



## Gait analysis in children after the lengthening of the lower limb by the Ilizarov technique

### Analiza chodu u dzieci po wydłużeniu kończyny dolnej metodą Ilizarowa

Dorota Szydłak<sup>1</sup>, Anna Famuła<sup>2</sup>, Tadeusz S. Gaździk<sup>3</sup>, Weronika Gallert-Kopyto<sup>2</sup>, Jacek Sołtys<sup>2</sup>, Ryszard Plinta<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Zakład Fizjoterapii Katedry Fizjoterapii, Wydział Nauk o Zdrowiu w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

<sup>2</sup>Zakład Kinezylogii Katedry Fizjoterapii, Wydział Nauk o Zdrowiu w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

<sup>3</sup>Katedra Ortopedii i Fizjoterapii, Collegium Medicum, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

<sup>4</sup>Zakład Adaptowanej Aktywności Fizycznej i Sportu Katedry Fizjoterapii, Wydział Nauk o Zdrowiu w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

#### ABSTRACT

**INTRODUCTION:** Distraction osteogenesis for the correction of axial deformities and short lower limbs is a long-term process which adversely affects the functional state of the locomotor system and the child's emotions. Therefore, the aim of the study was to analyse the spatiotemporal parameters of gait, and to compare the results of treatment in children after lengthening the tibia or femur by the Ilizarov technique.

**MATERIAL AND METHODS:** The study was performed in 40 children with lower limb asymmetry treated in the Department of Clinical Orthopaedics in Sosnowiec in 2000–2006. Each child was subjected to osteodistraction treatment using the Ilizarov technique. The subjects were divided into two subgroups: group 1 consisted of 20 children who had Ilizarov tibial lengthening, and group 2 consisted of 20 children who had Ilizarov femoral lengthening.

Gait analysis was carried out using a dedicated system from Zebris, in which the patient is expected to walk along an approx. 2-metre long marked trajectory. The treadmill platform responded to the load, which enabled evaluation of the ground reaction force and the spatiotemporal parameters of gait. After completing measurements, the system produced a report with values of the tested parameters.

**RESULTS:** The study shows that both in children with a lengthened femur or tibia, three of the five subphases of the stance phase in the operated on limb and unoperated on limb were longer, and two shorter as compared to the normal values reported by J. Perry. The subphases of initial contact, loading response and midstance were longer, while the terminal stance and preswing were shorter.

**CONCLUSIONS:** In children with a short lower limb treated with the Ilizarov technique, a better outcome was achieved after lengthening the femur compared to the tibia. The gait cycle in children after limb elongation is different from normal.

#### KEY WORDS

leg length discrepancy, gait analysis, the Ilizarov technique

Received: 14.11.2016

Revised: 11.12.2016

Accepted: 23.02.2017

Published online: 30.06.2017

**Address for correspondence:** Dr n. med. Dorota Szydłak, Zakład Fizjoterapii, Katedra Fizjoterapii, Wydział Nauk o Zdrowiu w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, ul. Medyków 12, 40-752 Katowice, tel. + 48 608 071 235, e-mail: dszydłak@interia.eu

Copyright © Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach  
www.annales.sum.edu.pl

**STRESZCZENIE**

**WSTĘP:** Osteogeneza dystrykcyjna, jako metoda leczenia zaburzeń osi i skrótów kończyn dolnych, jest procesem długotrwałym, co niekorzystnie wpływa na stan funkcjonalny narządu ruchu oraz psychikę dziecka. W związku z powyższym celem pracy była analiza parametrów czasoprzestrzennych chodu oraz porównanie wyników leczenia u dzieci po wydłużeniu goleni i uda metodą Ilizarowa.

**MATERIAŁ I METODY:** Badania wykonano u 40 dzieci z asymetrią kończyn dolnych leczonych w Katedrze i Oddziale Klinicznym Ortopedii w Sosnowcu w latach 2000–2006. U każdego dziecka wykonano zabieg osteogenezy dystrykcyjnej metodą Ilizarowa. Grupa została podzielona na dwie podgrupy: grupę I stanowiło 20 dzieci po wydłużeniu goleni metodą Ilizarowa, grupę II stanowiło 20 dzieci po wydłużeniu uda metodą Ilizarowa.

Analiza chodu została przeprowadzona przy użyciu systemu do analizy ruchu firmy Zebris i polegała na przejściu po wytyczonej ścieżce o długości ok. 2 metrów. Platforma reagowała na nacisk, dzięki czemu można było oceniać reakcje sił podłoża oraz parametry czasoprzestrzenne chodu. Po zakończonym pomiarze otrzymano raport zawierający dane badanych parametrów.

**WYNIKI:** Z przeprowadzonych badań wynika, że zarówno u dzieci z wydłużanym udem, jak i golenią trzy z pięciu subfaz fazy podporu kończyną operowaną i nieoperowaną uległy wydłużeniu a dwie skróceniu w stosunku do norm wg J. Perry. Subfazy, które zostały wydłużone, to: zapoczątkowanie kontaktu, przejście ciężaru, przygotowanie przenoszenia, natomiast skrócenie czasu trwania poszczególnych subfaz odnotowano w pełnym podporze oraz fazie odbicia.

**WNIOSKI:** Lepsze wyniki uzyskano po wydłużeniu uda niż goleni metodą Ilizarowa u dzieci ze skróceniem kończyny dolnej. Stereotyp chodu u dzieci po wydłużeniu kończyn odbiega od normy.

**SŁOWA KLUCZOWE**

nierówność kończyn dolnych, analiza chodu, metoda Ilizarowa

**INTRODUCTION**

Differences in the length of lower limbs create a significant constraint to the normal functioning of paediatric patients. Abnormalities can be corrected with Ilizarov surgical treatment. The advantage of such a procedure is the possibility of multi-faceted and multi-planar correction of the limb axis during its elongation. In addition, the Ilizarov external fixator provides good stabilization of the elongated segment of the locomotor system [1,2,3,4,5]. During Ilizarov treatment patients have to learn and adopt correct movement patterns, which requires a very long time since locomotor automatism is established after approx. 100,000 repetitions of the correct movement [6,7]. The rehabilitation procedure has to be complex and adjusted to the current stage of treatment. It should be analysed in terms of immediate results (prevention of adverse effects of immobilization, analgesic and anti-inflammatory effects, improved blood flow in the operated on limb, verticalization and learning to walk with crutches) and long-term ones (improved range of motion, increased muscle mass and strength, improved proprioception, functional stabilization, development of a normal gait pattern and posture), associated with both the static and dynamic functions of lower limbs and compensating consequences associated with them, not only affecting the limb, but also the whole body [8,9,10,11,12,13,14,15,16,17].

**WSTĘP**

Różnice długości kończyn dolnych w istotny sposób ograniczają prawidłowe funkcjonowanie małego pacjenta. Można je poprawić stosując leczenie operacyjne sposobem Ilizarowa. Zaletą takiego postępowania jest możliwość wielokierunkowej oraz wielopłaszczyznowej korekcji osi kończyny podczas jej rozciągania. Dodatkowo, stabilizator zewnętrzny Ilizarowa zapewnia dobrą stabilizację wydłużanego segmentu ruchowego [1,2,3,4,5]. W czasie leczenia tą metodą konieczne staje się wyrobienie i utrwalenie prawidłowych wzorców ruchowych, co wymaga bardzo długiego czasu. Automatyzm ruchowy kształtuje się bowiem po ok. 100 000 powtórzeń dobrego ruchu [6,7]. Postępowanie rehabilitacyjne musi być kompleksowe, dostosowane do aktualnego etapu leczenia. Należy je rozpatrywać w aspekcie skutków doraźnych (zapobieganie niekorzystnym skutkom unieruchomienia, działanie przeciwbólowe, przeciwzapalne, poprawiające krążenie w operowanej kończynie, pionizacja i nauka chodu o kulach) i odległych w czasie (poprawa zakresu ruchomości, zwiększenie masy i siły mięśniowej, poprawa propriocepcji, stabilizacji czynnościowej, wytworzenie prawidłowego wzorca chodu oraz postawy ciała), związanych zarówno z funkcją statyczną, jak i dynamiczną kończyn dolnych oraz towarzyszących im następstw kompensacyjnych, dotyczących nie



There are a number of published papers that focus only on describing the surgical techniques and where the authors analyse the results they have obtained, depending on the degree of axial correction or shortening of the limb. However, little attention is given to the development of optimal rehabilitation methods before and after Ilizarov surgery.

