

**Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu**
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35
51-612 Wrocław
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Łukasz Pawik
Zakład Fizjoterapii
w Dysfunkcjach Narządu Ruchu
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

Wniosek

z dnia 22.09.2023 r.

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie **nauk medycznych i nauk o zdrowiu** w dyscyplinie¹ **nauk o kulturze fizycznej**. Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego:

Ocena wybranych parametrów biomechanicznych oraz skuteczności procesu leczenia i rehabilitacji pacjentów po zastosowaniu metody Ilizarowa w dysfunkcjach kończyn dolnych
(cykl 5 powiązanych tematycznie artykułów naukowych)

Wnoszę – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym***²

Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art.

232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html

signed by
Podpisano przez:

Łukasz Michał
Pawik

(podpisano przez)
Data i godzina:
2023-09-22 12:35

Załączniki:

1. Dane wnioskodawcy
2. Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia naukowego doktora
3. Autoreferat
4. Wykaz osiągnięć naukowych i analiza naukometryczna
5. Potwierdzenie danych naukometrycznych przez Ośrodek Informacji Naukowej Biblioteki Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
6. Kopie prac stanowiących osiągnięcie naukowe
7. Oświadczenia współautorów o merytorycznym wkładzie w powstawanie prac wchodzących w skład osiągnięcia
8. Zaświadczenia o projektach naukowych, stażach i współpracy z instytucjami naukowymi

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

² * Niepotrzebne skreślić.

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO WE WROCŁAWIU

WYDZIAŁ FIZJOTERAPII



WYDANY W RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

DYPLOM

Łukasz Michał Pawik

urodzony dnia 17 kwietnia 1984 r. w Sieradzu

na podstawie przedstawionej rozprawy doktorskiej

Ocena funkcjonalna pacjentów z nierówną długością kończyn dolnych w obrębie podudzia leczonych metodą Ilizarowa

oraz po złożeniu wymaganych egzaminów uzyskał stopień naukowy

DOKTORA

NAUK O KULTURZE FIZYCZNEJ

nadany uchwałą Rady Wydziału Fizjoterapii

z dnia 11 czerwca 2015 r.

Promotor w przewodzie
doktorskim

Prof. dr hab. Zdzisława Wrzosek

Recenzenci w przewodzie
doktorskim

Dr hab. Aneta Bac

Prof. dr hab. n. med. Wojciech Hagner

Wrocław, 25 września 2015 r.

(podpis promotora)

DZIEKAN
Wydziału Fizjoterapii

dr hab. Ewa Demczuk-Włodarczyk,
profesor nadzwyczajny
(pieczęć imienna i podpis dziekana)

REKTOR

Prof. dr hab. Juliusz Migasiewicz
(pieczęć imienna i podpis rektora)

AUTOREFERAT

OPIS DOROBKU I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

dr Łukasz Pawik

Zakład Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu

Wydział Fizjoterapii

Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we
Wrocławiu



**AKADEMIA
WYCHOWANIA
FIZYCZNEGO
IM. POLSKICH
OLIMPIJCZYKÓW
WE WROCLAWIU**

Wrocław, 2023

1. Dane osobowe _____	4
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe / artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej _____	4
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych / artystycznych _____	4
4. Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do wnioskowania o stopień naukowy doktora habilitowanego _____	7
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego / artystycznego _____	7
4.2. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego _____	8
4.3. Omówienie podstaw teoretycznych, celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania _____	9
4.3.1. Wprowadzenie _____	9
4.3.2. Główne kierunki badań w ramach cyklu publikacyjnego _____	11
4.3.3. Omówienie wyników badań prac stanowiących cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych _____	12
4.3.4. Podsumowanie i wnioski _____	22
4.3.5. Piśmiennictwo _____	24
4.4. Wkład osiągnięcia naukowego do rozwoju dziedziny nauk medycznych i nauk o zdrowiu w dyscyplinie nauk o kulturze fizycznej oraz jego implikacje praktyczne _____	27
5. Informacja o wykazaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej _____	29
5.1. Staże naukowe _____	29
5.2. Współpraca z instytucjami naukowymi _____	30
6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych _____	32
6.1. Główne kierunki aktywności naukowej _____	32
6.2. Kierownictwo projektów badawczych _____	33
6.3. Zestawienie tematyczne i omówienie aktywności naukowej _____	35
7. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę _____	42
7.1. Osiągnięcia dydaktyczne _____	42
7.2. Promotorstwo i recenzje _____	43
7.3. Osiągnięcia organizacyjne i pełnione funkcje _____	43

7.4. Osiągnięcia popularyzujące naukę _____	44
8. Inne informacje ważne z punktu widzenia kandydata dotyczące jego kariery zawodowej	45
8.1. Bierny i czynny udział w konferencjach _____	45
8.2. Ukończone kursy i szkolenia _____	46
8.3. Członkostwo w Towarzystwach Naukowych _____	47
8.4. Nagrody i wyróżnienia _____	48

1. Dane osobowe

Imię i Nazwisko Łukasz Pawik

Stopień naukowy doktor nauk o kulturze fizycznej

Aktualne miejsce pracy Adiunkt badawczo-dydaktyczny, Zakład Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu, Wydział Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu, al. Ignacego Jana Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe / artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- **Stopień doktora nauk o kulturze fizycznej** uzyskany dnia 11.06.2015 nadany uchwałą Rady Wydziału Fizjoterapii Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu na podstawie rozprawy doktorskiej: „*Ocena funkcjonalna pacjentów z nierówną długością kończyn dolnych w obrębie podudzia leczonych metodą Ilizarowa*”. Promotor - Prof. dr hab. Zdzisława Wrzosek.
- **Dyplom magistra fizjoterapii** uzyskany dnia 02.07.2008 na Wydziale Fizjoterapii, Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu
- **Dyplom licencjata fizjoterapii** uzyskany dnia 12.07.2006 na Wydziale Fizjoterapii, Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych / artystycznych

- **2015r. – nadal** Adiunkt badawczo-dydaktyczny w Zakładzie Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu, Wydział Fizjoterapii, Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

- **2016r. – 2020r.** Asystent w Katerze i Zakładzie Rehabilitacji, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu
- **2008r. – 2015r.** Asystent w Zakładzie Fizjoterapii w Ortopedii i Reumatologii, Katedry Fizjoterapii i Terapii Zajęciowej w Dysfunkcjach Narządu Ruchu, Wydział Fizjoterapii, Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu

Moje główne zainteresowania naukowe koncentrują się na monitorowaniu oddziaływania leczenia z wykorzystaniem metody Ilizarowa oraz zastosowania różnych form fizjoterapii u pacjentów z dysfunkcjami kończyn dolnych, na wybrane wskaźniki biomechaniczne oraz komponenty zdrowia i jakość życia tych pacjentów.

Mój życiowy dorobek naukowy stanowi **32** pełnotekstowych publikacji, w tym **23** pozycje w czasopismach posiadających Impact Factor oraz **9** pozycji w czasopismach z listy MNiSW nieposiadających IF.

Sumaryczna liczba punktów za artykuły z listy MNiSW wynosi **222** punktów (do 2019 roku) oraz **1660** punktów (od 2019 roku), wartość wskaźnika wpływu IF **50,592**. Liczba cytowań wynosiła **129**, natomiast bez autocytowań wg Web of Science wynosiła **86**, indeks Hirscha: **7** (dane na dzień 05.09.2023 sporządzone przez Ośrodek Informacji Naukowej AWF Wrocław).

Biorąc pod uwagę osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do wnioskowania o stopień naukowy doktora habilitowanego, mój dorobek naukowy stanowi **5** artykułów, o łącznej punktacji **Impact Factor = 15,917; liczba punktów MEiN = 520**.

Przed uzyskaniem stopnia doktora, mój dorobek naukowy obejmował **5** artykułów, w tym **2** prace oryginalne opublikowane w czasopismach zagranicznych o sumarycznej punktacji **IF = 1,731; MNiSW = 35** oraz **3** rozdziały w monografii.

Po uzyskaniu stopnia doktora, moje osiągnięcia naukowe obejmowały **27** artykułów, w tym **22** prace oryginalne w czasopismach zagranicznych o punktacji **MEiN = 1720 i sumarycznym IF = 48,861**. Suma uzyskanych punktów MEiN za wszystkie prace wg Ośrodka Informacji Naukowej AWF Wrocław wynosiła **1831** punktów.

Po uzyskaniu stopnia doktora w roku 2015 badania naukowe realizowałem w ramach badań statutowych oraz badań naukowych służących rozwojowi młodych naukowców. W przeszłości i aktualnie moja działalność naukowo-badawcza wiązała się również ze współpracą z innymi zespołami badawczymi. Za niezwykle cenną uważam współpracę ze specjalistami z Instytutu Nauk Medycznych Uniwersytetu Opolskiego, Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego oraz Uniwersytetu Medycznego im. Piastów Śląskich we Wrocławiu (*rozdział 5.2*).

Jestem również kierownikiem B+R grantu realizowanego w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju pt. „*SPINETIME - Przyszłość w fizjoterapii na odległość*”. To projekt badawczo-rozwojowy, w ramach którego powstała innowacyjna metoda analityczno-terapeutyczna bólu kręgosłupa pochodzenia mechanicznego, w oparciu o autorski algorytm diagnostyczno-terapeutyczny wspomagany przez sztuczną inteligencję (SI). W ramach dalszych badań, powstawać będą protokoły terapeutyczne dotyczące również stawów kończyn górnych i dolnych, dzięki którym możliwe będzie uzyskanie pomocy w postaci spersonalizowanych technik autoterapeutycznych u pacjentów w różnym stadium dysfunkcji narządu ruchu, eliminując przy tym personalne czynniki ryzyka pacjentów (*rozdział 6.2*).

Odbyłem również 4 staże zawodowe w kraju i zagranicą, większość z nich zakończyła się wspólnymi publikacjami związanymi z wykorzystaniem nowoczesnych metod leczenia i rehabilitacji pacjentów z dysfunkcjami w obrębie kończyn dolnych oraz monitorowaniem ich aktualnego stanu funkcjonalnego (*rozdział 5.1*).

Nawiązałem także międzynarodowe kontakty naukowe, ze specjalistami realizującymi badania dotyczące nowoczesnych technik diagnostyki, fizjoterapii pacjentów z dysfunkcjami narządu ruchu i kręgosłupa we Francji oraz leczenia problemów naczyniowych w obrębie kończyn dolnych z Niemiec (*rozdział 5.2*).

