in Wrocław between 1995-2005 participated in this study. They were divided into three groups based on the etiology of the deformation. Gait analysis was performed by means of Pressure Distribution Measurement System (PDM-S) force-plate. Conclusions. 1. Correction and lengthening of the lower limb with the Ilizarov technique improved gait function, assuming that it corresponds with the symmetry of weight bearing. 2. The etiology of limb length discrepancy had a significant influence on gait function only when the second peak of the vertical ground-reaction-force vector was analysed.

**Key words:** gait analysis, Ilizarov method, gait symmetry.

## Wprowadzenie

Chód jest podstawowym i naturalnym sposobem poruszania się człowieka. Dwunożna lokomocja w tak doskonałej postaci dostępna jest jedynie człowiekowi. W pełni zautomatyzowany i ergonomiczny chód pojawia się u człowieka dopiero około siódmego roku życia. Stereotyp chodu danej osoby ulega jednak pewnym zmianom w zależności od stanu zdrowia, samopoczucia czy wieku [1]

Analiza chodu przysparza badaczom dużych trudności. Istnieje wiele metod oceny chodu, które najogólniej można podzielić na metody jakościowe oraz ilościowe, z których jedynie te drugie mają wymiar obiektywny i dają możliwość analizy statystycznej, co przyczynia się do podejmowania badań naukowych dotyczących analizy chodu [2, 3]. W badaniach chodu, brane mogą być pod uwagę zarówno parametry kinematyczne, jak i kinetyczne chodu.

## Introduction

Gait is the basic and natural means of moving around for man. Two-legged locomotion in such a perfect form is available only for human beings. Fully automatic and ergonomic gait is mastered around the age of seven. The stereotype gait of a particular person undergoes certain changes depending on their health condition, well-being and age [1].

Gait analysis causes problems for researchers. There are many methods of gait evaluation which may be in the most general sense divided into qualitative and quantitative and only the latter may be objective and therefore used for statistical analysis which contributes to undertaking scientific researches on gait analysis [2, 3]. While examining gait both kinematic and kinetic parameters may be taken into consideration.

Większość doniesień naukowych [4-6] na temat analizy laboratoryjnej chodu dotyczy chorych ze schorzeniami neurologicznymi, osób po amputacjach oraz sportowców. Natomiast stosunkowo mało publikacji istnieje na temat zastosowania analizy laboratoryjnej chodu u chorych z nierównością kończyn dolnych lub z zaburzeniami osi kończyn dolnych, mimo iż zaburzenie to występuje często i w znaczny sposób ogranicza zdolności lokomocyjne.

Skrócenie kończyny dolnej, w przypadku braku lub niepełnego wyrównania długości kończyn za pomocą obuwia ortopedycznego, wywołuje mechanizmy kompensacyjne w postaci:

- czynnościowego wydłużenia kończyny krótszej przez końskie ustawienie stopy,
- czynnościowego skrócenia kończyny dłuższej przez zgięcie jej w stawie kolanowym i biodrowym lub przez przeprost stawu kolanowego,
- dostosowania ustawienia miednicy do długości kończyn poprzez skośne jej ustawienie,
- funkcjonalnej skoliozy lędźwiowej [3],
- supinacji stopy krótszej kończyny, pronacji stopy dłuższej kończyny dolnej [7].

W przypadku nierównej długości kończyn dolnych i zaburzeń w obrębie ich osi dochodzi do przesunięcia środka ciężkości ciała, co doprowadza do wzmożonego napięcia mięśni posturalnych oraz do zwiększonego zapotrzebowania energetycznego związanego z utrzymaniem równowagi statycznej i dynamicznej ciała [8]. Kolejnym czynnikiem zaburzającym dynamikę chodu jest zmiana fazowości działania mięśni na skutek нефizjologicznego ustawienia miednicy i kończyn dolnych oraz asymetrycznego ustawienia stawów stępu i stawów kolanowych [9].

W późniejszym czasie, z powodu istniejącego skrócenia i związanej z nim formy kompensacji, u dzieci może dojść do niezborności stawu biodrowego, koślawości szyjki kości udowej, skłonności do podwichnięć stawu biodrowego dłuższej kończyny. U dorosłych natomiast na skutek przeciążeń dochodzi do zmian zwyrodnieniowo-zniekształcających stawów biodrowych i kręgosłupa (zwłaszcza odcinka lędźwiowego) oraz choroby dyskowej [10].

Skrócenie kończyny dolnej często współistnieje z wielopłaszczyznowymi zniekształceniami kończyn. W wyniku nieleczonych zniekształceń kończyn w płaszczyźnie czołowej pogłębiające się dolegliwości bólowe, związane z postępującymi procesami zwyrodnieniowymi, powodują również ograniczenie wydolności chodu oraz zwiększenie nakładów energetycznych podczas lokomocji [11].

Jedynie zastosowanie różnych metod operacyjnych, wydłużających i korygujących oś kończyn dolnych, może zminimalizować ryzyko powstania wymienionych następstw. Dzieje się tak, ponieważ wyrównanie skrócenia kończyny za pomocą aparatu ortopedycznego lub wkładki ortopedycznej pozwala jedynie na prawidłowe ustawienie miednicy, pozostawiając stawy kolanowy i skokowy na różnych wysokościach. Takie asymetryczne ustawienie stawów zaburza w znaczący sposób biomechanikę chodu.

Wskazaniem do leczenia operacyjnego jest skrócenie kończyny powyżej 3 cm, zaburzające chód i wymagające wyrównania butem ortopedycznym. Granica ta może ulec obniżeniu przy współistnieniu wymagających leczenia deformacji osiowych kończyny [12]. Najczęściej stosowaną metodą wydłużania kończyn jest metoda Ilizarowa, która pozwala na dokonanie całkowitej, jednoczesowej egalizacji kończyn dolnych oraz korekcji zaburzeń osi kończyn. Metoda ta, nazywana również metodą dystrykcyjnej osteogenezy, polega na przezskórnym przecięciu (osteotomii) kości i jej stopniowej dystrykcji, wykonywanej za pomocą podkręcania śrub będących elementem stabilizatora zewnętrznego. Aparat Ilizarowa pozwala na równoczesne

Most scientific reports [4-6] on laboratory analysis of gait concern patients with neurological diseases, people after amputations and sportsmen. However, there are relatively few publications on application of laboratory analysis of gait in patients with limb length discrepancy or disorders of the axis of lower limbs even though this disorder occurs frequently and significantly limits locomotor abilities.

Limb length discrepancy, in the case of none or not full compensation of the length by means of orthopaedic footwear causes compensation mechanisms in the form of:

- functional lengthening of the shorter limb by equine position of the foot,
- functional shortening of the longer limb by its flexing in the knee and hip joint or through hyperextension of the knee joint,
- adjusting of the pelvis position to the length of the limbs by its oblique positioning,
- functional lumbar scoliosis [3],
- supination of the foot of the shorter limb, pronation of the foot of the longer limb [7].