Therefore, the aim of the study was to analyse the spatiotemporal parameters of gait, and to compare the results of treatment after elongation of the femur and tibia by the Ilizarov technique.

## MATERIAL AND METHODS

The study protocol was approved by the Bioethics Committee of the Medical University of Silesia, decision no. NN-6501-14/05, NN-6501-66/07.

The study was performed in 40 children with lower limb discrepancy treated in the Department of Clinical Orthopaedics in Sosnowiec in 2000–2006.

Each child was subjected to osteodistraction treatment using the Ilizarov technique. All the patients before surgery were assessed in terms of difficulty and risk of potential complications using the Paley scale. Leg length measurements were taken based on a radiogram or topogram made before surgery and after the completed elongation phase. After inserting the distractor, each patient underwent complex rehabilitation following the plan adopted at the hospital department.

The children were divided into two groups:

1. Group I consisted of 20 children (12 girls and 8 boys) who had Ilizarov tibial lengthening; age 7–9 years ( $x = 7 \pm 1.5$ ), body height ( $x = 133; 4 \pm 4.6$ ), body weight ( $x = 29; 6 \pm 2.3$ ).
2. Group II consisted of 20 children (15 girls and 5 boys) who had Ilizarov femoral lengthening; age 7–10 years ( $x = 8 \pm 1.5$ ), body height ( $x = 134; 2 \pm 5.1$ ), body weight ( $x = 30; 5 \pm 1.6$ ).

The reasons for leg asymmetry were congenital (dysplasia, hypoplasia, achondroplasia, hypochondroplasia), developmental (osteoarthritis), or post-traumatic (fracture). Most children had congenital asymmetry: 11 (55%) in group I and 16 (80%) in group II.

Gait analysis was performed using the Zebris gait analysis system (FDM2 treadmill).

Each child had to walk approx. 2 metres on a marked trajectory. The treadmill platform responding to the tyles danej kończyny, lecz całego ciała [8,9,10,11,12,13,14,15,16,17].

Each child had to walk approx. 2 metres on a marked trajectory. The treadmill platform responding to the load enabled evaluation of the ground reaction force and the spatiotemporal parameters of gait. After completing the measurements the system produced a report with values of the tested parameters. The results

W dostępnym piśmiennictwie ukazało się wiele prac, których autorzy koncentrowali się jedynie na opisie technik operacyjnych, a uzyskiwane za ich pomocą wyniki oceniali w zależności od uzyskanego stopnia korekcji osi lub skrótu kończyny. Mało uwagi poświęcono opracowaniu optymalnych metod usprawniania przed i po zabiegu operacyjnym metodą Ilizarowa.

W związku z powyższym celem pracy była analiza parametrów czasoprzestrzennych chodu oraz porównanie wyników leczenia po wydłużeniu goleni i uda metodą Ilizarowa.

## MATERIAŁ I METODY

Na wykonanie badań uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej Śląskiej Akademii Medycznej nr NN-6501-14/05, NN-6501-66/07.

Badania wykonano u 40 dzieci z asymetrią kończyn dolnych leczonych w Katedrze i Oddziale Klinicznym Ortopedii w Sosnowcu w latach 2000–2006.

U każdego dziecka wykonano zabieg osteogenezy dystrakcyjnej metodą Ilizarowa. Wszystkich pacjentów przed leczeniem operacyjnym oceniono pod kątem trudności oraz ryzyka wystąpienia ewentualnych powikłań zgodnie z punktową skalą Paleya. Pomiarów długości kończyn dolnych dokonano na podstawie radiogramu lub topogramu wykonanego przed zabiegiem oraz po zakończeniu fazy wydłużania. Po założeniu dystraktora każdy chory przeszedł kompleksowe usprawnianie według programu przyjętego na oddziale.

Dzieci zostały podzielone na dwie grupy:

1. Grupę I stanowiło 20 dzieci (12 dziewcząt i 8 chłopców) po wydłużeniu goleni metodą Ilizarowa; wiek 7–9 lat ( $x = 7 \pm 1.5$ ), wzrost ( $x = 133; 4 \pm 4.6$ ), waga ( $x = 29; 6 \pm 2.3$ ).
2. Grupę II stanowiło 20 dzieci (15 dziewcząt i 5 chłopców) po wydłużeniu uda metodą Ilizarowa; wiek 7–10 lat ( $x = 8 \pm 1.5$ ), wzrost ( $x = 134; 2 \pm 5.1$ ), waga ( $x = 30; 5 \pm 1.6$ ).

Wśród przyczyn asymetrii kończyn dolnych wskazano na wrodzone (dysplazję, niedorozwój, achondroplazję, hipochondroplazję), rozwojowe (zapalenie kości i stawu) oraz pourazowe po złamaniu. Najliczniejszą grupę stanowiły dzieci z niedorozwojem, tj. 11 (55%) w grupie I oraz 16 (80%) w grupie II.

Analizę chodu przeprowadzono wykorzystując system do analizy ruchu firmy Zebris (platforma FDM2).

Zadaniem każdego dziecka było przejście po wytyczonej ścieżce o długości ok. 2 metrów. Platforma, reagując na nacisk, pozwalała na ocenę reakcji sił podłoża oraz parametrów czasoprzestrzennych chodu. Po zakończonym pomiarze otrzymano raport zawierający dane o badanych parametrach. Uzyskane wyniki po-



were compared with J. Perry's standards, which allowed normalization of somatic differences [30]. Each test was carried out in the presence of a doctor after obtaining written consent from the patient's parent/guardian. The criteria for inclusion in the study were: corrected limb length with osteodistraktion in children with a short tibia or femur, absence of other locomotor disorders or neurological dysfunctions affecting locomotion, the ability to move unaided, age 7–10 years old. The variables were tested for normal distribution using the Kolmogorov-Smirnov test. Numerical characteristics (the mean and standard deviation) were used to determine the step length in operated on and unoperated on limbs during the stance phase and the swing phase in groups I and II. Differences between the operated on limb (KOP) and the unoperated on limb (KNOP) and subphases of the stance phase in the study groups were analysed using the U Mann-Whitney test. The correlation between the variables was estimated using Spearman's rank correlation analysis. The level of significance was adopted at  $p = 0.05$  for all the tests. Calculations were carried out using Statistica 12.5 software (Statsoft, USA).

## RESULTS

Lengthening of the short limb was achieved in all the children. The mean discrepancy was  $6.26 \text{ cm} \pm 2.82 \text{ cm}$  in group I (short tibia) and  $4.35 \text{ cm} \pm 2.45 \text{ cm}$  in group II (short femur). The mean lengthening was  $6.47 \text{ cm} \pm 2.66 \text{ cm}$  in group I (short tibia) and  $4.95 \text{ cm} \pm 2.33 \text{ cm}$  in group II (short femur). The time wearing the Ilizarov apparatus was longer in group I as compared to group II ( $188.68 \text{ days} \pm 62.07 \text{ days}$  vs  $161 \text{ days} \pm 54.51 \text{ days}$ ).