Do najważniejszych osiągnięć naukowych zaliczam przede wszystkim:

- opracowanie protokołu spersonalizowanej rehabilitacji dla pacjentów po leczeniu dysfunkcji kończyn dolnych metodą Ilizarowa;
- wykorzystanie nowoczesnych technologii do precyzyjnej oceny biomechaniki chodu i równowagi ciała pacjentów leczonych z wykorzystaniem aparatu Ilizarowa;
- długoterminowe monitorowanie efektów leczenia i rehabilitacji pacjentów z zaburzeniami kończyn dolnych leczonych metodą Ilizarowa.

Realizowana przeze mnie dydaktyka, ma ścisły związek z pracą naukowo-badawczą, bowiem prowadzę wykłady i ćwiczenia z przedmiotów: „Fizjoterapia kliniczna w dysfunkcjach narządu ruchu”, „Diagnostyka funkcjonalna w dysfunkcjach układu ruchu” czy „Planowanie fizjoterapii w dysfunkcjach układu ruchu”. Za moje największe osiągnięcie dydaktyczne uważam opracowanie i realizację „ścieżki specjalizacyjnej” z przedmiotu: „Traumatologia sportowa z elementami fizjoterapii”, która od wielu lat cieszy się wielką popularnością wśród studentów IV i V roku kierunku Fizjoterapia (*rozdział 7.1*).

Za moje osiągnięcia naukowo-dydaktyczne byłem wielokrotnie nagradzany przez Rektora oraz Radę Wydziału Fizjoterapii Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu (*rozdział 8.4*).

- 4. Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do wnioskowania o stopień naukowy doktora habilitowanego** - omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

- 4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego / artystycznego** – stanowiącego cykl powiązanych tematycznie publikacji naukowych obejmujących ciągłość zainteresowań badawczych ich pierwszego autora pod wspólnym tytułem:

Ocena wybranych parametrów biomechanicznych oraz skuteczności procesu leczenia i rehabilitacji pacjentów po zastosowaniu metody Ilizarowa w dysfunkcjach kończyn dolnych

Osiągnięcie będące podstawą do wnioskowania o stopień naukowy doktora habilitowanego obejmuje cykl **pięciu** powiązanych tematycznie artykułów naukowych o sumarycznym wskaźniku **Impact Factor = 15,917; liczba punktów MEiN = 520***

We wszystkich publikacjach jestem pierwszym autorem.

* dane: Ośrodek Informacji Naukowej,
Biblioteka Akademii Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

4.2. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego - będących podstawą do sformułowania wniosku o nadanie tytułu doktora habilitowanego w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu, w dyscyplinie nauk o kulturze fizycznej:

1. **Pawik Łukasz**, Fink-Lwow Felicja, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Górski Radosław, Pawik Malwina, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr. Kinematic parameters after tibial nonunion treatment using the Ilizarov method. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2022, 23 (1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05683-1>.

Impact Factor: **2.300**, Punktacja MEiN: **100.00**

2. **Pawik Łukasz**, Fink-Lwow Felicja, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Górski Radosław, Pawik Malwina, Urbański Wiktor, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr. Assessment of gait after treatment of tibial nonunion with the Ilizarov method. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18 (8), 1-12. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084217>.

Impact Factor: **4.614**, Punktacja MEiN: **140.00**

3. **Pawik Łukasz**, Wieteki Paweł, Leśkow Artur, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Urbański Wiktor, Morasiewicz Piotr. Gait symmetry analysis in patients after treatment of pilon fractures by the Ilizarov method. *Symmetry (Basel)*. 2021, 13 (2), 1–11. <https://doi.org/10.3390/sym13020349>.

Impact Factor: **2.940**, Punktacja MEiN: **70.00**

4. **Pawik Łukasz**, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr. Assessment of lower limb load distribution in patients treated with the Ilizarov method for tibial nonunion. *Med. Sci. Monit.* 2021, 27, e930849-1–e930849-8. <https://doi.org/10.12659/MSM.930849>.

Impact Factor: **3.386**, Punktacja MEiN: **140.00**

5. **Pawik Łukasz**, Pawik Malwina, Wrzosek Zdzisława, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr. Assessment of the quality of life in patients with varying degrees of equalization of lower limb length discrepancy treated with Ilizarov method. J. Orthop. Surg. Res. 2021, 16 (1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02202-1>.

Impact Factor: **2.677**, Punktacja MEiN: **70.00**

*(*oświadczenia współautorów, określające indywidualny wkład każdego z nich w powstanie ww. publikacji zawarto w osobnym załączniku, w dokumentacji wniosku)*

4.3. Omówienie podstaw teoretycznych, celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

4.3.1. Wprowadzenie

Dysfunkcje w obrębie kończyn dolnych powstające na tle pourazowym, pozapalnym, wrodzonym czy neurogennym stanowią istotny interdyscyplinarny problem nie tylko medyczny, ale i społeczny. Deformacje kostne, stawy rzekome czy nierówna długość kończyn dolnych występuje u ok. 40% populacji, stanowiąc dla współczesnej ortopedii i rehabilitacji znaczące wyzwanie. Wymienione stany chorobowe związane są z wieloma dodatkowymi powikłaniami, w tym między innymi dolegliwościami bólowymi czy zaburzeniami chodu.

U pacjentów z przewlekłym bólem, znacznym ograniczeniem ruchomości stawów czy asymetrią kończyn dolnych, obserwuje się szereg niekorzystnych następstw, ograniczających sprawność funkcjonalną, zdolność lokomocyjną kończyn dolnych oraz w konsekwencji statykę i dynamikę całego ciała. Wszystkie te zaburzenia wpływają ponadto negatywnie na jakość życia pacjentów, zmniejszając siłę mięśniową oraz ograniczając ich sprawność w codziennych aktywnościach fizycznych. Dobór odpowiedniej metody leczenia tych zaburzeń oraz niezbędna kompleksowa rehabilitacja pacjentów powinna, co oczywiste, uwzględniać indywidualne predyspozycje pacjenta, w zależności od celu terapii i oczekiwań lekarza, a przede wszystkim chorego, gdzie ważnym, jak i niezbędnym ogniwem kompleksowych działań jest udział fizjoterapeuty.

Leczenie dysfunkcji kończyn dolnych jest procesem złożonym, a sam proces leczenia uzależniony jest od jej etiologii, współistniejących chorób oraz ogólnego stanu zdrowia i wieku pacjenta.

We współczesnej medycynie do leczenia złamań i deformacji kości, stawów rzekomych czy skrótów kończyn powyżej 3 cm można wykorzystywać stabilizatory zewnętrzne lub metody stabilizacji wewnętrznej śrubami, skoblami, płytami i gwoździami śródszpikowymi. Jednak zdania odnośnie skuteczności poszczególnych sposobów stabilizacji są podzielone, a same efekty procesu leczenia i rehabilitacji niekiedy niezadowalające, zwłaszcza dla pacjenta. Jednym z najczęściej preferowanych sposobów leczenia stabilizacji zewnętrznej jest wykorzystanie aparatu Ilizarowa. Metoda ta jest szczególnie przydatna u pacjentów z dużymi deformacjami, złym stanem skóry i tkanek miękkich, wielopłaszczyznowymi zniekształceniami, towarzyszącym skróceniem kończyny oraz niewłaściwą jakością tkanki kostnej. Aparat Ilizarowa umożliwia dystrakcję, kompresję oraz ewentualną korekcję osi, a przy tym umożliwia także wczesne obciążanie leczonej kończyny.

Mimo wieloletniego stosowania tej metody i jednocześnie ciągłego udoskonalania zarówno techniki chirurgicznej, jak i samego aparatu Ilizarowa, proces leczenia oraz rehabilitacji pacjentów jest jedną z najbardziej skomplikowanych i złożonych procedur realizowanych w ortopedii i traumatologii. Pacjenci wymagają nie tylko stałej opieki i konsultacji lekarskiej, ale przede wszystkim profesjonalnie prowadzonej, długotrwałej fizjoterapii zarówno w trakcie pobytu w szpitalu, jak i po jego opuszczeniu. Z powodu długotrwałego stosowania stabilizatora (który przez swoją budowę prowadzi do ograniczeń w funkcjonowaniu stawów z nim sąsiadujących), w większości przypadków występują również zaniki mięśniowe, ograniczenia strukturalne w obrębie stawu kolanowego i skokowego niekorzystnie wpływające na biomechanikę. W konsekwencji bez prawidłowo przeprowadzonej fizjoterapii, opartą o szczegółową diagnostykę, wszystkie te powikłania mogą wywoływać negatywne następstwa m.in. zaburzenia chodu, równowagi ciała czy ograniczenia sprawności funkcjonalnej.

W rezultacie, mimo zrealizowanej stabilizacji, osiągnięcia prawidłowej osi kończyny czy zrostu kostnego, efekt końcowy z punktu widzenia biomechaniki czy funkcji leczonej kończyny jest w ocenie samych pacjentów często nadal niezadawalający.

Zatem przywrócenie parametrów biomechanicznych, takich jak optymalny zakres ruchomości stawów, wyrównana symetria obciążania kończyn dolnych, prawidłowe parametry chodu, a także brak bólu, świadczą o dobrym rezultacie leczenia oraz rehabilitacji i mają ogromne znaczenie dla jakości życia pacjentów.

Stąd istotne jest poznanie efektów zastosowania metody Ilizarowa na wybrane wskaźniki biomechaniczne kończyn dolnych oraz ocena jakości życia, co wnosi istotne informacje dla: samych pacjentów, chirurgów, ortopedów i rehabilitantów. Precyzyjna analiza efektów terapii i rehabilitacji u pacjentów poddanych stabilizacji przy użyciu aparatu Ilizarowa przyczyni się zatem do optymalizacji efektywności leczenia oraz minimalizacji i identyfikacji niekorzystnych konsekwencji patologicznych.

Tematyka niniejszej rozprawy habilitacyjnej dotyczy oceny efektów leczenia i rehabilitacji w oparciu o wybrane wskaźniki biomechaniczne oraz jakość życia pacjentów, które z jednej strony mają potwierdzić zasadność zastosowania metody Ilizarowa wraz z kompleksową, zindywidualizowaną rehabilitacją pacjentów leczonych z powodu patologii kostnych (powstających na tle pourazowym, pozapalnym czy wrodzonym). Z drugiej strony zaś pozwalają na wskazanie deficytów i ograniczeń, które dla całego zespołu medycznego oraz fizjoterapeutycznego są ważnym kierunkiem dalszych poszukiwań w przywracaniu zdrowia i jakości życia pacjentów.