In the case of limb length discrepancy and disorders in the area of the limbs' axis the body's gravity centre gets shifted which leads to increased tension of postural muscles and increased energy demand related to maintaining static and dynamic body balance [8]. Another factor disturbing gait dynamics is changing of phases of muscle functioning due to non-physiological position of the pelvis and lower limbs and asymmetric position of the ankle and knee joints [9].

Later on due to the existing shortening and related to it compensation form the following may occur in children: ataxia of the hip joint, valgus of the neck of the femur, tendency to subluxations of the hip joint of the longer limb. In adults, however, as a result of overloading there may be degenerative changes deforming the hip joints and spine (especially lumbar section) and disc disease [10].

Limb length deficiency is often accompanied by multidimensional deformations of the limbs. As a result of not treated deformations of the limbs in the frontal plane, increased pain symptoms related to progressing degenerative changes cause also limitation of gait efficiency and increasing of energy demand during locomotion [11].

Only using various forms of operative treatments, lengthening and correcting the axis of the lower limbs may reduce the risk of the aforementioned consequences. This occurs because compensation of limb length deficiency by means of an orthopaedic device or insole allows only to position the pelvis correctly leaving the tarsal and knee joints at various levels. Such asymmetric position of the joints significantly disturbs gait biomechanics.

An indication for surgical treatment is limb length deficiency over 3 cm, disturbing gait and requiring compensation by means of orthopaedic footwear. That requirement may be lower, if there are coexisting axial deformations of the limb which require treatment [12]. The most frequently used method of limb lengthening is the Ilizarov technique which allows total, one-time equalisation of the lower limbs and correction of disorder of the limbs' axis. The technique is also called a method of distractive osteogenesis and it consists in transcuteaneous osteotomy of the bone and its gradual distraction carried out by twisting the screws which are the elements of an internal stabiliser. The Ilizarov's apparatus enables simultaneous stretching of the osseous fragments and multidimensional and multidirectional correction of the limb's axis.

rozciąganie odłamów kostnych oraz wielopłaszczyznową i wielokierunkową korekcję osi kończyny. Po okresie rozciągania następuje okres stabilizacji, w którym dochodzi do przebudowy regeneratu kostnego, a następnie aparat jest zdejmowany, a chory usprawniany [13].

### Założenia i cel pracy

Celem pracy była ocena wpływu wyrównania długości kończyn dolnych i korekcji osi podudzia na wybrane parametry chodu. W pracy przyjęto kilka założeń:

1. Funkcja chodu jest specyficzną zdolnością motoryczną człowieka, uzależnioną w dużym stopniu od prawidłowej budowy anatomicznej kończyn dolnych [14].
2. Etiologia skrócenia kończyny dolnej wpływa między innymi na wytworzone zdolności kompensacyjne organizmu, zmieniające wydolność funkcjonalną chodu [15].
3. Egalizacja i korekcja osi kończyny dolnej w obrębie podudzia przyczynia się do poprawy wydolności funkcjonalnej chodu [16].

### Materiał badawczy

Grupa badawcza liczyła 23 chorych, spośród których ostateczną analizą wyników objęto 16 osób, leczonych metodą Ilizarowa z powodu nierówności oraz zaburzeń osi kończyny dolnej w obrębie podudzia w Klinice Ortopedii i Traumatologii Narządu Ruchu AM we Wrocławiu w latach 1995-2005, u których zakończono proces egalizacji i korekcji osi kończyn. Zabieg wydłużania kończyn zastosowany był u 16 chorych, spośród których u 12 chorych (75%) skróceniu podudzia towarzyszyły jego deformacje jedno- lub wielopłaszczyznowe, w tym we wszystkich przypadkach w płaszczyźnie czołowej. Deformacje te korygowano w czasie wydłużania kończyny.

Kwalifikacja osób biorących udział w badaniu odbyła się na podstawie wywiadu, badania fizykalnego, analizy dokumentacji medycznej i rentgenogramów pomiarowych wykonanych przed i po leczeniu.

Do badania zostały zakwalifikowane osoby spełniające następujące warunki:

- różnica długości kończyn dolnych po zakończeniu leczenia nie przekraczająca 2 cm, brak zaburzeń osi kończyny dolnej, wymagających dalszej korekcji,
- zakończony wzrost kostny w momencie badania,
- więcej niż 6 miesięcy od usunięcia stabilizatora zewnętrznego po zabiegu operacyjnym w obrębie kończyn dolnych lub po urazie kończyny dolnej wymagającym unieruchomienia lub odciążania,
- brak dolegliwości bólowych w obrębie kończyn dolnych lub kręgosłupa ograniczającego zdolności lokomocyjne chorego.

Z powodu niespełnienia wszystkich z powyższych warunków szczegółową analizą uzyskanych wyników nie objęto 7 pacjentów.

Analiza dokumentacji medycznej oraz wywiad z pacjentem pozwoliły na uzyskanie następujących informacji. Wiek chorych w chwili rozpoczęcia leczenia wynosił od 10 do 34 lat. Średnio 18,7 roku. U 5 osób dokonano zabiegu metodą Ilizarowa w obrębie obu kończyn dolnych, które wydłużano lub korygowano ich oś. Wielkości skrócenia wahały się od 1 do 5 cm, średnio wynosiły 2,9 cm. Troje pacjentów miało wydłużane lub korygowane podudzie podczas dwóch etapów leczenia. U pozostałych pacjentów wystarczający był jeden zabieg metodą Ilizarowa, by przywrócić prawidłową długość bądź skorygować oś kończyny. W celu analizy statystycznej badań pacjentów podzielono według przyczyny skróceń i zniekształceń osi na trzy grupy (tab. 1).

After the stretching phase there is a stage of stabilisation when rebuilding of the osseous regeneration occurs and then the apparatus is removed and the patients undergoes rehabilitation [13].

### Aims

The aim of the paper was to evaluate the effects of the limbs' equalisation and correction of the axis of shank on chosen gait parameters. The following assumptions were made:

1. Gait is a specific motor ability of a human being dependent to a large extent on correct anatomical structure of the lower limbs [14].
2. Etiology of lower limb length deficiency influences, among other this, the formed compensatory abilities of the body and thus it changes functional efficiency of gait [15].
3. Equalisation and correction of the axis of the lower limb in the area of shank contributes to improving of functional efficiency of gait [16].

### Material

The research group consisted of 23 patients, of whom 16 were undergone final analysis, treated by means of the Ilizarov technique due to limb length deficiency and axial disorders of the lower limb in the area of shank in whom the process of equalisation and axis correction was finished. The research was carried out in The 1st Clinic of Orthopaedics and Traumatology of the Motor System of the Medical University in Wrocław between 1995 and 2005. The lengthening procedure was carried out in a group of 16 patients, in 12 (75%) of them the length deficiency was accompanied by single or multidimensional deformations, in all those cases in the frontal plane. The deformations were corrected while lengthening the limb.