In both groups there was a difference in step length between the operated on limb (KOP) and the unoperated on limb (KNOP) in the gait cycle. In group I (short tibia) the mean step length in the operated on leg ( $x = 53; 55 \pm 11.21$ ) was  $3.9 \text{ cm}$  greater as compared to the unoperated on leg ( $x = 49; 65 \pm 9.42$ ), while in group II (short femur) the mean step length in the operated on leg ( $x = 54.32 \pm 9.07$ ) was  $2.79 \text{ cm}$  greater in comparison to the unoperated on leg ( $x = 51.53 \pm 7.82$ ). The study also revealed that the mean step length in the operated on leg in group I was  $0.77 \text{ cm}$  shorter than in group II. Considering the unoperated on limb, the mean step length in group I (short tibia) was  $1.88 \text{ cm}$  shorter in contrast to the mean step length in group II. The stride time measured in seconds in both groups was comparable for the operated on and unoperated on limbs ( $p > 0.05$ ) and the differences were not significant ( $p > 0.05$ ).

In both groups the stance phase in the operated on and unoperated on limb was longer than the normal value,

równano z normami wg J. Perry, co pozwoliło na znormalizowanie różnic somatycznych [30].

Każde badanie przeprowadzono w obecności lekarza po wyrażeniu pisemnej zgody przez badanego oraz rodzica/prawnego opiekuna. Wśród kryteriów włączenia do badań wyróżniono: wyrównana długość kończyn za pomocą osteogenezy dystrykcyjnej u dzieci po skróceniu goleni i uda, brak innych chorób narządu ruchu lub dysfunkcji neurologicznych mających wpływ na lokomocję, zdolność do samodzielnego poruszania się, wiek 7–10 lat.

Zmienne badano pod kątem normalności dystrybucji testem Kołmogorowa-Smirnowa. Do określenia poziomu długości kroku kończyny operowanej i nieoperowanej w fazie podporu i przeniesienia w grupach badanych I i II wyznaczono charakterystyki liczbowe – średnią oraz odchylenie standardowe. Różnice pomiędzy kończyną operowaną (KOP) i nieoperowaną (KNOP), a także subfazami fazy podporu w badanych grupach zbadano stosując test U Manna-Whitneya. Poziom korelacji pomiędzy badanymi zmiennymi wyznaczono stosując analizę korelacji rang Spearmana. Poziom istotności ustalono na poziomie  $0,05$  dla wszystkich testów. Obliczenia przeprowadzono wykorzystując pakiet oprogramowania statystycznego Statistica 12.5 (StatSoft, USA).

## WYNIKI

U wszystkich dzieci uzyskano wydłużenie skróconych kończyn dolnych. Wielkość skrótu kończyny w grupie I (skrót goleni) wynosiła średnio  $6,26 \text{ cm} \pm 2,82 \text{ cm}$ , a w grupie II (skrót uda)  $4,35 \text{ cm} \pm 2,45 \text{ cm}$ . Wielkość wydłużenia, jaką uzyskano w grupie I (skrót goleni), wynosiła średnio  $6,47 \text{ cm} \pm 2,66 \text{ cm}$  i odpowiednio w grupie II (skrót uda)  $4,95 \text{ cm} \pm 2,33 \text{ cm}$ . Czas przebywania w aparacie Ilizarowa był dłuższy w grupie I niż w grupie II ( $188,68 \text{ dni} \pm 62,07 \text{ dni}$  vs  $161 \text{ dni} \pm 54,51 \text{ dni}$ ).

W obu badanych grupach zauważono różnicę w długości kroków pomiędzy kończynami operowaną (KOP) i nieoperowaną (KNOP) w cyklu chodu. W grupie I (skrót goleni) długość kroku kończyną operowaną ( $x = 53; 55 \pm 11,21$ ) była większa średnio o  $3,9 \text{ cm}$  w stosunku do kończyny nieoperowanej ( $x = 49; 65 \pm 9,42$ ), a w grupie II (skrót uda) krok kończyną operowaną ( $x = 54,32 \pm 9,07$ ) był dłuższy średnio o  $2,79 \text{ cm}$  w porównaniu z kończyną nieoperowaną ( $x = 51,53 \pm 7,82$ ). Zauważono również, że długość kroku kończyną operowaną w grupie I była mniejsza średnio o  $0,77 \text{ cm}$  niż w grupie II. Analogicznie długość kroku kończyną nieoperowaną w grupie I (skrót goleni) była mniejsza średnio o  $1,88 \text{ cm}$  w porównaniu z długością kroku kończyną nieopero-



while the swing phase was shorter (Tab. I). In group I the stance phase was 10.75% longer in the unoperated on limb and 3.33% longer in the operated on limb. In group 2 the stance phase was 7.4% longer in the unoperated on limb and 5.78% longer in the operated on limb. In group I the mean swing phase was 16.13% shorter in the unoperated on limb and 5% shorter in the operated on limb. In group II the mean swing phase was 10.95% shorter in the unoperated on limb and 8.7% shorter in the operated on limb (Tab. I). Data from the U Mann-Whitney analysis shown in Table I indicate significant differences between the operated on limb (KOP) and the unoperated on limb (KNOP) in relation to the stance phase and swing phase ( $p < 0.05$ ) in group I. The differences in group II were not statistically significant ( $p > 0.05$ ).

**Table I.** Values and differences in mean percentages for the stance phase and swing phase in the operated on limb (KOP) and the nonoperated on limb (KNOP) in groups I and II versus normal values reported by J. Perry  
**Tabela I.** Poziom i różnice średnich procentowych wartości faz podporu i przeniesienia kończyny operowanej (KOP) i nieoperowanej (KNOP) w grupach I i II z normą wg J. Perry

Groups/ Grupy	Normal values reported by J. Perry/ Normy wg J. Perry	Stance phase/ Faza podporu (%)	Swing phase/ Faza przeniesienia (%)
		60	40
Groups I (short tibia)/ Grupa I (skrócenie goleni)	KNOP	66,45 ± 3,62	33,55 ± 4,76
	KOP	62,00 ± 2,87	38,00 ± 1,84
	U M-W*	0,03	0,03
Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)	KNOP	64,38 ± 1,91	35,53 ± 1,61
	KOP	63,47 ± 1,49	36,53 ± 1,61
	U M-W*	0,06	0,07

\*p – Significance level for the U Mann-Whitney test

\*p – Poziom istotności Testu U Manna-Whitneya

The differences in the stance phase and swing phase values for the operated on limb (KOP) and the unoperated on limb (KNOP) in groups I and II compared to the normal values reported by J. Perry were correlated at  $p < 0.001$ , both for the stance phase and the swing phase.

Statistical analysis of data for individual subphases of the stance phase demonstrated increased values for 3 out of 5 subphases, both for the operated on femur and tibia, as compared to the normal values by J. Perry (Tab. II). The LR subphase was on average 80.25% longer in group I and 77.9% longer in group II as compared to the normal value. The PS subphase was on average 38.3% longer in group I and 42.2% longer in group II as compared to the normal value. Values higher than normal were also found for the unoperated on legs for the same subphases. In both groups I and II

waną w grupie II. Czas trwania kroku mierzony w sekundach w obu grupach był porównywalny pomiędzy kończynami operowaną a nieoperowaną ( $p > 0,05$ ). Wyniki te były jednak nieistotne statystycznie ( $p > 0,05$ ).