4.3.2. Główne kierunki badań w ramach cyklu publikacyjnego

W przedstawionym cyklu publikacyjnym można wyróżnić cztery kierunki badań:

1. Ocena ruchomości stawów kończyn dolnych pacjentów po leczeniu stawów rzezkomych z wykorzystaniem metody Ilizarowa.
2. Ocena wybranych parametrów chodu pacjentów po zastosowaniu metody Ilizarowa.
3. Pedobarograficzna ocena sposobu rozkładu obciążeń kończyn dolnych pacjentów po leczeniu stawów rzezkomych z wykorzystaniem metody Ilizarowa.
4. Ocena jakości życia pacjentów po leczeniu asymetrii długości kończyn dolnych metodą Ilizarowa.

4.3.3. Omówienie wyników badań prac stanowiących cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych

Ad.1 Publikacja 1

Pawik Łukasz, Fink-Lwow Felicja, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Górski Radosław, Pawik Malwina, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr. Kinematic parameters after tibial nonunion treatment using the Ilizarov method. BMC Musculoskelet. Disord. 2022, 23 (1), 1–10.

Metoda Ilizarowa jest powszechnie stosowana w przypadku leczenia stawów rzekomych kości piszczelowej, jednak analiza efektywności leczenia tego schorzenia u niektórych pacjentów wskazuje na deficyty po ingerencji terapeutycznej w zakresie zdolności funkcjonalnych kończyn dolnych.

Przywrócenie zakresu ruchu w zajętych stawach jest podstawą optymalnego leczenia, bowiem zakres ruchu wpływa na parametry biomechaniczne chodu i jest ważnym miernikiem oceny leczenia schorzeń narządu ruchu, mającego na celu przywrócenie prawidłowego chodu. W dostępnym piśmiennictwie brakuje doniesień dotyczących oceny parametrów kinematycznych po leczeniu braku zrostu kości piszczelowej metodą Ilizarowa. Jakkolwiek w niektórych badaniach innych zespołów oceniano ruchomość stawów skokowego i kolanowego (w pozycji spoczynkowej) goniometrami po przeprowadzeniu osteotomii przy użyciu aparatu Ilizarowa, należy jednak zaznaczyć, że wykorzystanie tego typu urządzeń nie zapewnia precyzyjnych i powtarzalnych pomiarów. W zrealizowanych w ramach omawianej publikacji badaniach wykorzystano aparaturę opartą o nowoczesne rozwiązania techniczne, zapewniające poprawę dokładności i obiektywizację pomiarów. W badaniach jako pierwsi zastosowaliśmy System Noraxon Myomotion, który umożliwia bardzo dokładne, powtarzalne i obiektywne rejestrowanie ruchomości stawów z dokładnością do $0,1^\circ$ podczas chodu pacjenta. Taka rejestracja parametrów chodu jest jedną z najbardziej wiarygodnych metod oceny ruchomości stawów w warunkach dynamicznych. Istotnym aspektem przeprowadzonych badań, było również jednolite postępowanie pooperacyjne i schemat rehabilitacji pacjentów, długotrwała ich obserwacja, a także adekwatnie dobrana grupa kontrolna.

Celem zrealizowanej pracy było porównanie wybranych parametrów kinematycznych pacjentów 24-48 miesięcy po leczeniu stawów rzekomych kości piszczelowej metodą Ilizarowa z grupą kontrolną zdrowych ochotników.

Do grupy pacjentów zostały zakwalifikowane osoby, u których zrealizowano cały protokół postępowania fizjoterapeutycznego, uwzględniający szczegółowy i indywidualnie zaprojektowany program rehabilitacyjny.

Protokół rehabilitacji został spersonalizowany na podstawie stanu zdrowia każdego pacjenta i jego wydolności funkcjonalnej. Przez cztery tygodnie po operacji pacjenci wykonywali aktywne ćwiczenia stawu biodrowego, kolanowego i skokowego operowanej kończyny w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej z zachowaniem tolerancji bólu oraz ćwiczenia izometryczne (zwłaszcza mięśnia obszernego przyśrodkowego skośnego (VMO), mięśnia pośladkowego wielkiego i średniego). Rehabilitacja obejmowała również terapię powięziową, ćwiczenia propriocepcji oraz mobilizację blizny (począwszy od 14 doby pooperacyjnej). Równocześnie pacjenci byli instruowani w chodzeniu z zastosowaniem sprzętu ortopedycznego zarówno na płaskich powierzchniach, jak i na schodach. W ciągu kolejnych 4–6 tygodni ćwiczenia postępowały w stosunku do wcześniejszych etapów i były uzupełniane ćwiczeniami w pozycji siedzącej, ćwiczeniami równoważnymi, terapią manualną oraz ćwiczeniami wzmacniającymi z gumami oporowymi. Kolejne etapy rehabilitacji (tygodnie 8–10 po operacji) koncentrowały się na ćwiczeniach wzmacniających w pozycji stojącej, ćwiczeniach równoważnych oraz progresji ćwiczeń z wcześniejszych etapów w celu optymalnej poprawy zakresu ruchu i siły mięśniowej.

W badaniu stwierdzono istotne różnice między operowanymi kończynami pacjentów, a niedominującymi kończynami grupy kontrolnej, w zakresie zgięcia stawu biodrowego ($P < 0,001$), odwodzenia stawu biodrowego ($P = 0,006$), i zgięcia stawu kolanowego ($P = 0,010$). Nie zaobserwowaliśmy natomiast istotnych różnic w zgięciu stawu kolanowego między kończyną operowaną i nieoperowaną u pacjentów podobnie jak między kończyną dominującą a niedominującą w grupie kontrolnej ($P = 0,102$).

Z kolei w ocenie parametrów kinematycznych stawu skokowego wykazano istotne różnice między kończyną operowaną pacjentów a kończyną niedominującą grupy kontrolnej w zakresach zgięcia grzbietowego ($P < 0,001$), inwersji ($P < 0,001$) i odwodzenia stopy ($P < 0,001$). Występowały również znaczące statystycznie różnice w zakresie zgięcia grzbietowego

($P = 0,004$) i odwodzenia ($P = 0,001$) stopy między kończyną nieoperowaną pacjentów a dominującą osób z grupy kontrolnej.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że leczenie stawów rzekomych kości piszczelowej metodą Ilizarowa, nie zapewnia pełnej normalizacji parametrów kinematycznych ocenianych po 24–48 miesiącach od zakończenia leczenia i rehabilitacji.

Podsumowując, należy zauważyć, że chociaż stabilizacja z zastosowaniem aparatu Ilizarowa oraz indywidualny schemat rehabilitacji pacjentów zapewnia istotną poprawę dotyczącą struktury zrostu kostnego, pozwalającego na lokomocję bez zaopatrzenia ortopedycznego, to nadal z perspektywy dokładnej analizy i oceny zakresu ruchomości poszczególnych stawów jest to niewystarczające.

Z punktu widzenia klinicznego potwierdzono, że wskazane jest personalizowanie leczenia w zależności od etiologii schorzenia, stanu ogólnego i wieku pacjenta. Stosowany protokół postępowania fizjoterapeutycznego, powinien również uwzględniać w miarę indywidualnych możliwości pacjenta, jak najkrótszy czas pozwalający na poprawę zakresu ruchu, już w początkowych etapach rehabilitacji. Takie działania mają potencjał wskazujący możliwe sposoby optymalizacji oraz zwiększenia efektywności terapii u pacjentów poddawanych leczeniu za pomocą metody Ilizarowa.

Ad. 2 Publikacja 2 i 3

Pawik Łukasz, Fink-Lwow Felicja, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Górski Radosław, Pawik Malwina, Urbański Wiktor, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr. Assessment of gait after treatment of tibial nonunion with the Ilizarov method. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18 (8), 1-12.

Impact Factor: **4.614**, Punktacja MEiN: **140.00**

Pawik Łukasz, Wietecki Paweł, Leśkow Artur, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Urbański Wiktor, Morasiewicz Piotr. Gait symmetry analysis in patients after treatment of pilon fractures by the Ilizarov method. *Symmetry (Basel)*. 2021, 13 (2), 1–11.

Impact Factor: **2.940**, Punktacja MEiN: **70.00**

Ocena parametrów chodu to jeden z kluczowych elementów analizy efektów leczenia i rehabilitacji pacjentów z zastosowaniem aparatu Ilizarowa, wyczerpująco charakteryzującym sposób chodu pacjenta oraz funkcję podporową i lokomocyjną kończyn dolnych. Elementy te determinują prawidłowy model biomechaniki narządu ruchu, a ich dokładna ocena pozwala na wykazanie efektywności zastosowanego leczenia i rehabilitacji. Oczekiwany efektem terapii pacjentów z dysfunkcjami kończyn dolnych jest przede wszystkim poprawa parametrów chodu i uzyskanie wartości zbliżonych do prezentowanych przez osoby zdrowe.

W dostępnej piśmiennictwie naukowym opisano szczegółowo kliniczne oraz radiologiczne efekty leczenia oraz oceniano chód u pacjentów leczonych metodą Ilizarowa z powodu skrócenia i zniekształcenia kończyn dolnych, a także po artrodezach stawu skokowego. Jednak w większości tych prac oceniano jedynie wybrane parametry chodu, co pozwalało opisać chód jakościowo bez komponenty ilościowej pozwalającej na analizę porównawczą. Konkludując jak dotąd brak jest prac analizujących ilościowo parametry dynamiki chodu.

W przypadku naszych badań zastosowanie platformy pedobarograficznej umożliwiło kompleksową ocenę parametrów dynamiki chodu osób leczonych metodą Ilizarowa z powodu stawów rzekomych kości piszczelowej oraz złamań typu pylon. Do tej pory w dostępnym piśmiennictwie nie dotarliśmy do badań, w których zastosowano platformę u takiej grupy pacjentów.

W badaniu stwierdzono statystycznie istotne różnice między grupą leczoną a grupą kontrolną we wszystkich analizowanych parametrach. Dla badanych parametrów chodu (force forefoot max, force backfoot max, długość kroku, faza podporu, faza wymachu, czas kroku, kadencja) zaobserwowano statystycznie istotne różnice między pacjentami a grupą kontrolną. W grupie pacjentów istotne statystycznie różnice między operowaną a nieoperowaną kończyną dolną zaobserwowano jedynie dla parametrów force forefoot max i czasu kroku (odpowiednio $p = 0,029$ i $p = 0,045$). Pacjenci prezentowali dłuższe obciążenie kończyny operowanej (0,720 s) niż kończyny nieoperowanej (0,635 s). W przypadku parametrów czasu kroku, rytmu kroku i prędkości chodu osoby zdrowe uzyskały znacznie lepsze wyniki podczas poruszania się, a różnice te były istotne statystycznie przy $p < 0,001$.

Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że leczenie braku zrostu kości piszczelowej metodą Ilizarowa, nie przywróciło prawidłowych parametrów chodu

w omawianej grupie pacjentów. W rzeczywistości parametry chodu pacjentów były istotnie statystycznie gorsze niż osób zdrowych z grupy kontrolnej. Ponadto parametry chodu po leczeniu nie wskazywały na jego symetryczność, a dynamika narządu ruchu pozostawała zaburzona.

Inne wyniki uzyskano w przypadku oceny omawianych parametrów chodu u 20 pacjentów leczonych z powodu złamania typu pylon. Te wysokoenergetyczne, wieloodłamowe złamania powodujące rozległe uszkodzenia tkanek miękkich stanowią około 1%-6% wszystkich złamań kończyn dolnych. W dostępnym piśmiennictwie do tej pory skupiano się na ocenie wyników klinicznych, funkcjonalnych czy radiologicznych tych złamań. Niewiele badań (w sposób mniej dokładny w porównaniu do naszych) analizowało parametry chodu jako miernik zastosowanej metody leczenia u pacjentów po złamaniach typu pylon. W dostępnej literaturze nie znaleźliśmy badań odnoszących się do pacjentów leczonych metodą Ilizarowa oraz także takich, w których otrzymane wyniki porównywano by z grupą zdrowych osób. W świetle powyższego, analiza parametrów oraz symetrii chodu w tej grupie pacjentów była nowatorskim rozwiązaniem.

Leczenie złamań pilonu metodą Ilizarowa odbywało się przez stabilizację złamania, dystrakcję i repozycję. Zastosowane stabilizatory Ilizarowa składały się z trzech lub czterech pierścieni mocowanych do kości piszczelowej i strzałkowej za pomocą drutów Kirschnera.

Pacjenci rozpoczynali chodzenie już w ciągu jednego dnia po zabiegu, a proces rehabilitacji zakładał aktywne ćwiczenia stawu biodrowego, kolanowego i skokowego operowanej kończyny w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej z zachowaniem tolerancji bólu oraz ćwiczenia izometryczne (zwłaszcza mięśnia obszernego przyśrodkowego skośnego (VMO) oraz mięśnia pośladkowego wielkiego i średniego).

W trakcie leczenia oraz rehabilitacji stopniowo następował stopniowy wzrost obciążenia operowanej kończyny, prowadzący do odstawiania kul i chodzenia z pełnym obciążeniem, po około 2–3 miesiącach od rozpoczęcia leczenia.

Stabilizator Ilizarowa usuwano po wystarczającym zrośnięciu złamania, co zostało potwierdzone radiologicznie (obecność co najmniej trzech z czterech warstw korowych kości) i klinicznie (brak bólu i patologicznej ruchomości w miejscu złamania) przez ortopedę. Następnie przez okres 4 tygodni zalecono pacjentom chodzenie z wykorzystaniem dwóch kul łokciowych i częściowym podparciem kończyny operowanej. Na tym etapie fizjoterapia

pacjentów była zindywidualizowana i zakładała progresję ćwiczeń z poprzedniego etapu oraz uzupełnienie protokołu ćwiczeniami w pozycji siedzącej, ćwiczeniami równoważnymi z wykorzystaniem dysków sensomotorycznych oraz terapią tkanek miękkich. Stopniowo zwiększano obciążenie kończyny, uwzględniając stopień przebudowy złamania widoczny na zdjęciu rentgenowskim. W dalszych fazach rehabilitacji, skupiano się na ćwiczeniach wzmacniających w pozycji stojącej z zastosowaniem technik Medycznego Treningu Terapeutycznego. Wszyscy pacjenci mieli taki sam protokół rehabilitacyjny przez cały okres noszenia stabilizatora oraz przez 6–12 tygodni po jego zdjęciu.

W badaniach wykazaliśmy istotne statystycznie różnice w następujących parametrach chodu: maksymalna siła przodostopia (%), długość kroku (cm) i czas kroku (s) między grupą badaną a grupą kontrolną w przypadku kończyny operowanej i kończyny dominującej. Z kolei w grupie pacjentów statystycznie istotne różnice wykazano między kończyną leczoną a zdrową jedynie w przypadku parametru maksymalnej siły przodostopia.

Osoby zdrowe wykazywały istotnie wyższe wartości czasu kroku, kadencji i prędkości podczas lokomocji niż pacjenci, przy czym czas kroku był istotnie statystycznie krótszy, a prędkość i kadencja kroku wyższe. Wszystkie te parametry wykazały statystycznie istotne różnice między grupą leczoną metodą Ilizarowa a grupą kontrolną zdrowych osób.

Uzyskane rezultaty pozwalają na stwierdzenie, że u pacjentów po leczeniu złamań typu pylon metodą Ilizarowa osiągnięta została symetria chodu, niemniej jednak zaobserwowane parametry wciąż różnią się w porównaniu do osób zdrowych. Może być to spowodowane u pacjentów ograniczeniem ruchu w stawie skokowym w wyniku długotrwałego zastosowania stabilizatora zewnętrznego oraz osłabieniem mięśnia brzuchatego łydki, który znacznie wpływa na fazę propulsji. Brak odpowiedniej siły mięśniowej pogarsza parametry chodu, a utrwalone deficyty ruchomości stawu biodrowego i kolanowego powodują brak osiągnięcia takich parametrów, które są charakterystyczne dla osób zdrowych. Podsumowując, pozwala to na stwierdzenie, że okres monitorowania pacjentów oraz intensywne rehabilitacja powinny być wydłużone i oparte na wszechstronnej diagnostyce parametrów chodu, aby skutecznie zredukować występujące deficyty i ograniczenia kończyn dolnych.

Ad.3 Publikacja 4

Pawik Łukasz, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr. Assessment of lower limb load distribution in patients treated with the Ilizarov method for tibial nonunion. Med. Sci. Monit. 2021, 27, e930849-1–e930849-8.

Impact Factor: **3.386**, Punktacja MEiN: **140.00**

Ocena i sposób obciążania kończyn dolnych w pozycji stojącej z wykorzystaniem platformy pedobarograficznej jest istotnym elementem procesu leczenia i rehabilitacji, umożliwiając analizę rozkładu obciążeń sił, działających na stopy oraz monitorowanie ich zmian. Tymczasem w przypadku braku zrostu kości piszczelowej u pacjentów obserwuje się osłabienie mięśni, ograniczenia lub patologiczną ruchomość stawów chorej kończyny, co prowadzi do zaburzenia symetrii obciążeń, a w konsekwencji do upośledzenia funkcji podporowej chorej kończyny oraz bólu czy przeciążenia innych struktur układu ruchu. Symetryczny rozkład obciążeń obu kończyn jest zatem kluczowy w osiągnięciu pozytywnych rezultatów procesu leczenia i rehabilitacji, prowadząc do poprawy statyki całego układu ciała.

Celem niniejszego badania była ocena obciążenia kończyn dolnych u pacjentów poddanych leczeniu metodą Ilizarowa z powodu braku zrostu kości piszczelowej. W badaniu wykorzystano platformę pedobarograficzną Zebris Medical GmbH o wymiarach 1580 × 600 mm, która zawiera 11 264 czujników umożliwiających przeprowadzenie testów statycznych.

We wcześniej opublikowanych pracach naukowych innych autorów platforma służyła do analizy rozkładu obciążeń stóp pacjentów u pacjentów z jednostronną ankylozą stawu skokowo-łódkowego, po osteotomii czy po artrodezie stawu skokowego. Zgodnie z naszą wiedzą, nie opublikowano dotąd badań dotyczących statyki kończyn dolnych po leczeniu braku zrostu kości piszczelowej za pomocą gwoździ, płyt lub stabilizatorów zewnętrznych, w tym aparatu Ilizarowa. Nowatorskim aspektem naszych badań była również analiza procentowego rozkładu obciążenia obu stóp i szczegółowa ocena obciążeń obszarów przodostopia i tyłostopia, dzięki nowoczesnemu oprogramowaniu Footprint. Co istotne, żadna z badanych przez nas osób nie była wcześniej poddana innemu zabiegowi chirurgicznemu w celu leczenia omawianego schorzenia. Stąd metoda Ilizarowa była pierwszą zastosowaną metodą leczenia.

Rozkład obciążenia kończyn dolnych (%), został oceniony z otwartymi i zamkniętymi oczami. Każda osoba trzykrotnie przeprowadzała 60-sekundowy test z oczami otwartymi oraz zamkniętymi, w swobodnej pozycji stojącej, ze stopami ustawionymi na szerokość bioder. Badanie przy oczach zamkniętych miało na celu wywołanie u pacjentów dodatkowej aktywacji receptorów zlokalizowanych w stawach i mięśniach, wykorzystując tym samym zmysły somatosensoryczne i przedsionkowe do utrzymania równowagi.

W zrealizowanych badaniach oceniano rozkład obciążenia na całej stopie oraz w obszarach przodostopia i tyłostopia. Wyniki uzyskane przez pacjentów po leczeniu (2-5 lat po zakończonym procesie leczenia) były porównywane z wynikami zdrowych osób w grupie kontrolnej.

Na podstawie przeprowadzonych badań obu testów (oczy otwarte i zamknięte), nie stwierdzono istotnych różnic w rozkładzie obciążenia stóp oraz poszczególnych obszarów tyłostopia i przodostopia leczonej kończyny w porównaniu z niedominującą kończyną grupy kontrolnej oraz zdrowej kończyny pacjentów w porównaniu z dominującą kończyną grupy kontrolnej.

Oceniając rozkład obciążeń nie stwierdzono również istotnych różnic między operowaną kończyną a niedominującą w grupie kontrolnej dla przodostopia oraz tyłostopia ($p=0,715$ oczy otwarte; $p=0,072$ oczy zamknięte). Ponadto rozkład obciążenia przodostopia i tyłostopia nie różnił się między zdrową (nieoperowaną) kończyną pacjentów a dominującą kończyną grupy kontrolnej ($p=0,585$ oczy otwarte; $p=0,388$ oczy zamknięte).

Również u pacjentów wykazaliśmy symetryczny rozkład obciążeń przodostopia i tyłostopia zarówno w kończynach zdrowych, jak i operowanych.

Podsumowując, można stwierdzić, że pacjenci leczeni stabilizatorami Ilizarowa z powodu aseptycznego braku zrostu kości piszczelowej wykazują symetryczny rozkład obciążeń kończyn po leczeniu, co nie odróżnia ich pod tym względem od osób zdrowych.