The patients were qualified for the research, if they met the following requirements:

- difference between the limbs not exceeding 2 cm after the therapy, no disorders of the lower limb's axis which would require further corrections,
- finished bone growth at the time of the examination,
- more than 6 months from removing of the internal stabiliser after the surgical procedures in the area of lower limbs or after lower limb injury requiring immobilisation or unloading,
- no pain in the area of lower limbs and the spine limiting locomotor abilities of the patient.

Due to not meeting the aforementioned requirements seven patients were excluded from the analysis.

The analysis of medical documentation and interview with the patients provided the following information: the age of the patients at the beginning of treatment was from 10 to 34 years, average 18.7 years. In five patients the Ilizarov technique was used on both lower limbs which were elongated or their axis was corrected. The volumes of length deficiencies ranged from 1 to 5 cm, average 2.9 cm. Three patients had their shanks corrected during two stages of the treatment. In the remaining patients one procedure by means of the Ilizarov method was sufficient in order to restore proper length or correct the axis of the limb. For the purpose of statistical analysis the patients were divided according to the causes of the length deficiencies and axial deformations into three groups (Tab. 1).

Tabela 1. Materiał badawczy

Table 1. Material

Etiologia <i>Etiology</i>	Ilość przypadków <i>Number of cases</i>	Średni wiek w chwili rozpoczęcia leczenia <i>Average age at the time of beginning treatment</i>	Średnia wielkość skrócenia <i>Average values of shortening</i>	Średnia liczba etapów leczenia <i>Average number of treatment stages</i>
Wrodzona <i>Congenital</i>	4	19,25	4	1,25
Rozwojowa (nabyta) <i>Developmental (acquired)</i>	6	15,33	2,25	1,17
Pourazowa <i>Post-traumatic</i>	6	21,67	2,92	1,17

## Metody badawcze

W badaniach wykorzystano aparaturę badawczą firmy Zebris Medical GmbH o powierzchni 320 x 470 mm posiadającą 1504 sensorów. Platforma w połączeniu poprzez USB z komputerem przenośnym wyposażonym w oprogramowanie FootPrint w wersji 1.2.4.9. umożliwia komputerową analizę dwu- i trójwymiarowego rozkładu sił reakcji podłoża podczas chodu oraz w warunkach statyki. Zestaw ten pozwolił na komputerową rejestrację kinetycznych parametrów chodu, które następnie zostały poddane analizie statystycznej [17,18].

Badanie polegało na przejściu przez badanego dystansu 3 m w dowolnym tempie po chodniku z zainstalowaną platformą pedobarograficzną, tak aby stopa całą powierzchnią następowała na platformę. Osoba badana poruszała się bez butów, a przed pierwszą próbą była ważona na wadze elektronicznej. Każdorazowo przed badaniem platforma była kalibrowana, a sam uczestnik badań był szczegółowo instruowany o sposobie badania. Zdjęcia przebiegu badania widoczne są na ryc. 1 a i b.

Pacjent wykonywał cztery próby dla każdej kończyny dolnej, z których jedna, najbardziej odbiegająca od pozostałych została odrzucona, natomiast z wyników trzech pozostałych prób obliczono średnią wartość tak, że uzyskano

## Method

The research used a device by Zebris Medical GmbH with the surface of 320 x 470 mm and fitted with 1504 sensors. The platform connected via USB port to a computer equipped with FootPrint 1.2.4.9 software enables computer analysis of two- and tri-dimensional distribution of the surface reactions during gait and in static conditions. The aforementioned setup allowed computer recording of kinetic gait parameters which were then undergone statistical analysis [17, 18].

The examination consisted in walking a distance of 3 meters at an individual pace over a walkway fitted with a pedobarographic platform in such a way that the foot touched the platform with its whole surface. The examined person was barefoot and was weighted on an electronic scale before the first trail. Before every examination the platform was calibrated and the patients were given detailed instructions concerning the examination. Photographs of the examination are presented in Figure 1 a and b.

The patient performed four trails for each lower limb from which one which varied most from others was excluded, and the results of the remaining three were used to calculate mean values, so that one result was obtained for each parameter for left and right lower limb.



Ryc.1 a i b. Przebieg badania na platformie

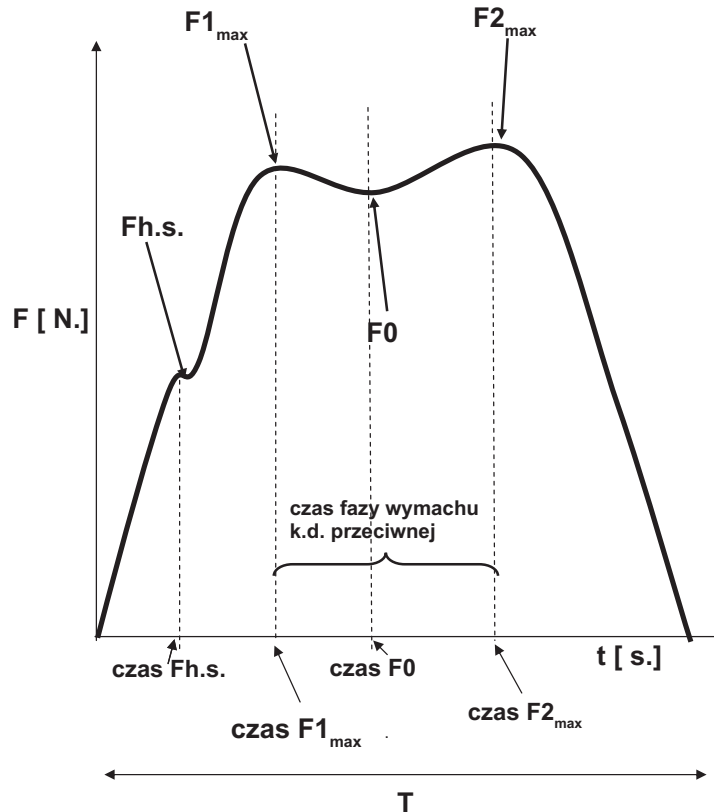
Fig. 1 a and b. Gait analysis with the use of Pressure Distribution Measurement System (PDM-S) force-plate

po jednym wyniku każdego parametru dla lewej i prawej kończyny dolnej.