Zarówno w grupie I, jak i II faza podporu kończynami operowaną i nieoperowaną została wydłużona w stosunku do przyjętej normy, natomiast faza przeniesienia uległa skróceniu (tab. I). W grupie I faza podporu kończyną nieoperowaną została wydłużona w odniesieniu do przyjętej normy o 10,75%, natomiast w kończynie operowanej o 3,33%. Z kolei w grupie II faza podporu kończyną nieoperowaną została wydłużona w stosunku do przyjętej normy o 7,4% natomiast w kończynie operowanej o 5,78%. W grupie I faza przeniesienia kończyną nieoperowaną została skrócona średnio o 16,13% w stosunku do przyjętej normy, natomiast w kończynie operowanej średnio o 5%. Z kolei w grupie II faza przeniesienia kończyną nieoperowaną została skrócona w stosunku do przyjętej normy średnio o 10,95%, natomiast w kończynie operowanej średnio o 8,7% (tab. I). Analiza U Manna-Whitneya przedstawiona w tabeli I wskazała na istotne statystycznie różnice pomiędzy kończynami operowaną (KOP) i nieoperowaną (KNOP) w odniesieniu do faz podporu i przeniesienia ( $p < 0,05$ ) w grupie I. Wartości poziomu istotności ( $p > 0,05$ ) w grupie II wskazały na nieznaczące różnice.

Oceniając poziom istotności pomiędzy fazami podporu i przeniesienia kończyny operowanej (KOP) i nieoperowanej (KNOP) w grupach I i II a normą wg J. Perry stwierdzono zależność na poziomie  $p < 0,001$  zarówno w fazie podporu, jak i przeniesienia.

Na podstawie analizy statystycznej poszczególnych subfaz fazy podporu dowiedziono, że zarówno w przypadku operowanego uda, jak i goleni 3 z 5 subfaz uległy wydłużeniu w stosunku do przyjętych norm wg J. Perry (tab. II). Subfaza LR w grupie I zwiększyła się średnio o 80,25% w stosunku do normy, a w grupie II średnio o 77,9%. Subfaza PS w grupie I zwiększyła się średnio o 38,3% w stosunku do normy, a w grupie II średnio o 42,2%. Norma została przekroczona również w kończynach nieobjętych ingerencją chirurgiczną i dotyczyła tych samych subfaz. Subfaza IC zarówno w grupie I, jak i II uległa przekroczeniu średnio o 42,5% w stosunku do normy. Subfaza LR w grupie I wydłużyła się średnio o 72,5% w stosunku do normy, a w przypadku grupy II średnio o 77,8%. Subfaza PS w grupie I wydłużona została o 44,3% w stosunku do normy, natomiast w grupie II o 42,3%. Z kolei subfazy TS oraz MS zostały skrócone. W operowanym podudziu TS skróciło się średnio o 35,4% w stosunku do normy, a w operowanym udzie średnio o 30,55%. Zmiany te dotyczyły również kończyn nieoperowanych. I tak w przypadku goleni TS trwało krócej średnio o 31,25% w stosunku do normy, a w przypadku uda średnio o 20%. Subfaza MS



the IC subphase was on average 42.5% longer as compared to the normal value. The LR subphase was on average 72.5% longer in group I and 77.8% longer in group II as compared to the normal value. The PS subphase was 44.3% longer in group I and 42.3% longer in group I as compared to the normal value. However, subphases TS and MS were shorter. The TS subphase was on average 35.4% shorter in the tibia group and 30.55% shorter in the femur group as compared to the normal value. Changes were also observed for the unoperated on limbs. For example, the TS subphase was on average 31.25% shorter in the tibia group and 20% shorter in the femur group. The MS subphase was on average 11.6% shorter in the tibia group and 8.45% shorter in the femur group as compared to the normal value. The MS subphase was on average 2.1% shorter in the unoperated on tibia and 4.25% shorter in the unoperated on femur.

In the operated on limb, the IC subphase was on average 0.75% longer in group I as compared to group II (Tab. IV). In addition, the LR phase in group I was on average 0.19% longer. The MS, TS and PS subphases in the operated on leg were shorter in group I than in group II: mean 0.62% for MS, 0.97% for TS and 0.39% for PS. The duration of the IC subphase in the unoperated on limb was the same in groups I and II. The LR subphase in the unoperated on limb in group I was on average 0.39% shorter as compared to group II. The last three subphases in the unoperated on limb in group I were longer than in group II – 0.44% for MS, 2.25% for TS and 0.19% for PS.

In group I there was a negative correlation between the following subphases in the operated on limb (KOP): IC and MS and vice versa, IC and TS and vice versa, LR and TS and vice versa, MS and PS and vice versa, as well as TS and PS and vice versa. A positive correlation was found between the following subphases: IC and LR and vice versa, LR and PS and vice versa, as well as MS and TS and vice versa.

In group II there was a negative correlation between the following subphases in the operated on limb (KOP): IC and MS and vice versa, IC and TS and vice versa, as well as MS and PS and vice versa.

In group II a positive correlation was found between subphases: IC and PS and vice versa, MS and TS and vice versa (Tab. VI).

Relevant statistics for the unoperated on limb are presented in Table VII. Both in groups I and II there was a negative correlation between variables IC and MS, and IC and TS in the unoperated on limb (KNOP).

w operowanym podudziu skróciła się średnio o 11,6%, a w operowanym udzie średnio o 8,45% w stosunku do normy. Z kolei w nieoperowanym podudziu subfaza MS została skrócona średnio o 2,1%, a w nieoperowanym udzie średnio o 4,25% w stosunku do normy.

W grupie I subfaza IC kończąca operowaną była dłuższa średnio o 0,75% od tej samej subfazy kończąca operowaną w grupie II (tab. IV). W grupie I średnio o 0,19% dłuższa była również subfaza LR. Z kolei subfazy MS, TS i PS kończąca operowaną w grupie I były krótsze niż w grupie II – MS średnio o 0,62%, TS średnio o 0,97%, a PS średnio o 0,39%. Zarówno w grupie I, jak i II subfaza IC kończąca nieoperowaną trwała tyle samo. Z kolei subfaza LR kończąca nieoperowaną w grupie I była krótsza średnio o 0,39% od tej samej subfazy kończąca nieoperowaną w grupie II. Trzy ostatnie subfazy kończąca nieoperowaną w grupie I były dłuższe niż ich odpowiedniki w grupie II – MS o 0,44%, TS o 2,25%, a PS o 0,19%.

W grupie I korelację odwrotnie proporcjonalną zauważono między następującymi subfazami kończyny operowanej (KOP): IC a MS i odwrotnie, IC a TS i odwrotnie, LR a TS i odwrotnie, MS a PS i odwrotnie oraz TS a PS i odwrotnie. Z kolei korelację dodatnią w omawianej grupie zauważono między subfazami: IC a LR i odwrotnie, LR a PS i odwrotnie, MS a TS i odwrotnie.

W grupie II korelacja ujemna pojawia się między następującymi subfazami kończyny operowanej (KOP): IC a MS i odwrotnie, IC a TS i odwrotnie, MS a PS i odwrotnie.

Korelację dodatnią w omawianej grupie zauważono między subfazami: IC a PS i odwrotnie, MS a TS i odwrotnie (tab. VI).

Wyniki analogiczne dla kończyny nieoperowanej przedstawiono w tabeli VII. Zarówno w grupie I, jak i II w kończynie nieoperowanej (KNOP) korelacja ujemna wystąpiła między zmiennymi IC a MS oraz IC a TS.