W grupie pacjentów zaobserwowaliśmy ponadto także symetryczny rozkład obciążenia kończyn dolnych na całej powierzchni stopy, jak też na przodostopiu i tyłostopiu. Na podstawie przeprowadzonych badań można jednoznacznie wywnioskować, że zastosowanie metody Ilizarowa przynosi oczekiwane rezultaty związane z obciążeniem kończyny dolnej, a tym samym umożliwia przywrócenie prawidłowej biomechaniki statycznej oraz funkcji podporowej kończyn dolnych.

Ad.4 - Publikacja 5

Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Wrzosek Zdzisława, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr. Assessment of the quality of life in patients with varying degrees of equalization of lower limb length discrepancy treated with Ilizarov method. J. Orthop. Surg. Res. 2021, 16 (1), 1-9.
Impact Factor: **2.677**, Punktacja MEiN: **70.00**

W ogólnodostępnym piśmiennictwie istnieją prace, w których analizowano skalę dolegliwości bólowych czy subiektywne zadowolenie pacjentów z wyników leczenia metodą Ilizarowa. Co istotne były to badania, w których analizowano stan pacjentów bezpośrednio po demontażu aparatu, pewną lukę stanowi w tym kontekście ocena, w jaki sposób uzyskany efekt leczenia oraz rehabilitacji wpływa na jakość życia pacjentów w perspektywie długoterminowej.

Celem mojej pracy z cyklu była ocena jakości życia u pacjentów z różnym stopniem wyrównania skrócenia w obrębie podudzia, przynajmniej po 24 miesiącach po zakończonym leczeniu metodą Ilizarowa na tle pourazowym, pozapalnym, wrodzonym czy inwolucyjnym oraz porównaniu z grupą kontrolną, którą stanowiły osoby zdrowe z równą długością kończyn dolnych.

Dla realizacji celu pracy przebadano 119 osób (tj. 58 pacjentów vs 61 osób zdrowych). Grupę 58 pacjentów leczonych metodą Ilizarowa z powodu nierówności kończyn dolnych w obrębie podudzia podzielono na dwie grupy w oparciu o osiągnięty efekt leczenia, czyli zróżnicowany stopień wyrównania kończyny.

Ocenę jakości życia przeprowadzono przy użyciu kwestionariusza WHOQoL-BREF (World Health Organization Quality of Life Test-Bref - WHOQoL-BREF).

Osoby z grupy kontrolnej uzyskały najwyższe wyniki w zakresie indywidualnego postrzegania jakości życia ($4,1 \pm 0,6$), ogólnego postrzegania swojego zdrowia ($3,8 \pm 0,73$) i wszystkich czterech domen QoL fizycznej ($78,8 \pm 9,7$), psychologicznej ($64,2 \pm 12$), relacji społecznych ($73,1 \pm 15,9$) i ogólnego stylu życia ($68,2 \pm 11,7$). Porównując dwie grupy pacjentów, wyższą QoL we wszystkich komponentach zaobserwowano u osób z mniejszą asymetrią kończyn dolnych.

Podsumowując, osoby z grupy kontrolnej uzyskały najwyższe wyniki we wszystkich domenach w porównaniu do pacjentów, ale były one statystycznie istotnie wyższe niż w grupie pacjentów w zakresie samooceny QoL i oceny stanu zdrowia oraz wyższe niż w grupie

2 w domenach: fizycznej, psychologicznej, społecznej i ogólnego stylu życia ($p < 0,05$). Porównanie między pacjentami, tj. grup 1 i 2, wykazało istotnie wyższą QoL w samoocenie, domenach fizycznych i psychologicznych u pacjentów ze skrótem KD poniżej 1 cm ($p < 0,05$).

Średnia wartość oceny poszczególnych dziedzin jakości życia między badanymi grupami nie różniła się istotnie statystycznie jedynie między grupą pacjentów ze skrótem kończyny dolnej do 1 cm oraz grupą kontrolną w przypadku: dziedziny psychologicznej, relacji społecznych i środowiska. Oznacza to, że pacjenci, u których nierówna długość kończyn po korekcy z wykorzystaniem aparatu Ilizarowa wynosiła poniżej 1 cm, swoje funkcjonowanie: psychiczne, społeczne oraz zadowolenie z: życia, pracy, swojego stanu fizycznego i psychicznego oceniali bardzo podobnie jak osoby, u których nie stwierdzono nierówności i zaburzeń funkcji kończyn dolnych.

Nieliczni autorzy oceniali, w jaki sposób stopień wyrównania długości kończyn wpłynął na jakość życia w dłuższej perspektywie, po interwencji chirurgicznej. W naszym badaniu średni czas od operacji wynosił 40,11 miesiąca dla grupy ze skróceniem poniżej 1 cm i 42,05 miesiąca dla grupy ze skróceniem kończyn o 1 cm lub więcej. Jest to wystarczający czas, aby pacjenci mogli racjonalnie ocenić efekty leczenia i poprawę w poszczególnych domenach jakości życia.

Warto zauważyć, że w pytaniach dotyczących własnej oceny jakości życia i zdrowia żadna z badanych grup po leczeniu stabilizatorem zewnętrznym nie uzyskała takich wartości średnich ocen jak osoby z grupy kontrolnej. Uzyskane wartości średnie różnią się istotnie statystycznie nie tylko w odniesieniu do grupy kontrolnej, ale także między badanymi grupami osób leczonym z wykorzystaniem metody Ilizarowa. Należy także podkreślić, że taka asymetria długości kończyn tj. powyżej 1 cm, w istotny sposób wpływa na jakość życia pacjentów, szczególnie w odniesieniu do funkcjonowania psychicznego i relacji społecznych.

Zatem podsumowując nasze wyniki, warto podkreślić, że leczenie za pomocą aparatu Ilizarowa nie zawsze daje możliwość osiągnięcia pełnych efektów leczenia i rehabilitacji dotyczących aspektu jakości życia. Pomimo indywidualizacji postępowania usprawniającego oraz samego procesu leczenia, negatywny wpływ pozostawionego skrótu długości kończyny lokomocyjnej powyżej 1 cm na ocenę jakości życia, a tym samym brak osiągnięcia głównego celu, czyli poprawy jakości życia, jest ewidentny.

Fakt ten przemawia, za potrzebą traktowania terapii i zdrowia pacjenta w sposób bardziej kompleksowy także ze strony fizjoterapeuty, dzięki temu możliwa jest minimalizacja ryzyka występowania powikłań, a w dalszej perspektywie poprawa poszczególnych dziedzin jakości życia leczonych pacjentów.

4.3.4. Podsumowanie i wnioski

1. Leczenie stawów rzekomych kości piszczelowej metodą Ilizarowa nie zapewnia pełnej normalizacji parametrów kinematycznych ocenianych w okresie 24-48 miesięcy po zakończeniu leczenia i rehabilitacji. Podsumowując, należy zauważyć, że chociaż stabilizacja z zastosowaniem aparatu Ilizarowa oraz indywidualny schemat rehabilitacji zapewnia istotną poprawę dotyczącą struktury zrostu kostnego, pozwalającego na lokomocję bez zaopatrzenia ortopedycznego, to nadal z perspektywy dokładnej analizy i oceny zakresu ruchomości poszczególnych stawów jest to niewystarczające. Wskazane jest personalizowanie leczenia w zależności od etiologii schorzenia, stanu ogólnego i wieku pacjenta, a stosowany protokół postępowania fizjoterapeutycznego powinien również uwzględniać w miarę indywidualnych możliwości pacjenta, jak najkrótszy czas pozwalający na poprawę zakresu ruchu, już w początkowych etapach rehabilitacji. Takie działania mają potencjał wskazujący możliwe sposoby optymalizacji oraz zwiększenia efektywności terapii u pacjentów poddawanych leczeniu za pomocą metody Ilizarowa.

2. Osoby leczone z zastosowaniem aparatu Ilizarowa osiągały istotnie gorsze parametry chodu w porównaniu do osób z grupy kontrolnej. W przypadku leczenia stawów rzekomych kości piszczelowej parametry chodu po leczeniu nie wskazywały na jego symetryczność, a dynamika narządu ruchu pozostawała zaburzona. U pacjentów po leczeniu złamań typu pylon metodą Ilizarowa, osiągnięta została symetria chodu, niemniej jednak zaobserwowane parametry wciąż różnią się istotnie w porównaniu do osób zdrowych. Brak normalizacji parametrów chodu może być spowodowany ograniczeniem ruchu w stawie skokowym, w wyniku długotrwałego zastosowania stabilizatora zewnętrznego oraz osłabieniem mięśnia brzuchatego łydki, który znacznie wpływa na fazę propulsji. Z kolei ograniczenie w zakresie siły mięśniowej pogarsza

parametry chodu, a utrwalone deficyty ruchomości stawu biodrowego i kolanowego powodują brak osiągnięcia parametrów, które są charakterystyczne dla osób zdrowych. Okres monitorowania pacjentów oraz intensywna rehabilitacja powinny być zatem wydłużone i oparte na wszechstronnej diagnostyce parametrów chodu, co pozwoli skutecznie zredukować występujące deficyty i ograniczenia w funkcjonowaniu kończyn dolnych.

3. Na podstawie przeprowadzonych badań pedobarograficznych nie stwierdzono istotnych różnic w rozkładzie obciążenia stóp oraz poszczególnych obszarów tyłostopia i przodostopia leczonej kończyny w porównaniu z niedominującą kończyną grupy kontrolnej oraz zdrowej kończyny pacjentów w porównaniu z dominującą kończyną grupy kontrolnej. U pacjentów wykazano symetryczny rozkład obciążeń przodostopia i tyłostopia zarówno w kończynach zdrowych, jak i operowanych. Pacjenci leczeni stabilizatorami Ilizarowa z powodu aseptycznego braku zrostu kości piszczelowej wykazują symetryczny rozkład obciążeń kończyn po leczeniu, co nie odróżnia ich pod tym względem od osób zdrowych. Na podstawie przeprowadzonych badań można wywnioskować, że zastosowanie metody Ilizarowa przynosi oczekiwane rezultaty związane z obciążeniem kończyny dolnej, a tym samym umożliwia przywrócenie prawidłowej biomechaniki statycznej oraz funkcji podporowej kończyn dolnych.