Analizie poddano następujące parametry zarejestrowane przez platformę (ryc. 2):

The analysis covered the following parameters registered by the platform (Fig. 2):

- duration time of the contact of the foot with the surface [T],
- moment and value of the first heel strike on the graph



Ryc. 2. Parametry analizowane podczas badania na platformie pedobarograficznej  
Fig. 2. Parameters analysed during the gait analysis

- czas trwania kontaktu stopy z podłożem [T],
- moment i wartość pierwszego załamania na wykresie (heel strike), charakteryzujący styczność pięty z podłożem [czas Fh.s. i Fh.s.],
- moment i wartość pierwszego maksimum pionowej reakcji podłoża charakteryzujący sposób obciążania pięty [T1, F1],
- dynamika narastania siły od postawienia pięty do pierwszego maksimum [F1/T1],
- moment i wartość minimum pionowej reakcji podłoża charakteryzujący dynamikę wymachu kończyny przeciwnej [T0, F0],
- moment i wartość drugiego maksimum pionowej reakcji podłoża charakteryzujący sposób obciążania przodostopia i propulsję [T2 i F2],
- dynamika opadania siły od drugiego maksimum do odebrania stopy od podłoża [F2/(T - T2)],
- czas trwania fazy wymachu [8].

W badaniach analizowana była jedynie składowa pionowa siły reakcji podłoża, ponieważ wektor tej składowej w najlepszy sposób odzwierciedla ewentualne odchylenia od normy w chodzie fizjologicznym pacjentów po wydłużeniu i korekcji osi w obrębie podudzia [7].

Uzyskane parametry zostały znormalizowane. Czasy trwania poszczególnych faz cyklu chodu zostały przedstawione w postaci procentowego udziału w czasie trwania fazy podporu. Wartości reakcji sił podłoża zostały przeliczone względem ciężaru ciała badanego i przedstawione jako odsetek ciężaru ciała badanego.

Otrzymane parametry chodu kończyny zdrowej i operowanej zostały ze sobą porównane. Zakładając, że cechą

- characterising the contact of the foot and surface [Fh.s. time and Fh.s.],
- moment and value of the first peak of vertical ground reaction characterising the manner of heel loading [T1, F1],
- dynamics of strength intensifying from the moment of the heel touching the surface to the first peak [F1/T1],
- moment and value of the peak of vertical ground reaction characterising the dynamics of swing of the opposite limb [T0, F0],
- moment and value of the second peak of vertical ground reaction characterising the manner of loading the forefoot and propulsion [T2, F2],
- dynamics of decreasing of the force to the second peak of vertical ground reaction from severing the contact between the foot and the surface [F2/(T - T2)],
- duration time of the swing phase [8].

Only the vertical element of the force of the ground reaction was analysed since vector of this element in the best way reflects possible deviations in physiological gait of the patients after elongation or correction of the axis in the shank [7].

The obtained parameters were normalised. Duration times of particular phases of the gait cycle were presented in the form of percentage involvement in the support phase. The values of ground reactions were calculated according to body mass and presented as percentage of body mass of the examined person.

The obtained gait parameters of the healthy and operated on limb were compared. Assuming that a correct characteristic of gait is its symmetry, the values registered on

prawidłowego chodu jest symetryczność, wartości zarejestrowane na platformie dla każdej z kończyn dolnych osoby zdrowej powinny być takie same.

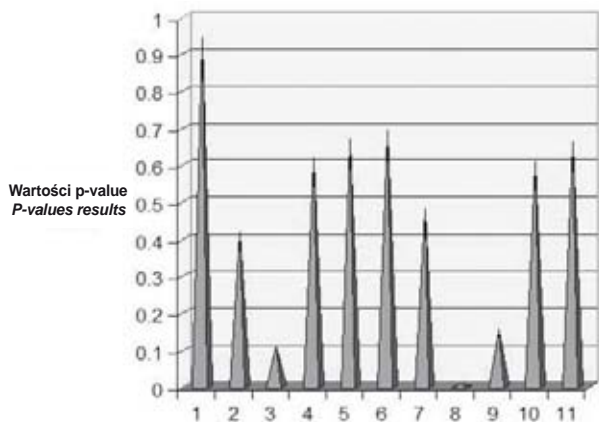
### Metody statystyczne

W celu porównania wartości średnich między operowanymi i nieoperowanymi kończynami oraz analizy wartości indeksu symetryczności dokonano odpowiedniej analizy statystycznej w programie Statistica 6.0. Przeprowadzono kolejno test normalności Shapiro-Wilka, następnie test równości wariancji. Dopiero po weryfikacji normalności rozkładu oraz równości wariancji przeprowadzony został właściwy test, dwustronny test t-Studenta dla dwóch grup niezależnych. Wynikiem testu t-Studenta, obliczanego w programie Excel, była wartość p-value, która będzie poddana analizie przy omawianiu wyników.

Jedynie podczas analizy wartości indeksu symetryczności dla siły  $F2_{max}$  [%], w grupie wad wrodzonych i skręceń pourazowych, wynik testu t-Studenta dał słabe argumenty za przyjęciem hipotezy alternatywnej. Dlatego też przystąpiono do przeprowadzenia kolejnego testu statystycznego, jednostronnego testu t-Studenta.

### Omówienie wyników

Porównując średnie wartości między operowanymi a nieoperowanymi kończynami uzyskano wartości p-value widoczne na ryc. 3.



Ryc.3. Wartości p-value  
Fig. 3. P-values results

#### Wartość p-value:

0-0,01 – przekonujące argumenty za H1,  
0,01-0,05 – mocne argumenty za H1,  
0,05-0,1 – słabe argumenty za H1,  
0,1-1 – brak argumentów za H1.

H1 jest to hipoteza alternatywna mówiąca o nierówności średnich w dwóch grupach => ( $\bar{a} \neq \bar{b}$ ).

Po analizie wartości p-value można stwierdzić, iż jedynie wartość F2 (8 na ryc. 3) wykazała istotną statystycznie nierówność średnich w grupie operowanych i nieoperowanych kończyn. Kolejny wykonany jednostronny test t-Studenta wykazał, że średnie wartości  $F2_{max}$  w grupie operowanych kończyn są istotnie mniejsze od średnich wartości  $F2_{max}$  w grupie nieoperowanej. Pozostałe porównywane między grupami wartości p-value, nie wykazały istotnych statystycznie różnic, co można uznać za bardzo dobry wynik leczenia, bowiem testowanie statystyczne dowiodło, że egalizacja kończyn dolnych doprowadziła do powrotu prawidłowych wartości niemalże we wszystkich parametrach chodu.

the platform for each lower limb of a healthy person should be the same.

### Statistical methods

In order to compare mean values between the healthy and operated on limbs and carry out an analysis of the symmetry index values an appropriate statistical analysis in Statistica 6.0 software was performed. The Shapiro-Wilk test and the test of equality of variances were carried out. After verifying the normal distribution and equality of variances the proper, two-tailed t-Student test was carried out for two independent samples. The result of the test calculated in Excel was p value which will be analysed further in Results.