## DYSKUSJA

W przedstawionych badaniach, zgodnie z przyjętymi celami pracy, porównano wyniki leczenia po wydłużeniu goleni i uda metodą Ilizarowa, opierając się na analizie chodu systemem FDM2 Zebris. U badanych dzieci przed wydłużeniem skrócenie uda średnio wynosiło 4,35 cm, a goleni 6,26 cm. Wydłużanie przepro-



**Table II.** Mean percentage values for the individual subphases of the stance phase in the operated on limb (KOP) and the nonoperated on limb (KNOP) in groups I and II versus normal values reported by J. Perry

**Tabela II.** Poziom średnich procentowych wartości poszczególnych subfaz fazy podparcia kończyn operowanej (KOP) i nieoperowanej (KNOP) w grupach I i II z normą wg J. Perry

	Group I (short tibia)/ Grupa I (skrócenie goleni)		Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)		Normal/Norma
	KOP	KNOP	KOP	KNOP	
Initial contact (%) (IC)	3,7 ± 2,92	2,85 ± 2,13	2,95 ± 4	2,85 ± 3,33	0–2 (2)
Loading response (%) (LR)	14,42 ± 2,59	13,83 ± 2,85	14,23 ± 1,73	14,22 ± 1,79	2–10 (8)
Mid stance (%) (MS)	17,69 ± 2,45	19,59 ± 1,55	18,31 ± 2,82	19,15 ± 2,83	10–30 (20)
Terminal stance (%) (TS)	12,92 ± 3,63	16,00 ± 3,33	13,89 ± 3,12	13,75 ± 2,97	30–50 (20)
Pre swing (%) (PS)	13,83 ± 2,28	14,42 ± 2,58	14,22 ± 1,79	14,23 ± 1,73	50–60 (10)

\*p – Significance level for the U Mann-Whitney test

\*p – Poziom istotności Testu U Manna-Whitneya

**Table III.** Statistical significance of differences between the individual subphases of the stance phase in the operated on limb (KOP) and the nonoperated on limb (KNOP) in groups I and II versus normal values reported by J. Perry

**Tabela III.** Poziom istotności statystycznej różnic między poszczególnymi subfazami fazy podparcia kończyn operowaną (KOP) i nieoperowaną (KNOP) w grupach I i II a przyjętą normą wg J. Perry

	Group I (short tibia)/ Grupa I (skrócenie goleni)									
	KOP					KNOP				
	IC	LR	MS	TS	PS	IC	LR	MS	TS	PS
Normal values reported by J. Perry/ Norma wg J. Perry	p < 0,001*	p < 0,001*	p < 0,001*	p < 0,001*	p < 0,001*	p < 0,005*	p < 0,001*	p < 0,005*	p < 0,001*	p < 0,001*
	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)									
	KOP					KNOP				
	IC	LR	MS	TS	PS	IC	LR	MS	TS	PS
Normal values reported by J. Perry/ Norma wg J. Perry	p < 0,005*	p < 0,001*	p < 0,001*	p < 0,001*	p < 0,001*	p < 0,001*	p < 0,001*	p < 0,001*	p < 0,001*	p < 0,001*

\*p < 0.05 Significance level for the U Mann-Whitney test

\*p < 0,05 Poziom istotności Testu U Manna-Whitneya

IC – Initial contact, LR – loading response, MS – mid stance, TS – terminal stance, PS – pre swing

**Table IV.** Mean percentage values for the individual subphases in the operated on limb (KOP) and the nonoperated on limb (KNOP) in groups I and II

**Tabela IV.** Poziom średnich procentowych wartości poszczególnych subfaz kończyn operowanej (KOP) i nieoperowanej (KNOP) między grupami I i II

	KOP		KNOP	
	Group I (short tibia)/ Grupa I (skrócenie goleni)	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)	Group I (short tibia)/ Grupa I (skrócenie goleni)	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)
Initial contact (%) (IC)	3,7 ± 2,92	2,95 ± 4	2,85 ± 2,13	2,85 ± 3,33
Loading response (%) (LR)	14,42 ± 2,59	14,23 ± 1,73	13,83 ± 2,85	14,22 ± 1,79
Mid stance (%) (MS)	17,69 ± 2,45	18,31 ± 2,82	19,59 ± 1,55	19,15 ± 2,83
Terminal stance (%) (TS)	12,92 ± 3,63	13,89 ± 3,12	16,00 ± 3,33	13,75 ± 2,97
Pre swing (%) (PS)	13,83 ± 2,28	14,22 ± 1,79	14,42 ± 2,58	14,23 ± 1,73



**Table V.** Statistical significance of differences between the subphases of the stance phase in the operated on limb (KOP) and the nonoperated on limb (KNOP) in groups I and II  
**Tabela V.** Poziom różnic statystycznych między grupami I i II dla poszczególnych subfaz fazy podporu kończynami operowaną (KOP) i nieoperowaną (KNOP)

KOP					
	IC	LR	MS	TS	PS
	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)
Group I (short tibia)/ Grupa I (skrócenie goleni)	p > 0,1	p > 0,1	p > 0,1	p > 0,1	p > 0,1
KNOP					
	IC	LR	MS	TS	PS
	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)	Group II (short femur)/ Grupa II (skrócenie uda)
Group II (short tibia)/ Grupa II (skrócenie goleni)	p > 0,1	p > 0,1	p > 0,1	p < 0,05*	p > 0,1

\*p < 0.05 Significance level for the U Mann-Whitney test

\*p < 0,05, Poziom istotności Testu U Manna-Whitneya

IC – Initial contact, LR – loading response, MS – mid stance, TS – terminal stance, PS – pre swing

## DISCUSSION

The presented study compared the therapeutic outcome after Ilizarov tibial and femoral lengthening based on gait analysis using the FDM2 Zebris system. Preoperatively, the analysed children had on average a 4.35 cm shorter femur and a 6.26 cm shorter tibia. Lengthening was performed in patients with a leg length discrepancy of 3 cm and over. This is consistent with the views of many authors [3,5,16,18, 19,20,21], although Siffert believes that lengthening is indicated in patients with a 2.5 cm limb length discrepancy [22].

In children with a short femur, 4.95 cm elongation was achieved, which was 13% of the preoperative limb length. The mean lengthening of the tibia was 6.45 cm, which was 16% of the preoperative limb length. The lengthening value was within the safe limit which most authors reported as not more than 15% of the preoperative length of the treated locomotor segment [3,5,23]. In practice, much larger single-step elongations of up to 25% of the preoperative leg length are performed. This approach is used to reduce the number of necessary surgical procedures [19]. It should be noted, however, that an increased lengthening rate of a particular locomotor segment is associated with a higher risk of complications involving soft tissues and joints. Morasiewicz believes that greater elongation (up to 35%) is only feasible in patients with achondroplasia who have an excess of soft tissues. In other cases it is important to consider the risk

**Table VI.** Coefficients of correlation between individual subphases in operated on limb (KOP) in groups I and II

**Tabela VI.** Współczynniki korelacji w grupach I i II między poszczególnymi subfazami dla kończyny operowanej (KOP)

Group I (short tibia)/Grupa I (skrócenie goleni)					
KOP					
Variable/Zmienna	IC	LR	MS	TS	PS
IC	1,000	0,481*	-0,506*	-0,754*	0,427
LR	0,481*	1,000	-0,443	-0,657*	0,492*
MS	-0,506*	-0,443	1,000	0,565*	-0,525*
TS	-0,754*	-0,657*	0,565*	1,000	-0,487*
PS	0,427	0,492*	-0,525*	-0,487*	1,000
Group II (short femur)/Grupa II (skrócenie uda)					
KOP					
Variable/Zmienna	IC	LR	MS	TS	PS
IC	1,000	0,274	-0,779*	-0,712*	0,487*
LR	0,274	1,000	-0,324	-0,147	0,376
MS	-0,779*	-0,324	1,000	0,565*	-0,721*
TS	-0,712*	-0,147	0,565*	1,000	-0,363
PS	0,487*	0,376	-0,721*	-0,363	1,000

\*p < 0.05 Spearman's rank correlation coefficient

\*p < 0,05, Współczynniki korelacji rang Spearmana

IC – initial contact, LR – loading response, MS – mid stance, TS – terminal stance, PS – pre swing

wadzone, gdy długość kończyny była równa lub większa niż 3 cm. Jest to zgodne z poglądami wielu autorów [3,5,16,18,19,20,21], chociaż Siffert uważa, że wskazaniem do wydłużenia jest skrócenie kończyny już o 2,5 cm [22].





of contractures in joints adjacent to the lengthened segment [19].