4. Leczenie za pomocą aparatu Ilizarowa jest złożone i nie zawsze daje możliwość osiągnięcia pełnych efektów leczenia i rehabilitacji dotyczących aspektu jakości życia. Osoby zdrowe uzyskały statystycznie istotnie wyższe wyniki w zakresie samooceny QoL i oceny stanu zdrowia. Średnia wartość oceny poszczególnych dziedzin jakości życia między badanymi grupami nie różniła się istotnie statystycznie jedynie między grupą pacjentów ze skrótem kończyny dolnej do 1 cm oraz grupą kontrolną, w przypadku dziedziny psychologicznej, relacji społecznych i środowiska. Oznacza to, że pacjenci, u których nierówna długość kończyn po korekcji z wykorzystaniem aparatu Ilizarowa wynosiła poniżej 1 cm swoje funkcjonowanie: psychiczne, społeczne oraz zadowolenie z: życia, pracy, swojego stanu fizycznego czy psychicznego oceniali bardzo podobnie jak osoby, u których nie stwierdzono nierówności i zaburzeń funkcji kończyn

dolnych. Fakt ten przemawia za potrzebą osiągnięcia pełnego wyrównania leczonych kończyn, indywidualizacją postępowania usprawniającego oraz potrzebą traktowania procesu leczenia w sposób kompleksowy. Dzięki temu możliwa jest minimalizacja ryzyka występowania powikłań, a w dalszej perspektywie normalizacja poszczególnych dziedzin jakości życia leczonych pacjentów.

4.3.5. Piśmiennictwo

1. Abuomira, I. E. A.; Sala, F.; Elbatrawy, Y.; Lovisetti, G.; Alati, S.; Capitani, D. Distraction osteogenesis for tibial nonunion with bone loss using combined Ilizarov and Taylor spatial frames versus a conventional circular frame. *Strateg. Trauma Limb Reconstr.* 2016, 11 (3), 153–159.
2. Aiona, M.; Do, K. P.; Emara, K.; Dorociak, R.; Pierce, R. Gait patterns in children with limb length discrepancy. *J. Pediatr. Orthop.* 2015, 35 (3), 280–284.
3. Bhave, A.; Paley, D.; Herzenberg, J. E. Improvement in gait parameters after lengthening for the treatment of limb-length discrepancy. *J. Bone Jt. Surg.* 1999, 81 (4), 529–534.
4. Burghardt, R.; Manzotti, A.; Bhave, A.; Paley, D.; Herzenberg, J. Tibial lengthening over intramedullary nails: A matched case comparison with Ilizarov tibial lengthening. *Bone Joint Res.* 2016, 5 (1), 1-10.
5. Daf, A.; Gachake, A.; Satone, P.; Wadhokar, O.; Phansopkar, P. Early-stage physical therapy for a patient with proximal tibial fracture with acute compartment syndrome and neurovascular deficits managed with external fixation complicated by chronic osteomyelitis: a case report. *Cureus.* 2022, 14 (11), 31333.
6. Dalat, F.; Trouillet, F.; Fessy, M. H.; Bourdin, M.; Besse, J. L. Comparison of quality of life following total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis: retrospective study of 54 cases. *Rev. Chir. Orthop. Traumatol.* 2014, 100 (7), 542–547.
7. Falzarano, G.; Pica, G.; Medici, A.; Rollo, G.; Bisaccia, M.; Cioffi, R.; Pavone, M.; Meccariello, L. Foot loading and gait analysis evaluation of nonarticular tibial pilon fracture: A comparison of three surgical techniques. *J. Foot Ankle Surg.* 2018, 57 (5), 894–898.

8. Fenwick, A.; Kröger, N.; Jovic, S.; Hölscher-Doht, S.; Meffert, R.; Jansen, H. Pedobarography shows no differences in gait after talar fractures. *Technol. Heal. Care* 2020, 28 (1), 85–92.
9. Hafez, M.; Nicolaou, N.; Offiah, A.; Offorha, B.; Giles, S.; Madan, S.; Fernandes, J. Quality of life of children during distraction osteogenesis: a comparison between intramedullary magnetic lengthening nails and external fixators. *Int Orthop.* 2022, 46 (6), 1367-1373.
10. Hak, D. J.; Fitzpatrick, D.; Bishop, J. A.; Marsh, J. L.; Tilp, S.; Schnettler, R.; Simpson, H.; Alt, V. Delayed union and nonunions: epidemiology, clinical issues, and financial Aspects. *Injury* 2014, 45 (2), 3–7.
11. Hosny, G. A.; Ahmed, A. S. A. A.; Hussein, M. A. E. Clinical outcomes with the corticotomy-first technique associated with the Ilizarov method for the management of the septic long bones non-union. *Int. Orthop.* 2018, 42 (12), 2933–2939.
12. Jansen, H.; Fenwick, A.; Doht, S.; Frey, S.; Meffert, R. Clinical outcome and changes in gait pattern after pilon fractures. *Int. Orthop.* 2013, 37 (1), 51–58.
13. Khan, M. S.; Rashid, H.; Umer, M.; Qadir, I.; Hafeez, K.; Iqbal, A. Salvage of infected non-union of the tibia with an Ilizarov ring fixator. *J. Orthop. Surg.* 2015, 23 (1), 52–55.
14. Klöpfer-Krämer, I.; Brand, A.; Wackerle, H.; Müßig, J.; Kröger, I.; Augat, P. Gait analysis – available platforms for outcome assessment. *Injury* 2020, 51 (2), 90–96.
15. Lee, S. H.; Lee, O. S.; Teo, S. H.; Lee, Y. S. Change in gait after high tibial osteotomy: a systematic review and meta-analysis. *Gait Posture* 2017, 57, 57–68.
16. Manjra, M. A.; Naude, J.; Birkholtz, F.; Glatt, V.; Tetsworth, K.; Hohmann, E. The relationship between gait and functional outcomes in patients treated with circular external fixation for malunited tibial fractures. *Gait Posture* 2019, 68, 569–574.
17. McNally, M.; Ferguson, J.; Kugan, R.; Stubbs, D. Ilizarov treatment protocols in the management of infected nonunion of the tibia. *J. Orthop. Trauma* 2017, 31, S47–S54.
18. Meleppuram, J. J.; Ibrahim, S. Experience in fixation of infected non-union tibia by Ilizarov technique – a retrospective study of 42 cases. *Rev. Bras. Ortop. (English Ed.)* 2017, 52 (6), 670–675.

19. Morasiewicz, P.; Dragan, S.; Dragan, S. Ł.; Wrzosek, Z.; Pawik, Ł. Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after Ilizarov corticotomies. *Clin. Biomech.* 2016, *31*, 2–6.
20. Morasiewicz, P.; Konieczny, G.; Dejneka, M.; Morasiewicz, L.; Urbański, W.; Kulej, M.; Dragan, S. Ł.; Dragan, S. F.; Pawik, Ł. Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation. *Biomed. Eng. Online* 2018, *17* (1), 174.
21. Morasiewicz, P.; Konieczny, G.; Dejneka, M.; Urbański, W.; Dragan, S. Ł.; Kulej, M.; Dragan, S. F.; Pawik, Ł. Assessment of the distribution of load on the lower limbs and balance before and after ankle arthrodesis with the Ilizarov method. *Sci. Rep.* 2018, *8* (1), 15693.
22. Morasiewicz, P.; Urbański, W.; Kulej, M.; Dragan, S. Ł.; Dragan, S. F.; Pawik, Ł. Balance and lower limb loads distribution after Ilizarov corticotomy. *Injury* 2018, *49* (4), 860–865.
23. Naude, J.; Manjra, M.; Birkholtz, F.; Barnard, A.; Tetsworth, K., Glatt, V.; Hohmann, E. Functional outcomes and quality of life following complex tibial fractures treated with circular external fixation: A comparison between proximal, midshaft, and distal tibial fractures. *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2021, *16* (1), 32-40.
24. Osman, W.; Alaya, Z.; Kaziz, H.; Hassini, L.; Braiki, M.; Naouar, N.; Ayeche, M. L. Ben. Treatment of high-energy pilon fractures using the Ilizarov treatment. *Pan Afr. Med. J.* 2017, *27* (14), 199.
25. Pajchert-Kozłowska, A.; Pawik, Ł.; Szelerski, Ł.; Żarek, Sł.; Górski, R.; Pawik, M.; Fink-Lwow, F.; Morasiewicz, P. Assessment of body balance of patients treated with the Ilizarov method for tibial nonunion. *Acta Bioeng. Biomech.* 2020, *22* (3), 131–137.
26. Papadokostakis, G.; Kontakis, G.; Giannoudis, P.; Hadjipavlou, A. External fixation devices in the treatment of fractures of the tibial plafond: A systematic review of the literature. *J. Bone Jt. Surg. - Ser. B* 2008, *90* (1), 1–6.
27. Sahu, R.; Ranjan, R. Treatment of complex nonunion of the shaft of the tibia using Ilizarov technique and its functional outcome. *Niger. Med. J.* 2016, *57* (2), 129.

28. Saraph, V.; Zwick, E. B.; Steinwender, G.; Auner, C.; Schneider, F.; Linhart, W. Leg lengthening as part of gait improvement surgery in cerebral palsy: an evaluation using gait analysis. *Gait Posture* 2006, 23 (1), 83–90.
29. Suciú, O.; Onofrei, R. R.; Totorean, A. D.; Suciú, S. C.; Amaricai, E. C. Gait analysis and functional outcomes after twelve-week rehabilitation in patients with surgically treated ankle fractures. *Gait Posture* 2016, 49, 184–189.
30. Tian, R.; Zheng, F.; Zhao, W.; Zhang, Y.; Yuan, J.; Zhang, B.; Li, L. Prevalence and influencing factors of nonunion in patients with tibial fracture: systematic review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2020, pp 1–16.
31. Ugaji, S.; Matsubara, H.; Kato, S.; Yoshida, Y.; Hamada, T.; Tsuchiya, H. Patient-reported outcome and quality of life after treatment with external fixation: a questionnaire-based survey. *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2021, 16 (1), 27-31.
32. Wang, H.; Wei, X.; Liu, P.; Fu, Y. H.; Wang, P. F.; Cong, Y. X.; Zhang, B. F.; Li, Z.; Lei, J. L.; Zhang, K.; Zhuang, Y. Quality of life and complications at the different stages of bone transport for treatment infected nonunion of the tibia. *Med. (United States)* 2017, 96 (45), e8569.
33. Wani, N. B.; Syed, B. Ilizarov ring fixator in the management of infected non-unions of tibia. *Sicot-J.* 2015, 1 (22), 1–6.
34. Yin, P.; Ji, Q.; Li, T.; Li, J.; Li, Z.; Liu, J.; Wang, G.; Wang, S.; Zhang, L.; Mao, Z.; Tang, P. A Systematic review and meta-analysis of Ilizarov methods in the treatment of infected nonunion of tibia and femur. *PLoS ONE*. 2015, p 0141973.
35. Zheng, Y.; Zhang, J. D.; Shen, J. M.; Chen, J. J.; Toy, L.; Huang, J. F. A modified 2-stage treatment for AO/OTA 43-C1 pilon fractures accompanied by distal fibular and posterior lip of the distal tibia fracture. *J. Foot Ankle Surg.* 2020, 59 (5), 972–978.