Only for the values of symmetry index for  $F2_{max}$  [%] in the group of congenital defects and post-traumatic shortenings the t-Student test results revealed poor arguments in favour of the alternative hypothesis. Therefore the one-tailed t-Student test was carried out.

### Discussion of results

The p values obtained after comparing the mean values between the operated and not operated limbs are presented in Figure 3.

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| 1 – dynamika narastania F1 [N/s]<br>dynamics of growth F1 [N/s]       | 7 – czas F1 [s]<br>time F1[s]       |
| 2 – dynamika opadania F2 [N/s]<br>dynamics of decrease F2 [N/s]       | 8 – wartość F2 [N]<br>F2 [N] value  |
| 3 – czas trwania fazy wymachu [s]<br>duration time of swing phase [s] | 9 – czas F2 [s]<br>F2 [s] time      |
| 4 – wartość Fhs [N]<br>Fhs [N] value                                  | 10 – wartość F0 [N]<br>F0 [N] value |
| 5 – czas Fhs [s]<br>time Fhs [s]                                      | 11 – czas F0 [s]<br>F0 [s] time     |
| 6 – wartość F1 [N]<br>F1 [N] value                                    |                                     |

#### Results p-value:

0-0.01 – convincing arguments in favour of H1,  
0.01-0.05 – strong arguments in favour of H1,  
0.05-0.1 – poor arguments in favour of H1,  
0.1-1 – no arguments in favour of H1.  
H1 is an alternative hypothesis describing inequality of mean in two samples => ( $\bar{a} \neq \bar{b}$ ).

After the analysis of the p values it may be stated that only F2 value (8 on Figure 3) showed statistically significant inequality of mean values in the group of operated on and non-operated limbs. The consecutively carried out single-tailed t-Student test revealed that the average  $F2_{max}$  values in the group of operated on limbs were significantly lower than the average  $F2_{max}$  values in the group of non-operated on limbs. Other p values compared between the groups showed no statistically significant differences what may be assumed to be a very good result of the treatment since statistical testing proved that equalisation of the lower limbs resulted in restoration of correct values of almost all gait parameters.

**Analiza wartości indeksu symetryczności**

U badanych osób wyliczono indeks symetryczności według następującego wzoru:

$$SI [\%] = (Xp - XI) / (Xp + XI) * 200$$

SI – indeks symetryczności,

Xp – liczona wartość dla prawej kończyny,

XI – liczona wartość dla lewej kończyny.

Interpretacja indeksu symetryczności wygląda następująco: im wartość bliższa zeru, tym większa symetryczność danego parametru między obiema kończynami, natomiast im dalsza, tym większa asymetria. Jeżeli wartości są dodatnie, większe wartości badanej cechy występują w kończynie prawej, jeżeli ujemne, w kończynie lewej [19].

Osoby badane podzielone zostały na trzy grupy ze względu na etiologię schorzenia. Porównano, czy średnie wartości indeksu symetryczności w badanych grupach istotnie różniły się od siebie czy też nie. Analiza wyników testu statystycznego dowiodła, że średnia wartość indeksu symetryczności siły F2<sub>max</sub> była istotnie większa w grupie wad wrodzonych niż w grupie skręceń pourazowych.

Opierając się na wyżej wymienionej interpretacji można stwierdzić, że w grupie wad wrodzonych występowały większe asymetrie niż w dwóch pozostałych grupach w zakresie wartości siły F2<sub>max</sub>. Analizowane bezwzględne wartości indeksu symetryczności przedstawia ryc. 4.

Po interpretacji wartości symmetry index w poszczególnych badanych grupach można przyjąć, iż największe

**Analysis of the values of the symmetry index**

The symmetry index for the examined people was calculated according to the following formula:

$$SI [\%] = (Xp - XI) / (Xp + XI) * 200$$

SI – symmetry index,

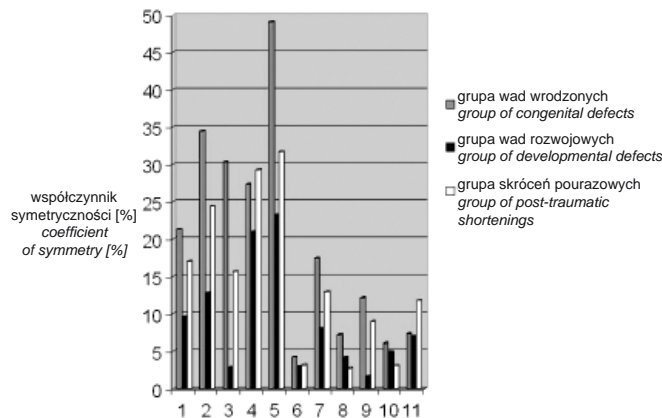
Xp – value calculated for the right limb,

XI – value calculated for the left limb.

Interpretation of the symmetry index goes as follows: the lower the value, the greater the symmetry of a particular parameter between both limbs, whereas the higher the value, the greater the asymmetry. If the values are positive, greater values of the examined parameter occur in the right limb, and if the values are negative, then in the left limb [19].

The examined were divided into three groups according to the ethiology of their disease. The average values of the symmetry index in the examined groups were compared in order to verify whether they were significantly different or not. The analysis of the statistical test showed that average values of the symmetry index of F2<sub>max</sub> force were significantly greater in the congenital defects group than in the post-traumatic shortenings group.

Basing on the aforementioned interpretation it may be stated that in the congenital defects group there were greater asymmetries than in the two remaining groups as far as F2<sub>max</sub> force is concerned. The analysed absolute values of the symmetry index are presented in Figure 4.



Ryc. 4. Wartości indeksu symetryczności  
Fig. 4. Symmetry Index results

wartości współczynnika symetryczności występowały w grupie wad wrodzonych, następną z kolei była grupa skręceń pourazowych, natomiast najmniejsze wartości, a co za tym idzie, największa symetria chodu występowała w grupie skręceń rozwojowych. Tego typu sytuację można wytłumaczyć faktem, że osoby, które od urodzenia miały nierówną długość kończyn, wyrobiły sobie pewien stereotyp ruchowy oraz uruchomiły mechanizmy kompensacyjne, które mimo egalizacji kończyn nie pozwoliły na uzyskanie pełnej symetryczności w chodzie. Osobom, które uległy wypadkom, ze względu na traumatyzację okolicznych tkanek również może być trudniej niż osobom z nabytym skróceniem kończyn odzyskać pełną symetrię chodu (ryc. 4).