Because surgery is only the beginning of long-term physiotherapeutic treatment, which requires many sacrifices from the patient, lengthening of the limbs is done in 6–7-year-old children. Patients at this age much more easily accept the therapy, show better adherence during rehabilitation, and establish a good relationship with medical personnel [3,5,14,19]. In this study the age of children was 7 to 10 years, and did not differ from the age of children treated with the Ilizarov technique reported in the available literature [24,25]. The Ilizarov apparatus was fixed on a treated limb for an average of 161 days (femoral lengthening) or 188 days (tibial lengthening). The time depended on the degree of shortness and the progress of bone regeneration, and was consistent with the guidelines presented in the available literature, where the bone elongates at a rate of 1 mm/day, and then the apparatus is kept on the limb for four times longer than the elongation time [3].

Locomotion is one of the basic functions of the lower limbs. The presented study revealed that both in children with a lengthened femur or tibia, the step length was greater in the surgically treated limb as compared to the healthy limb. However, no differences in stride time between both lower limbs were found. It is assumed that this results from the compensatory adaptation aimed at improving energy expenditure of the gait. Similar changes were observed by Wrzosek, who attributes this to the asymmetric position of the tarsal and the knee joints, which persists even after length discrepancy correction [26]. A similar correlation was also reported by Kou-An L. et al. [27]. In group I (short tibia) the step length in the operated on limb and the unoperated on limb was shorter than in group II (short femur). However, the above-described differences were not statistically significant.

According to J. Perry, the stance phase should make up 60% and the swing phase 40% of the gait cycle [30]. The study revealed that in children with leg length discrepancy, the stance phase in the operated on and the unoperated on limb was longer and the swing phase shorter compared to the normal values, and the differences were statistically significant. It was also noted that in the study groups the stance phase in the operated on limb was shorter than in the unoperated on limb. The swing phase in the operated on limb was longer than in the unoperated on limb. It is assumed that in this case the compensatory and adaptive mechanisms aim at the functional symmetry of gait. From a biological point of view, the human body copes with a symmetric dysfunction better than an asymmetric dysfunction. Therefore, the unoperated on limb will tend to compensate for the duration of the stance phase in the operated on limb. This trend towards reaching symmetry reflects normal compensatory and

W przypadku dzieci ze skróceniem uda wielkość uzyskanego wydłużenia wynosiła 4,95 cm, co stanowiło 13% jego wyjściowej długości. W przypadku goleni wydłużono je średnio o 6,45 cm, co stanowiło 16% jej wyjściowej długości. Wielkość wydłużenia mieściła się w bezpiecznych granicach, które według większości autorów nie powinny przekraczać 15% wyjściowej długości leczonego segmentu ruchowego [3,5,23]. W praktyce niejednokrotnie jednoetapowo wykonuje się znacznie większe wydłużenia sięgające nawet 25% wyjściowej długości wydłużanego odcinka. Jest to poddyktowane chęcią ograniczenia liczby zabiegów operacyjnych [19]. Należy jednak zauważyć, że wraz ze zwiększeniem wielkości wydłużenia określonego segmentu ruchowego wzrasta ryzyko wystąpienia powikłań ze strony tkanek miękkich i stawów. Morawicz uważa, że większe wydłużenia (nawet do 35%) można wykonać jedynie u pacjentów z achondroplazją, u których występuje nadmiar tkanek miękkich. W pozostałych przypadkach należy pamiętać o możliwości pojawienia się przykurczów w stawach sąsiadujących z miejscem wydłużenia [19].

**Table VII.** Coefficients of correlation between individual subphases in unoperated on limb (KOP) in groups I and II  
Spearman's rank correlation coefficient  
**Tab. VII.** Współczynnik korelacji w grupach I i II między poszczególnymi subfazami kończyny nieoperowanej (KNOP)  
Współczynniki korelacji rang Spearmana

Group I (short tibia)/Grupa I (skrócenie goleni)					
KNOP					
Variable/Zmienna	IC	LR	MS	TS	PS
IC	1,000	-0,140	-0,510*	-0,465*	-0,129
LR	-0,140	1,000	-0,291	0,061	0,376
MS	-0,510*	-0,291	1,000	-0,330	-0,218
TS	-0,465*	0,061	-0,330	1,000	-0,091
PS	-0,129	0,376	-0,218	-0,091	1,000

  

Group II (short femur)/Grupa II (skrócenie uda)					
KNOP					
Variable/Zmienna	IC	LR	MS	TS	PS
IC	1,000	-0,049	-0,467*	-0,589*	0,020
LR	-0,049	1,000	-0,065	0,030	0,237
MS	-0,467*	-0,065	1,000	0,321	0,051
TS	-0,589*	0,030	0,321	1,000	-0,326
PS	-0,134	0,378	-0,220	-0,087	1,000

\*p < 0.05 Spearman's rank correlation coefficient

\*p < 0,05, Współczynniki korelacji rang Spearmana

IC – initial contact, LR – loading response, MS – mid stance, TS – terminal stance, PS – pre swing

Ponieważ zabieg operacyjny jest dopiero początkiem długotrwałego leczenia fizjoterapeutycznego, które wymaga wielu wyrzeczeń ze strony chorego, wydłużanie kończyn wykonuje się u dzieci 6–7-letnich. Znacznie łatwiej można u nich uzyskać akceptację zastosowanej terapii, współpracę w czasie rehabilitacji



adaptive mechanisms that undoubtedly affect gait parameters. Similar findings were reported by other authors [28,29]. The presented study shows that statistically significant differences between the limbs both in the stance phase and the swing phase occurred only in children with a lengthened tibia. In addition, there was a significant correlation between the operated on and the unoperated on limb in children with a short tibia only in the swing phase.

The study demonstrated that in the children with a lengthened tibia the stance phase in the operated on limb was shorter than in the children with a lengthened femur. This probably results from stronger perceived pain and the fear of loading the limb. The swing phase in the operated on limb in the children with a lengthened tibia was longer than in the children with a lengthened femur. This suggests that children with a lengthened tibia need much more time to compensate for dysfunction. From a biological point of view, this can be explained by the characteristics of the lengthened bone. The tibia is a segment with a poorly developed vascular system, hence bone formation and remodelling processes are very slow there. Therefore, it is much more difficult to work out basic motor activity [31,32]. However, none of the observed differences were statistically significant. In turn, the statistical analysis of correlations between the examined parameters showed a significant correlation between the groups only during the swing phase in the unoperated on limb.

The study also shows that both in the children with an elongated femur or tibia, three of the five subphases of the stance phase in the operated on limb and the unoperated on limb were longer, and two shorter compared to the standards by J. Perry. The postoperative subphases of initial contact, loading response and preswing were longer, while the subphases of midstance and terminal stance were shorter. All the differences were very significant. It has been speculated that the longer initial contact may mean that children after limb lengthening require more time to inhibit the 'front pendulum' and have a problem putting load on the foot. The described difficulties, due to the fact that this is the last stage of controlled limb movement, are related to disorders of eccentric work, i.e. control of the motion-coordination system. The loading response is the beginning of double limb support which occurs between the heel strike of the limb and toe off of the contralateral limb. This situation requires dynamic stabilisation of the whole body to keep balance on one hand and also to swing body weight, as well as maintain the movement trajectory. In addition the important task of this subphase is also the time of transition from the double support phase to the single support phase, which is associated with a change in the stability point. The last significantly extended subphase is preswing, i.e. the second double support pe-

oraz dobry kontakt z personelem medycznym [3,5,14,19]. W przedstawionych badaniach wiek leczonych dzieci wynosił od 7 do 10 lat. Nie odbiegał zatem od wieku dzieci leczonych sposobem Ilizarowa, opisywanych w dostępnym piśmiennictwie [24,25]. Aparat Ilizarowa był założony na leczonej kończynie w przypadku wydłużanego uda średnio na 161 dni, a goleni średnio na 188 dni. Czas ten zależał od wielkości skrócenia oraz postępu przebudowy regeneratu kostnego. Odpowiadał on wytycznym prezentowanym w dostępnym piśmiennictwie, gdzie kość wydłuża się z prędkością 1 mm/dobę, a następnie utrzymuje się aparat na kończynie przez okres czterokrotnie dłuższy niż czas wydłużania [3].