4.4. Wkład osiągnięcia naukowego do rozwoju dziedziny nauk medycznych i nauk o zdrowiu w dyscyplinie nauk o kulturze fizycznej oraz jego implikacje praktyczne

Metoda Ilizarowa zdobyła ogromną popularność dzięki swojemu wszechstronnemu zastosowaniu w dziedzinie: ortopedii, traumatologii oraz chirurgii rekonstrukcyjnej. Mimo

wieloletniego stosowania tej metody oraz równoczesnego nieustannego doskonalenia zarówno techniki chirurgicznej, jak i samego aparatu Ilizarowa, proces leczenia i rehabilitacji pacjentów pozostaje jednym z najbardziej wymagających i złożonych etapów wykonywanych w medycynie ortopedycznej. Pacjenci objęci procesem leczenia wymagają nie tylko stałej opieki i konsultacji lekarskich, ale przede wszystkim profesjonalnej, długotrwałej fizjoterapii, zarówno podczas pobytu w szpitalu, jak i po jego zakończeniu, która opiera się na szczegółowej diagnostyce oraz monitorowaniu wskaźników biomechanicznych. Innym niezwykle istotnym elementem tego procesu są odczucia, współdziałanie i jakość życia samego pacjenta. Fizjoterapeuta ze względu na długotrwały kontakt z pacjentem obok roli czysto specjalistycznej w zakresie zdrowia somatycznego ma możliwość oddziaływania całościowego, uwzględniając pozostałe komponenty zdrowia leczonej osoby.

W ramach realizowanego projektu badawczego dokonałem kompleksowej oceny skuteczności procesu leczenia i zindywidualizowanej rehabilitacji u pacjentów leczonych z wykorzystaniem aparatu Ilizarowa w okresie między 24-48 miesiącem po zakończeniu procesu usprawniania. Należy zatem traktować to dokonanie jako mój nowatorski wkład, bowiem w dostępnym piśmiennictwie ocena taka dotyczyła najczęściej okresu bezpośrednio po zakończeniu etapu szpitalnego. Takie podejście jest w moim przekonaniu cennym wskazaniem, pozwalającym na analizowanie koniecznych modyfikacji w procesie rehabilitacji. W odniesieniu do tej wszechstronnej oceny wykorzystałem nowoczesne, precyzyjne metody analizy biomechaniki chodu, sposobu obciążenia kończyn czy zakresu ruchomości poszczególnych stawów kończyn dolnych, dzięki którym możliwe było monitorowanie rehabilitacji pacjentów oraz ewentualne modyfikacje schematu ich postępowania usprawniającego. Pozwala to na stwierdzenie, że wykorzystanie nowoczesnych technologii w rehabilitacji, jest niezbędnym elementem jej efektywności. W badaniach dokonano porównania wskaźników biomechanicznych pacjentów z grupą kontrolną osób zdrowych, dzięki czemu możliwa była wiarygodna i dokładna ocena efektów prowadzonej rehabilitacji, wskazując przy tym możliwości osiągnięcia pełnej sprawności i poprawę ewentualnych deficytów. Co istotne w ramach prowadzonych badań skupiłem się na całościowej ocenie zmian wielu komponentów zdrowia pacjentów, zarówno wskaźników biomechanicznych, jak i tych oceniających jakość życia pacjentów. Dodatkowo przeanalizowałem, w jaki sposób uzyskany

efekt leczenia oraz rehabilitacji wpływa na jakość życia pacjentów w perspektywie długoterminowej.

Przeprowadzone badania mają niezwykle istotne znaczenie praktyczne, szczególnie dla lekarzy i fizjoterapeutów zajmujących się problemem patologii w obrębie kończyn dolnych i ich leczeniem z zastosowaniem aparatu Ilizarowa. Dzięki wszechstronnej analizie możliwa będzie personalizacja procesu usprawniania pacjentów w zależności od ich stanu ogólnego oraz ewentualnych deficytów związanych z układem ruchu. Tak dokładnie zaproponowana rehabilitacja może ograniczyć w istotny sposób patologiczne następstwa związane z zaburzeniami chodu, równowagi ciała czy ograniczeniem sprawności funkcjonalnej leczonych pacjentów. Dokładna analiza wyników terapii i rehabilitacji u pacjentów leczonych z wykorzystaniem aparatu Ilizarowa zastosowana w przedstawionych badaniach daje możliwości optymalizacji skuteczności leczenia oraz zminimalizowania ewentualnych niekorzystnych konsekwencji patologicznych, które pojawiają się w toku procesu leczenia.

5. Informacja o wykazaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

5.1. Staże naukowe

- zagraniczny staż naukowy we Francji w Groupe Alsace UGECAM w Illkirch-Graffenstaden w dniach 09 – 24.02.2023; opiekun doktor Patrycja Grosjean –Médecin chef chez UGECAM ALSACE - Direction régionale

Staż obejmował wymianę poglądów dotyczących diagnostyki, leczenia i rehabilitacji pacjentów z dysfunkcjami układu ruchu, ze szczególnym uwzględnieniem patologii kręgosłupa i kończyn dolnych oraz analizę protokołów postępowania usprawniającego pacjentów w celu zoptymalizowania efektów leczenia i rehabilitacji (*załącznik*)

- krajowy dwutygodniowy staż naukowy w Klinice Ortopedii i Traumatologii Narządu Ruchu INM Uniwersytetu Opolskiego w dniach 09 – 23.01.2023; opiekun: dr hab. n. med. Piotr Morasiewicz, prof. UO

W ramach stażu zrealizowano badania dotyczące efektów leczenia i rehabilitacji pacjentów z patologią palucha koślawego (*załącznik*).

- krajowy dwutygodniowy staż naukowy w Klinice Ortopedii i Traumatologii Narządu Ruchu INM Uniwersytetu Opolskiego w dniach 07 – 21.01.2022; opiekun: dr hab. n. med. Piotr Morasiewicz, prof. UO

Staż obejmował współudział w projekcie badawczym z zakresu leczenia i usprawniania pacjentów z dysfunkcjami w obrębie kończyn dolnych, ze szczególnym uwzględnieniem patologii w obrębie podudzia (*załącznik*).

- krajowy dwutygodniowy staż naukowy w Katedrze i Zakładzie Rehabilitacji Uniwersytetu Medycznego im. Piastów Śląskich we Wrocławiu w dniach (07-20.06.2021); opiekun dr hab. n. med. Edyta Sutkowska

W trakcie stażu wykonano badania pacjentów, które dotyczące wpływu terapii powięziowej na równowagę ciała sportowców z dysfunkcjami mięśniowymi kończyn dolnych, wykonano analizę statystyczną, opracowano graficznie wyniki i przygotowano wstępną część artykułu do publikacji (*załącznik*).

5.2. Współpraca z instytucjami naukowymi

- współpraca dr Łukaszem Szelerskim, dr Radosławem Górskim i dr Sławomirem Żarkiem z Katedry i Kliniki Ortopedii i Traumatologii Narządu Ruchu, Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

wspólne publikacje:

Pawik Łukasz, Fink-Lwow Felicja, Pajchert Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Górski Radosław, Pawik Malwina, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr. Kinematic parameters after tibial nonunion treatment using the Ilizarov method. BMC Musculoskelet. Disord. 2022, 23 (1), 1–10.

Pawik Łukasz, Pajchert Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr. Assessment of lower limb load distribution in patients treated with the Ilizarov method for tibial nonunion. *Med. Sci. Monit.* 2021, 27, e930849-1–e930849-8.

- współpraca z dr hab. n. med. Piotrem Morasiewiczem, prof. UO z w Kliniki Ortopedii i Traumatologii Narządu Ruchu INM Uniwersytetu Opolskiego

wspólne publikacje:

Wietecki Paweł, **Pawik Łukasz**, Fink-Lwow Felicja, Leśkow Artur, Górski Radosław, Pawik Malwina, Olech Jarosław, Klepacki Krzysztof, Kuliński Patryk, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr. Kinematic parameters following pilon fracture treatment with the Ilizarov method. *J. Clin. Med.* 2022, 11 (10), 1–11.

Kuliński Patryk, Tomczyk Łukasz, **Pawik Łukasz**, Olech Jarosław, Morasiewicz Piotr. Radiographic outcomes of hallux valgus deformity correction with chevron and scarf osteotomies. *J. Foot Ankle Surg.* 2023, 62 (4), 676–682.

- współpraca z dr. med. Łukaszem Jabłońskim z Klinikum Chemnitz gGmbH, Klinik für Thorax-, Gefäß- und endovaskuläre Chirurgie, Chemnitz
- współpraca z dr Natalią Kuciel i dr Karoliną Biernat z Katedry i Zakładu Rehabilitacji Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

wspólna publikacja:

Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Karwacka Magdalena, Wysoczańska Emilia, Schabowska Aleksandra, Kuciel Natalia, Biernat Karolina, Dębiec-Bąk Agnieszka, Lewandowska Joanna, Fink-Lwow Felicja. Body balance after fascial therapy in athletes with soft lower limb muscle injuries. *Symmetry* 2021, 13 (9), 1586.

6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Mój dorobek naukowy (stan na 05.09.2023r.):*

Łączna punktacja wszystkich moich publikacji wynosi: **IF = 50,592**; MEiN/MNiSW (do 2019 roku) = **222**; MEiN/MNiSW (po 2019 roku) = **1660**

Po wyłączeniu 5 prac stanowiących podstawę osiągnięcia naukowego punktacja wynosi odpowiednio: **IF = 34,675** oraz MEiN/MNiSW (do 2019 roku) = **222**; MEiN/MNiSW (po 2019 roku) = **1140**

Liczba cytowań na podstawie bazy Web of Science Core Collection wynosi **129**.

Index Hirsha **h=7**

** dane: Ośrodek Informacji Naukowej,
Biblioteka Akademii Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu*

Po wyłączeniu 5 prac stanowiących podstawę osiągnięcia naukowego na mój dorobek naukowy składa się:

- 27 prac oryginalnych
- 3 rozdziały w monografiach

Powyższe prace ukazały się w renomowanych czasopismach krajowych i zagranicznych, z których większość posiada współczynnik wpływu IF.