**Dyskusja**

Uzyskane w badaniach wyniki wskazują na potwierdzenie założeń pracy o poprawie funkcji chodu na skutek zakończonego procesu leczenia metodą Ilizarowa. Według Tęsiorowskiego i wsp. [20] wydłużenie podudzia stanowi

- 1 – dynamika narastania F1 [N/s]      7 – czas F1 [s]
- dynamics of growth F1 [N/s]*      *time F1[s]*
- 2 – dynamika opadania F2 [N/s]      9 – wartość F2 [N]
- dynamics of decrease F2 [N/s]*      *F2 [N] value*
- 3 – czas trwania fazy wymachu [s]      9 – czas F2 [s]
- duration time of swing phase [s]*      *F2 [s] time*
- 4 – wartość Fhs [N]      10 – wartość F0 [N]
- Fhs [N] value*      *F0 [N] value*
- 5 – czas Fhs [s]      11 – czas F0 [s]
- time Fhs [s]*      *F0 [s] time*
- 6 – wartość F1 [N]
- F1 [N] value*

On the basis of interpretation of the values of the symmetry index in particular groups it may be assumed that the greatest values of the symmetry index occurred in the congenital defects group, then in the group of post-traumatic shortenings, whereas the lowest values and thus the greatest symmetry of gait occurred in the group of developmental shortenings. Such a situation may be explained by the fact that people who were born with limb length discrepancy have developed a certain motor stereotype and compensatory mechanisms which despite limb equalisation did not allow full symmetry of gait. People who have been in accidents due to traumatization of the surrounding tissues may find it more difficult to achieve full gait symmetry than those with congenital limb shortening.

**Discussion**

The obtained results confirm the hypothesis of the paper concerning the improvement of gait function as a result of the treatment by means of the Ilizarov technique. According to Tęsiorowski et al. [20] elongation of the shank

jeden z najmniejszych problemów ortopedycznych spośród wszystkich znanych metod elongacji kończyn, dlatego też w przypadku leczenia metodą Ilizarowa tego segmentu kończyny można się spodziewać znacznie lepszych wyników w porównaniu do innych segmentów. Tezę tą potwierdzają bardzo dobre wyniki leczenia metodą Ilizarowa w przebadanej grupie pacjentów.

Do nielicznych wartości, które wykazały istotnie statystycznie różnice w przeprowadzonych badaniach należała wartość siły  $F_{2_{max}}$  charakteryzująca sposób obciążania przodostopia oraz propulsję podczas chodu. Zmniejszona wartość siły  $F_{2_{max}}$  w kończynach operowanych, jaka wystąpiła w poddanej badaniom grupie, związana była prawdopodobnie z osłabieniem zginaczy podszwowych stopy, a dokładniej mięśnia trójgłowego łydki, który w największym stopniu odpowiada za fazę propulsji w chodzie oraz stabilizuje staw skokowy [7].

W badaniach przeprowadzonych przez Bhave'a i wsp. [7] jedynie u pacjentów przed wydłużaniem kończyny dolnej wykazano istotne zmniejszenie wartości drugiego szczytu siły reakcji podłoża świadczącego o fazie propulsji w chodzie. Egalizacja kończyn dolnych przyczyniła się do zniesienia istotnych statystycznie różnic wartości  $F_{2_{max}}$  między kończyną operowaną a nieoperowaną. W dyskusji autorzy podkreślili jednak to, iż we wcześniejszych badaniach przeprowadzanych przez innych naukowców dowiedziono, że wydłużanie podudzia wiąże się z ograniczeniem siły mięśniowej mięśnia trójgłowego łydki.

Istotne różnice wartości  $F_{2_{max}}$  między kończyną operowaną a nieoperowaną, jakie wystąpiły w badanej grupie pacjentów mogą być związane ze zbyt krótkim czasem fizjoterapii bądź brakiem zdyscyplinowania chorego w samodzielnym kontynuowaniu fizjoterapii w domu. Wyniki przeprowadzonych badań nie powinny zaskakiwać biorąc pod uwagę, że do najczęstszych ograniczeń funkcji stawu skokowego górnego należy ograniczenie zgięcia grzbietowego stopy na skutek przykurczenia wewnątrzstawowego lub przykurczenia mięśnia trójgłowego łydki [14].

Poddając analizie wyniki omawianych badań należy podkreślić jak ważne jest wprowadzenie wczesnej rehabilitacji, która jeśli jest odpowiednio przeprowadzona, powinna w sposób całkowity przywrócić pełną ruchomość w obrębie stawu skokowego oraz odpowiednią wydolność mięśniową [21].

Według Błaszczyka [2] „odepchnięcie, kończące fazę podparcia w chodzie, ma również kluczowy wpływ na długość kroku i prędkość lokomocji. Zarówno odepchnięcie, jak i następująca po nim faza wymachu zależą od prawidłowej aktywności mięśnia trójgłowego łydki”. Można zatem przewidzieć, iż ograniczenie wydolności mięśnia trójgłowego łydki, które zostało wykazane w badaniach, może wpłynąć na ograniczenie prędkości chodu oraz długości kroku. Te parametry nie były jednak w przeprowadzanych badaniach analizowane.

Winter [22] na podstawie pomiarów sił reakcji podłoża oraz wykorzystując metodę dynamiki odwrotnej wykazał, że do 70% siły napędowej w czasie chodu wytwarzane jest w stawie skokowym. Wyniki Wintera zostały potwierdzone przez kolejnych badaczy. Inne badania przeprowadzone na dzieciach dowiodły, że w czasie chodu skurcz mięśnia trójgłowego łydki dostarcza w fazie odepchnięcia energii rzędu 0,2 J/kg masy ciała. Badania te dowiodły, że w zależności od szybkości chodu staw skokowy wytwarza 40-60% energii niezbędnej do lokomocji [2].

W związku z tym wyniki opisanych w artykule badań, tj. ograniczenie ruchomości w obrębie stawu skokowego oraz zmniejszona wydolność mięśnia trójgłowego, mogą wskazywać na zwiększenie wydatku energetycznego

is one the least serious orthopaedic problems among all known methods of limb elongation, therefore also in the case of the treatment of this segment of the limb by means of the Ilizarov technique one may expect much better results in comparison with other segments. This thesis is confirmed by very good results of the Ilizarov technique in the examined group of patients.

The values of  $F_{2_{max}}$  characterising the manner of loading of forefoot and propulsion during gait were the few which showed statistically significant differences in the carried out research. The decreased value of  $F_{2_{max}}$  in the operated limbs which occurred in the examined group was probably related to weakening of the plantar flexors and more precisely of the triceps muscle of calf which to the greatest extent is responsible for the phase of propulsion in gait and stabilisation of the tarsal joint [7].

The research carried out by Bhave et al. [7] showed that only in patients before elongation of the lower limb there was a significant decrease of the values of the second peak of the vertical ground reaction characterising the phase of propulsion in gait. Elongation of limbs contributed to reducing of statistically significant differences of  $F_{2_{max}}$  values between the operated and non-operated group. However, in their discussion they emphasised that earlier researches carried out by other scientists proved that elongation of the shank is connected with limitation of the muscular strength of the triceps muscle of calf.