Jedną z podstawowych funkcji kończyn dolnych jest lokomocja. W przedstawionych badaniach zauważono, że zarówno u dzieci z wydłużanym udem, jak i podudziem długość kroku kończyną operowaną była większa niż zdrową. Nie zaobserwowano natomiast różnic w czasie trwania kroku w obu kończynach dolnych. Przypuszcza się, że jest to adaptacja bazująca na kompensacji zmierzającej do poprawy wydatku energetycznego chodu. Podobne zmiany zaobserwowała w swoich badaniach Wrzosek, która uważa, że spowodowane to jest asymetrycznym ustawieniem stawów stępu i kolanowego, które utrzymuje się nawet po wyrównaniu skrócenia [26]. Podobną zależność u swoich pacjentów zauważyli także Kou-An L. i wsp. [27]. Dodatkowo w grupie I (skrócenie goleni) długość kroku kończynami operowaną i nieoperowaną jest mniejsza w stosunku do ich odpowiedników w grupie II (skrócenie uda). Wyżej opisane różnice nie nosiły jednak znamion istotności statystycznej.

Według J. Perry faza podporu powinna trwać 60%, a faza przeniesienia 40% cyklu chodu [30]. Na podstawie przeprowadzonych badań zauważono, że u dzieci z nierównością kończyn dolnych faza podporu zarówno kończyną operowaną, jak i nieoperowaną uległa wydłużeniu, a faza przeniesienia skróceniu w stosunku do normy. Opisane różnice były statystycznie istotne. Dodatkowo zwrócono uwagę, że w badanych grupach faza podporu kończyną operowaną była krótsza w stosunku do tej samej fazy kończyną nieoperowaną. Analogicznie faza przeniesienia była dłuższa w kończynie operowanej niż w kończynie nieoperowanej. Przypuszcza się, iż w tym przypadku mechanizmy kompensacyjno-adaptacyjne dążą do usymetryzowania funkcjonalnego chodu. Z biologicznego punktu widzenia dla organizmu lepsza jest dysfunkcja symetryczna niż asymetryczna. W związku z tym kończyna nieoperowana będzie dążyć do wyrównania czasu trwania fazy podporu kończyną operowaną. To dążenie do symetrii będzie wyrazem prawidłowych mechanizmów kompensacyjno-adaptacyjnych mających niewątpliwie wpływ na cechy chodu. Podobne rezultaty uzyskali także inni autorzy [28,29]. Z przedstawionych badań wynika, że różnice staty-



riod, which is to prepare the limb for the swing phase. Although preswing is the final stage of the stance phase, muscle activity is characteristic for the swing phase. Between the subphases preparing the lower limb for swing, i.e. terminal stance and preswing, the posterior calf muscles are deactivated and anterior muscles activated. For this reason, patients with low functional stabilization tend to reduce the subphases that require dynamic stabilization and proper coordination of posture [31,32].

The postoperative midstance and terminal stance were significantly shorter as compared to the normal values by J. Perry. Midstance is a subphase that makes up the first half of the single limb stance. Here it is important to stabilize the abdomen and limb at the moment when the body weight is above the supporting foot. The terminal stance ends the single limb stance. This subphase starts when the heel of the supporting limb is taken off the ground, which in turn moves the centre of gravity forwards. Disorders in this subphase usually concern forefoot propulsion [30]. All the observed differences were significant.

In addition, the study found that the normal values for the above-discussed subphases were more exceeded in group I (short tibia). Comparison between the groups in terms of the duration of individual subphases in operated on and unoperated on limbs was in favour of the children with a lengthened femur.

Many authors analysing gait problems focus on the basic division of the gait cycle into the stance and swing phases. The available literature does not present any specific paediatric gait analysis for individual subphases in children after lower limb lengthening, and therefore the findings from this study cannot be discussed with reference to other reports.

The presented gait analysis can be a very valuable example of objective research into locomotion disorders in children with lengthened legs. The use of increasingly accurate measuring devices for motion analysis is therefore necessary to obtain the best possible clinical outcome. It also allows researchers to detect changes in gait pattern, and thus monitor the treatment process in patients with musculoskeletal dysfunctions. Another important thing is that biomechanical analysis is a concept merging two aspects, biological and mechanical. The first of these reflects processes that take place in the body, and the second one aims at explaining and measuring them. On the other hand, a comprehensive clinical study that includes not only the medical aspect but also the rehabilitation and psychological aspects can also become a valuable measure of the functional, psychological and social status of paediatric patients.

stycznie istotne między kończynami zarówno w fazie podporu, jak i przeniesienia wystąpiły jedynie u dzieci z wydłużonym podudziem. Dodatkowo wykazano obecność zależności statystycznie istotnej u dzieci ze skróceniem goleni jedynie w fazie przeniesienia pomiędzy kończynami operowaną i nieoperowaną.

Z przeprowadzonych badań wynika również, że zarówno u dzieci z wydłużanym udem, jak i podudziem trzy z pięciu subfaz fazy podporu kończynami operowaną i nieoperowaną uległy wydłużeniu, a dwie skróceniu w stosunku norm wg J. Perry. Subfazy, które zostały wydłużone, to: initial contact, loading response, pre swing. Z kolei skrócenie czasu trwania poszczególnych subfaz dotyczyło mid stance oraz fazy terminal stance. Wszystkie zauważone różnice były silnie istotne statystycznie. Przypuszcza się, że wydłużenie subfazy initial contact może oznaczać, że dzieci po zabiegu wydłużania kończyn dolnych potrzebują więcej czasu na wyhamowanie „wahadła przedniego” oraz mają problem z przejściem obciążenia na stopę. Opisane trudności, ze względu na fakt, iż jest to ostatni etap fazy kontroli motorycznej kończyny, są związane z zaburzeniem pracy ekscentrycznej, czyli kontrolą w układzie ruch–koordynacja. Z kolei subfaza loading response stanowi początek okresu podwójnego podparcia, czyli sytuację, w której pięta kończyny wykroczonej jest już w kontakcie z podłożem a paluch kończyny zakroczonej jest właśnie odrywany od podłoża. Sytuacja ta wymaga dynamicznej stabilizacji całego ciała potrzebnej z jednej strony do utrzymania równowagi, a z drugiej do przenoszenia masy ciała oraz utrzymania i zachowania kierunku ruchu. Dodatkowo istotnym zadaniem tej subfazy jest również przejście z fazy podwójnego podparcia do fazy pojedynczego podporu, co wiąże się ze zmianą punktu stabilności. Ostatnią subfazą, która uległa znacznemu wydłużeniu, jest pre swing, czyli okres drugiego podwójnego podporu, który ma na celu przygotowanie kończyny do fazy przeniesienia. Mimo że omawiana subfaza jest ostatnim etapem fazy podporu, to jednak aktywność mięśniowa jest już charakterystyczna dla fazy przeniesienia. Pomiędzy subfazami przygotowującymi kończynę dolną do przeniesienia, czyli między terminal stance a pre swing, nastąpiła zmiana aktywności mięśni łydki z tylnej grupy na przednią. Z tego powodu pacjenci z małą stabilizacją czynnościową skracają te subfazy, które wymagają dynamicznej stabilizacji oraz prawidłowej koordynacji pozycji [31,32]. Z kolei subfazy mid stance i terminal stance uległy znacznemu skróceniu w stosunku do norm wg J. Perry. Mid stance jest subfazą stanowiącą pierwszą połowę okresu pojedynczego podparcia. Istotne znaczenie ma tu stabilizacja tułowia i kończyny w momencie,



## CONCLUSIONS

The Ilizarov technique allows lengthening limbs in children, but a much better outcome is achieved after femoral lengthening as compared to tibial lengthening. The postoperative gait pattern is abnormal, so it is very important to carry out relevant motor rehabilitation after the treatment of leg length discrepancy using the Ilizarov technique.

kiedy masa ciała jest ustawiona nad stopą podporową. Z kolei terminal stance kończy okres pojedynczego podporu. Subfaza ta rozpoczyna się w momencie oderwania pięty kończyny podporowej, co w efekcie prowadzi do przeniesienia środka ciężkości do przodu. W omawianej subfazie najczęściej zaburzone jest z nich obrazuje procesy, które toczą się w organizmie, natomiast drugi stanowi próbę wytłumaczenia i zmierzenia tych procesów. Z kolei kompleksowe badanie kliniczne uwzględniające nie tylko aspekt medyczny, ale i rehabilitacyjno-psychologiczny może stać się również wartościowym miernikiem stanu czynnościowego oraz psychologiczno-socjalnego małych pacjentów.

## WNIOSKI

Metoda Ilizarowa pozwala na uzyskanie wydłużenia kończyn u dzieci, zdecydowanie jednak lepsze wyniki osiąga się po wydłużeniu uda niż podudzia. Stereotyp chodu po operacji odbiega od normy, zatem niezwykle ważne staje się przeprowadzenie odpowiedniego usprawniania ruchowego po leczeniu nierówności kończyn dolnych metodą Ilizarowa.

## REFERENCES

1. Wagner H. Operative Beinverlängerung. *Chirurg*. 1971; 42: 260–266.
2. Wagner H. Operative lengthening of the femur. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1978; 136: 125–142.
3. Tensorowski M., Zarzycka M. Podstawowe zasady wydłużania kończyn. Kasper. Kraków 1998.
4. Novikov K.I., Subramanyam K.N., Muradisinov S.O., Novikova O.S., Kolesnikova E.S. Cosmetic lower limb lengthening by Ilizarov apparatus: what are the risks? *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2014; 472(11): 3549–3556.
5. Hasler C.C., Krieg A.H. Current concepts of leg lengthening. *J. Child. Orthop.* 2012; 6(2): 89–104.
6. Latash M.L. Fundamentals of motor control. Elsevier 2017.
7. Latash M.L. Biomechanics of motor control. Academic Kress 2015.
8. Wrzosek Z., Konieczny G. Usprawnianie chorych leczonych metodą Ilizarowa z powodu skrótu w obrębie kości udowej. *Fizjoterapia* 2001; 9(1): 53–55.
9. Pasierbek M., Gazdzik T.S., Ryba J., Barczyński A., Golonka J. Ocena zakresu ruchomości stawu kolanowego w trakcie wydłużania uda metodą Ilizarowa. *Ortop. Traum. Rehab.* 2002; 4(5): 622–625.
10. Napiontek M. Zasady rehabilitacji chorych leczonych metodą Ilizarowa. *Chir. Narz. Ruchu Ortop. Pol.* 2000; 65(3): 287–294.
11. Lisiński P., Stryła W. Zasady usprawniania leczniczego w przypadkach wydłużania kończyn dolnych. *Ortop. Traum. Rehab.* 2002; 4(4): 503–506.
12. Marciniak W. Nierówność kończyn dolnych – etiopatogeneza i następstwa. *Chir. Narz. Ruchu Ortop. Pol.* 1994; 59(Supl. 1): 1–9.
13. Umer M., Rashid H., Umer H.M., Raza H. Hip reconstruction osteotomy by Ilizarov method as a salvage option for abnormal hip joints. *Biomed. Res. Int.* 2014; 835681.
14. Gouron R. Surgical technique and indications of the induced membrane procedure in children. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* 2016; 102(1 Suppl): S133–139.
15. Simpson A.H., Halliday J., Hamilton D.F., Smith M., Mills K. Limb lengthening and peripheral nerve function-factors associated with deterioration of conduction. *Acta Orthop.* 2013; 84(6): 579–584.
16. Fan J., Zhang X., Liu T., Ling L., Chen T., Jie S. Treatment of external fixator in young patients with valgus deformity of the knee accompanied with leg shortening. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2013; 38(2): 191–195.
17. Fu X., Zhang X., Li Z., Yin M., Wu K. Limping gait improvement by femoral lengthening in ankylotic hips and limb length discrepancy in young adults. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2012; 37(5): 491–494.
18. Ilizarov G. Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1990; 250: 8–26.
19. Morasiewicz L. Strategia i taktyka postępowania w wydłużaniu kończyn. *Ortop. Traum. Rehab.* 2002; 4(3): 310–315.
20. Wall A. Leczenie operacyjne nierówności kończyn. *Chir. Narz. Ruchu Ortop. Pol.* 1994; 59(Supl. 1): 11–18.
21. Wall A., Morasiewicz L., Dragan Sz., Krawczyk A., Uher T. Analiza wskazań i taktyki postępowania leczniczego w operacyjnym leczeniu nierówności kończyn metodą Ilizarowa. *Chir. Narz. Ruchu Ortop. Pol.* 1994; 59(Supl. 1): 318–322.
22. Siffert R.S. Lower limb length discrepancy. *J. Bone Joint. Surg.* 1987; 69A(7): 1100–1106.
23. Kawamura B. Limb lengthening by means of subcutaneous osteotomy. *J. Bone Joint. Surg.* 1968; 50A(5): 851–878.
24. Rozbruch S.R., Paley D., Bhavane A., Herzenberg J.E. Ilizarov hip reconstruction for the late sequelae of infantile hip infection. *J. Bone Joint Surg.* 2005; 87(5): 1007–1018.
25. Perttunen J.R., Anttila E., Södergård J., Merikanto J., Komi P.V. Effect of intramedullary gradual elongation of shorter limb on gait patterns. *Pediatr. Int.* 2003; 45(3): 324–332.
26. Wrzosek Z. Nierówna długość kończyny dolnej i jej leczenie metodą osteogenezy dystrakcyjnej – aspekt rehabilitacyjny. *Fizjoterapia* 2001; 9(1): 49–52.
27. Lai K.A., Lin C.J., Jou I.M., Su F.C. Gait analysis after total hip arthroplasty with leg-length equalization in women with unilateral congenital complete dislocation of the hip-comparison with untreated patients. *J. Orthop. Res.* 2001; 19: 1147–1152.



28. Giannikas K.A., Maganaris C.N., Karski M.T., Twigg P., Wilkes R.A., Buckley J.G. Functional outcome following bone transport reconstruction of distal tibia defects. *J. Bone Joint. Surg. Am.* 2005; 87: 145–152.
29. Perttunen J.R., Anttila E., Södergård J., Merikanto J., Komil P.V. Gait asymmetry in patients with limb length discrepancy. *Scand J. Med. Sci. Sports* 2004; 14: 49–56.
30. Perry J. *Gait analysis: normal and pathological function.* Slack 1992.
31. Schuler N.B., Bey M.J., Shearn J.T., Butler D.L. Evaluation of an electromagnetic position tracking device for measuring in vivo, dynamic joint kinematics. *J. Biomech.* 2007; 38: 2113–2117.
32. Milis P., Morrison S., Lloyd D.G., Barrett R.S. Repeatability of 3D gait kinematics obtained from an electromagnetic tracking system during treadmill locomotion. *J. Biomech.* 2007; 40(7): 1504–1511.