The significant differences of  $F_{2_{max}}$  values between the operated and non-operated limb which were found in the examined group of patients may be related to the fact that physiotherapy was too short or the patient was not disciplined enough in terms of carrying on with the physiotherapy at home. The research results should not be surprising taking into account that the intra-articular contracture or contracture of the triceps muscle of calf is among the most common limitations of the upper tarsal joint [14].

While analysing the presented results it should be emphasised how important it is to early introduce rehabilitation which, if carried out correctly, should restore full mobility in the tarsal joint as well as proper muscular efficiency [21].

According to Błaszczyk [2] “pushing back from the surface which ends the support phase of gait is also vital for the length of steps and speed of locomotion. Both pushing and the swing phase which follows it are a part of proper activity of the triceps muscle of calf”. Therefore it may be predicted that limitation of the efficiency of the triceps muscle of calf which was showed in the research may limit the speed of gait and the length of steps. Those parameters, however, were not analysed in the carried out research.

Winter [22] on the basis of measurements of ground reactions and using the method of reverse dynamics revealed that up to 70% of the driving force in gait is generated in the tarsal joint. The results presented by Winter were confirmed by other researchers. Other researches carried out in children proved that during gait the contraction of the triceps muscle of calf provides about 0.2 J/kg of body mass of energy in the push off phase. The researches proved that depending on the speed of gait, the tarsal joint generated from 40 to 60% of the energy necessary for locomotion [2].

Therefore the results of the presented research, that is limitation of mobility in the tarsal joint and decreased efficiency of the triceps muscle of calf may indicate increased energy expenditure in gait in the examined group.



podczas chodu w badanej grupie pacjentów. A ponieważ funkcja stawu skokowego jest tak istotna podczas chodu, nawet niewielkie ograniczenie w obrębie tego stawu, może w znaczny sposób zaburzać wydolność chodu. Jednakże badania przeprowadzane na tej grupie chorych nie obejmowały pomiarów wydatku energetycznego podczas chodu, dlatego też powyższe przypuszczenia nie mogą zostać potwierdzone obiektywnymi wynikami.

Metoda Ilizarowa stwarza dogodny warunki do rehabilitacji pacjenta już w pierwszej dobie po zabiegu, dlatego też w ten skuteczny sposób może poprawiać funkcje kończyny. Istnieje pewna rozbieżność postępowania fizjoterapeutycznego wynikająca z różnej etiologii skróceń będących przyczyną zastosowania metody Ilizarowa. Podczas wydłużania kończyny uraz operacyjny jest początkiem dolegliwości i dyskomfortu narastającego wraz z postępowaniem wydłużania i pojawiającymi się w przebiegu leczenia trudnościami, problemami lub powikłaniami. Z kolei u chorych ze skróceniami pourazowymi kończyn metoda Ilizarowa często jest jedyną możliwością przywrócenia prawidłowej funkcji kończynie. Natomiast w grupie osób ze skróceniami wrodzonymi nie można nawet mówić o przywracaniu sprawności, lecz o stworzeniu nowych umiejętności, które mają szansę zaistnieć po wydłużeniu kończyny. Z powyższych przyczyn podział pacjentów na 3 grupy, zastosowany podczas analizy wyników przeprowadzanych badań, wydaje się uzasadniony [23].

Wśród ortopedów zajmujących się wydłużaniem kończyn istnieje zgodność, że najlepsze wyniki uzyskuje się w leczeniu pourazowych skróceń kończyn, a najgorsze w przypadku wad wrodzonych [24]. Innymi słowami można stwierdzić, że etiologia skrócenia kończyny wpływa na wyniki leczenia, a co się z tym wiąże na wydolność funkcjonalną chodu.

Przyjmując, że prawidłowy chód jest chodem symetrycznym, można założyć, iż powrót symetryczności chodu świadczy o przywróceniu prawidłowej funkcji chodu. Przeprowadzone badania wykazały większe asymetrie w analizowanych parametrach chodu między kończyną operowaną a nieoperowaną w grupie skróceń wrodzonych niż w grupie skróceń rozwojowych bądź pourazowych. Jednak po analizie statystycznej uzyskanych wyników nie potwierdziły się powyższe założenia. Bowiem zaledwie w jednym parametrze, spośród jedenastu analizowanych, istniały statystycznie istotne różnice między badanymi grupami osób. Wyniki te mogą być związane ze stosunkowo małymi wartościami skróceń w badanej grupie pacjentów, które nie przyczyniły się do utrwalenia patologicznych wzorców chodu, co zastanawia zwłaszcza w grupie pacjentów z wadami wrodzonymi. Dlatego też nie można było zaobserwować istotnych statystycznie różnic podczas analizy współczynnika symetryczności między porównywanymi grupami pacjentów.

Normalizacja prawie wszystkich spośród analizowanych parametrów chodu, jaką udało się osiągnąć po egalizacji kończyn dolnych metodą Ilizarowa, świadczy o potrzebie operacyjnego wyrównywania skrócenia kończyny dolnej w obrębie podudzia w celu poprawy funkcji chodu.

Opisane badania miały charakter wstępny, bowiem były przeprowadzone na stosunkowo małej liczbie pacjentów. Analizie poddane były również inne parametry, takie jak jakość życia pacjentów, ankieta funkcjonalna, lecz z przyczyn praktycznych zostaną one poruszone w innym artykule. W celu potwierdzenia wniosków należałoby kontynuować dalsze badania dotyczące analizy chodu u pacjentów po wydłużaniu oraz korekcji osi podudzia metodą Ilizarowa, rozszerzając je o badanie poprzedzające leczenie.

Since the function of the tarsal joint is so important in gait, even slight limitation in the joint may significantly disturb the gait efficiency. However, the carried out examinations did not include measuring energy expenditure in gait, thus the aforementioned assumptions cannot be confirmed by objective results.

The Ilizarov technique provides satisfactory conditions for rehabilitation of the patients within the first 24 hours after the surgery, therefore it may be so effective in improving functioning of the affected limb. There is a certain difference in terms of physiotherapeutic treatment resulting from various etiology of the shortenings which were the reasons for using the Ilizarov technique. In the process of limb elongation the post-operative wound is the beginning of ailments and discomfort increasing along with the elongation and occurring in the meantime difficulties, problems and complications. However, in patients with post-traumatic limb shortenings the Ilizarov method is sometimes the only way of restoring correct functioning in the limb. Whereas in the case of patients with congenital defects there is no restoring of functioning, but creating new abilities which may occur after the elongation process is finished. Due to the aforementioned reasons dividing the patients into three groups, used for analysing of the obtained results, seems to be justified [23].

The orthopaedists who deal in limb elongation agree that the best results are obtained in the treatment of post-traumatic limb shortenings, and the poorest in the case of congenital defects [24]. In other words it may be said that etiology of the limb shortening influences the treatment results and thus functional efficiency of gait.

Assuming that proper gait is symmetric it may be said that restoring the symmetry of gait proves restoring of proper gait functioning. The carried out research showed that the greatest asymmetries of the analysed gait parameters between the operated limb and the non-operated limb in the group of congenital shortenings than in the group of developmental or post-traumatic shortenings. However, the statistical analysis of the obtained results did not confirm the aforementioned hypotheses. Only in one parameter among eleven there were statistically significant differences between the examined groups. Those results may result from relatively small values of shortenings in the examined group of patients which did not contribute to fixing of the pathological patterns of gait which is surprising especially in the case of patients with congenital defects. Therefore it was not possible to observe statistically significant differences while comparing the symmetry index between the examined groups.

Normalisation of almost all analysed parameters of gait which was achieved thanks to elongation by means of the Ilizarov method proves there is a need for surgical alignment of limb length discrepancy in the shank in order to improve gait function.

The described research had an introductory character since it was carried out in a relatively small group of patients. The carried out analysis included also other parameters, such as the quality of life of the patients, functional questionnaire, yet due to practical reasons they will be discussed in another article. In order to confirm the conclusions it would be advisable to continue with further research concerning gait in patients after limb elongation and correction of the shank axis by means of the Ilizarov method including in it also examinations carried out prior to the therapy.

## Wnioski

1. Przywrócenie anatomicznego kształtu i długości kończyny dolnej, za pomocą metody Ilizarowa, doprowadziło do poprawy funkcji chodu, zakładając, że jej wyznacznikiem jest symetria obciążania kończyn dolnych.
2. Istotnie statystycznie mniejsze wartości  $F2_{max}$  w grupie kończyn operowanych wskazują na brak całkowitego powrotu funkcji mięśnia trójgłowego łydki odpowiedzialnego za fazę propulsji w chodzie.
3. Etiologia skrócenia kończyny miała wpływ na wydolność funkcjonalną chodu jedynie podczas analizy siły  $F2_{max}$ .

## Conclusions

1. Restoring of anatomical shape and length of the lower limb by means of the Ilizarov method resulted in improving of gait function, assuming that it corresponds with the symmetry of weight bearing.
2. Statistically significant lower values of  $F2_{max}$  in the group of operated on limbs indicate lack of full restoration of the function of the triceps of calf which is responsible for the propulsion phase in gait.
3. Etiology of limb length discrepancy had a significant influence on gait only when the second peak of vertical ground reaction vector was analysed.

## Piśmiennictwo

### References

- [1] Wit A. *Zeszyt do ćwiczeń z biomechaniki – praca zbiorowa*. AWF, Warszawa 2000, 63-67.
- [2] Błaszczyk J. W. *Biomechanika kliniczna*, Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2004, 234-265.
- [3] Marciniak W., Szulc A. *Wiktor Degi ortopedia i rehabilitacja*, t.1. Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2003, 27-70.
- [4] Koczewski P. i wsp. *Analiza wybranych parametrów chodu na różnych etapach leczenia metodą Ilizarowa u chorych z nierównością kończyn dolnych*. Chirurgia Narządu Ruchu i Ortopedia Polska, 2004, 69, 6, 393-397.
- [5] Jochymczyk K. i wsp. *Analiza biomechaniczna chodu dzieci z zaburzeniami neurologicznymi*. XLVIII Sympozjum – Modelowanie w Mechanice – Wiśła 2009.
- [6] Po-Fu Su i wsp. *Gait characteristics of persons with bilateral transtibial amputations*. Journal of Rehabilitation Research&Development, 2007, 44, 4, 491-501.
- [7] Bhave A. P. T. i wsp. *Improvement in gait parameters after lengthening for the treatment of limb-length discrepancy*. Journal of Bone and Joint Surgery-American, April 1999, 81-A, 4, 529-534.
- [8] Kwolek A. *Rehabilitacja medyczna*, t. 1. Wydawnictwo Medyczne Urban&Partner, Wrocław 2003, 147-156, 247-251.
- [9] Dega W. *Ortopedia i Rehabilitacja*, t. 1. Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 1983, 85-94.
- [10] Konieczny G., Wrzosek Z. *Wczesne i późne następstwa braku egalizacji kończyn dolnych*. Postępy Rehabilitacji, 2002, 16, supl. 3, 58-59.
- [11] [www.fizjoterapia.com/kinezyterapia/chod.htm](http://www.fizjoterapia.com/kinezyterapia/chod.htm).
- [12] Marciniak W., Szulc A. *Wiktor Degi ortopedia i rehabilitacja*, t. 2. Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2003, 465-495.
- [13] Wall A. *Leczenie operacyjne nierówności kończyn*. Chirurgia Narządów Ruchu i Ortopedia Polska, 1994, supl. 1, t. 59, 10-18.
- [14] Kwolek A. *Rehabilitacja medyczna*, t. 2. Wydawnictwo Medyczne Urban&Partner, Wrocław 2003, 131-143.
- [15] Marciniak W. *Nierówność kończyn dolnych – etiopatogeneza i następstwa*, Chirurgia Narządów Ruchu i Ortopedia Polska, 1994, supl. 1, t. 59, 1-9.
- [16] Wrzosek Z. *Problemy rehabilitacji chorych leczonych metodą Ilizarowa*. Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja, 2002, 4, 4, 469-472.
- [17] [www.zebris.de](http://www.zebris.de)
- [18] [www.technomex.com.pl](http://www.technomex.com.pl)
- [19] White S. W. i wsp. *Asymmetric limb loading with true or simulated leg-length differences*. Clinical Orthopaedics and Related Research, 421, 287-292.
- [20] Tęśiorowski M. i wsp. *Wydłużanie uda według metody Ilizarowa*. Chirurgia Narządów Ruchu i Ortopedia Polska, 1994, supl. 1, 59, 104-107.
- [21] Lisiński P., Stryła W. *Zasady usprawniania leczniczego w przypadkach wydłużania kończyn dolnych*. Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja, 2002, 4, 4, 503-506.
- [22] Winter D. *The biomechanics and motor control of human gait*. University of Waterloo Press, Waterloo 1987.
- [23] Napiontek M. *Zasady rehabilitacji chorych leczonych metodą Ilizarowa w obrębie kończyn dolnych*. Chirurgia Narządów Ruchu i Ortopedia Polska, 2000, 65, 3, 287-294.
- [24] Synder M. i in. *Zastosowanie aparatu Ilizarowa do wydłużania kończyn dolnych*. Chirurgia Narządów Ruchu i Ortopedia Polska, 1994, supl. 1, 59, 125-128.

**Adres do korespondencji:**  
**Address for correspondence:**

Małgorzata Morasiewicz  
ul. Lubelska 60  
54-101 Wrocław

**Wpłynęło/Submitted: I 2010**  
**Zatwierdzono/Accepted: III 2010**