6.1. Główne kierunki aktywności naukowej

Moja aktywność naukowa koncentruje się wokół zagadnień dotyczących:

- analizy wpływu etiologii schorzenia pacjentów leczonych za pomocą metody Ilizarowa na balans i rozkład obciążeń przy użyciu platformy pedobarograficznej;
- oceny obejmującej analizę parametrów chodu pacjentów po zastosowaniu aparatu Ilizarowa;
- oddziaływania różnych form fizjoterapii u pacjentów z dysfunkcjami kończyn dolnych na parametry równowagi ciała.

Moje główne kierunki badawcze, poza oceną wybranych parametrów biomechanicznych oraz oceną skuteczności procesu leczenia i rehabilitacji pacjentów po zastosowaniu metody Ilizarowa, koncentrują się na następujących zagadnieniach z zakresu rehabilitacji oraz ortopedii i traumatologii narządu ruchu:

1. Pedobarograficzna ocena balansu i rozkładu obciążeń kończyn dolnych pacjentów po leczeniu metodą Ilizarowa w zależności od przyczyn schorzenia;
2. Ocena wybranych parametrów chodu pacjentów leczonych metodą Ilizarowa;
3. Kompleksowa rehabilitacja osób z dysfunkcjami kończyn dolnych i jej wpływ na parametry równowagi ciała.

6.2. Kierownictwo projektów badawczych

a) Projekty badawcze realizowane z funduszy KBN/MN/NCN/NCBiR

- realizacja projektu w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (**nr projektu POIR.01.01.01-00-1796/20**) pt. „*SPINETIME - Przyszłość w fizjoterapii na odległość*”. Pełniona rola - Kierownik B+R.

To projekt badawczo-rozwojowy w ramach którego powstała innowacyjna metoda analityczno-terapeutyczna bólu kręgosłupa pochodzenia mechanicznego w oparciu o autorski algorytm diagnostyczno-terapeutyczny wspomagany przez sztuczną inteligencję (SI). Grant zakłada stworzenie narzędzia terapeutycznego dzięki któremu pacjent uzyska spersonalizowaną ocenę stanu kręgosłupa oraz zestaw zalecanych technik autoterapii wraz z ćwiczeniami stabilizującymi stan zdrowia w postaci filmów informacyjno-instruktażowych. Algorytm decyzyjności, wspomagany przez sztuczną inteligencję (SI), pozwala na

zautomatyzowaną analizę stanu kręgosłupa i uzyskanie pomocy w postaci technik autoterapeutycznych, a otrzymywany od użytkowników aplikacji feedback umożliwia rozbudowę i trening sieci neuronowej poprzez zbierane na bieżąco dane i dynamiczną modyfikację protokołu terapeutycznego adekwatną do ewolucji stanu użytkownika.

W ramach dalszych badań, powstawać będą protokoły terapeutyczne dotyczące patologii w obrębie stawów kończyn górnych i dolnych, dzięki którym możliwe będzie uzyskanie pomocy w postaci spersonalizowanych technik autoterapeutycznych, eliminując przy tym personalne czynniki ryzyka pacjentów w różnym stadium dysfunkcji narządu ruchu.

Całkowity koszt realizacji Projektu: 4 024 791,91 zł, całkowite dofinansowanie Projektu: 3 150 978,97 zł.

b) Projekty badawcze realizowane w ramach badań własnych Uczelni:

- Projekt badawczy Młodych Naukowców realizowany w ramach badań własnych Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu – *„Analiza i ocena stopnia eksploatacji kończyn dolnych u pacjentów ortopedyczno-urazowych”*, Zadanie badawcze: *„Wpływ innowacyjnego treningu fizjoterapeutycznego na sprawność funkcjonalną i jakość życia pacjentów leczonych metodą Ilizarowa”* (2015 rok) – Pełniona rola – Kierownik i wykonawca projektu
- Projekt badawczy Młodych Naukowców realizowany w ramach badań własnych Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu – *„Ocena efektów leczenia pacjentów operowanych z zastosowaniem osteogenezy dystrakcyjnej”*, Zadanie badawcze: *„Ocena zakresu ruchu stawów kończyn dolnych, parametrów chodu, sprawności funkcjonalnej i jakości życia pacjentów leczonych metodą Ilizarowa”* (2016-2017 rok) – Kierownik i wykonawca projektu
- Projekt badawczy Młodych Naukowców realizowany w ramach badań własnych Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu – *„Ocena efektów leczenia pacjentów operowanych z zastosowaniem osteogenezy dystrakcyjnej”*, Zadanie badawcze: *„Ocena równowagi ciała, zakresu ruchu stawów kończyn dolnych, parametrów chodu, sprawności funkcjonalnej i jakości życia pacjentów leczonych metodą Ilizarowa”* (2018 rok) – Kierownik i wykonawca projektu

6.3. Zestawienie tematyczne i omówienie aktywności naukowej

Oprócz zaprezentowanego cyklu powiązanych tematycznie publikacji naukowych mój pozostały dorobek naukowy obejmuje w głównej mierze trzy nurty tematyczne i koncentruje się na badaniach z zakresu rehabilitacji oraz ortopedii i traumatologii narządu ruchu obejmujących takie zagadnienia jak:

- 6.3.1. Pedobarograficzna ocena balansu i rozkładu obciążeń kończyn dolnych pacjentów po leczeniu metodą Ilizarowa w zależności od przyczyn schorzenia;
- 6.3.2. Ocena wybranych parametrów chodu pacjentów leczonych metoda Ilizarowa w zależności od przyczyn schorzenia;
- 6.3.3. Kompleksowa rehabilitacja osób z dysfunkcjami kończyn dolnych i jej wpływ na parametry równowagi ciała.

6.3.1. Badania dotyczące pedobarograficznej ocena balansu i rozkładu obciążeń kończyn dolnych pacjentów po leczeniu metodą Ilizarowa w zależności od przyczyn schorzenia.

Morasiewicz, P.; Dragan, S.; Dragan, S. Ł.; Wrzosek, Z.; **Pawik, Ł.** Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after Ilizarov corticotomies. *Clin. Biomech.* **2016**, *31*, 2–6.

Impact Factor: **1.874**, Punktacja MEiN: **30.00**

Celem pracy było porównanie rozkładu obciążenia stóp i parametrów równowagi z wykorzystaniem platformy pedobarograficznej między 57 pacjentami po przeprowadzonych koryktotomiach metodą Ilizarowa i 59 zdrowymi ochotnikami. Wykazano, że koryktotomia metodą Ilizarowa umożliwia uzyskanie wartości rozkładu obciążenia kończyn dolnych, które nie różnią się istotnie od osób zdrowych z grupy kontrolnej, jednak nie gwarantuje osiągnięcia prawidłowej równowagi. Wyniki tych badań opublikowano na łamach *Clinical Biomechanics*, **2016**, *31*, 2–6.

Morasiewicz, P.; Konieczny, G.; Dejneka, M.; Urbański, W.; Dragan, S. Ł.; Kulej, M.; Dragan, S. F.; **Pawik, Ł.** Assessment of the distribution of load on the lower limbs and balance before and after ankle arthrodesis with the Ilizarov method. *Sci. Rep.* **2018**, 8 (15693), 1–6.

Impact Factor: **4.011**, Punktacja MEiN: **40.00**

Celem niniejszego badania była ocena równowagi i rozkładu obciążeń w obrębie kończyn dolnych u pacjentów zarówno przed, jak i po przeprowadzeniu artrodezy stawu skokowego za pomocą metody Ilizarowa. Ocenę równowagi i procentowego obciążenia każdej kończyny dolnej przeprowadzono przed operacją i w trakcie badań kontrolnych za pomocą platformy pedobarograficznej Zebris, która umożliwiła wyrażenie rozkładu obciążenia między operowaną a zdrową kończyną w formie procentowej. Równowaga została opisana w kontekście długości drogi środka ciężkości, reprezentowanej jako odległość linii środka ciężkości utworzonej podczas pomiaru, wyrażona w centymetrach (cm). Ponadto równowagę scharakteryzowano jako pole powierzchni środka ciężkości, będące obszarem utworzonym podczas pomiaru, wyrażone w centymetrach kwadratowych (cm²).

W badaniach wykazano, że artrodeza stawu skokowego metodą Ilizarowa przyczyniła się do poprawy statyki układu mięśniowo-szkieletowego, skutkując lepszym rozkładem obciążeń w kończynach dolnych oraz poprawą równowagi. Warto jednak podkreślić, że mimo osiągniętej poprawy, zaburzenia wynikające z zaawansowanych zmian zwyrodnieniowych stawu skokowego nadal wpływają na biomechanikę całej kończyny dolnej, uniemożliwiając pełne przywrócenie parametrów charakterystycznych dla zdrowej osoby. Praca została opublikowana w 2018 roku w czasopiśmie Scientific Reports **2018**, 8 (15693), 1–6.

Morasiewicz, P.; Urbański, W.; Kulej, M.; Dragan, S. Ł.; Dragan, S. F.; **Pawik, Ł.** Balance and lower limb loads distribution after Ilizarov corticotomy. *Injury* **2018**, 49 (4), 860–865.

Impact Factor: **1.834**, Punktacja MEiN: **30.00**

Celem pracy była analiza rozkładu obciążeń stóp oraz ocena równowagi przed i po przeprowadzeniu korekcji osi i wydłużeniu przy użyciu metody Ilizarowa, z wykorzystaniem platformy pedobarograficznej. Prospektywną analizą objęto 20 pacjentów, którzy przeszli

dystrakcyjno-korekcyjne koryktomie kończyn dolnych metodą Ilizarowa w latach 2014-2015.

Wykazano, że zastosowanie dystrakcyjno-korekcyjnej koryktomii metodą Ilizarowa przyczynia się do uzyskania bardziej symetrycznego rozkładu obciążeń w kończynach dolnych oraz poprawy równowagi, a wyniki te są zadowalające z perspektywy stabilności układu ruchu. Praca została opublikowana w czasopiśmie *Injury-International Journal of the Care of the Injured*, w 2018, 49 (4), 860–865.

Morasiewicz, P.; Konieczny, G.; Dejneki, M.; Morasiewicz, L.; Urbański, W.; Kulej, M.; Dragan, S. Ł.; Dragan, S. F.; **Pawik, Ł.** Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation. *Biomed. Eng. Online* **2018**, 17 (174), 1–9.

Impact Factor: **2.013**, Punktacja MEiN: **25.00**

Celem badania było sprawdzenie, która zastosowana metoda stabilizacji artrodezy stawu skokowego przynosi korzystniejsze rezultaty w odniesieniu do rozkładu obciążeń kończyn dolnych oraz balansu u pacjentów, którzy przeszli artrodezę stawu skokowego przy użyciu różnych technik stabilizacji. Analizę balansu i rozkładu obciążeń kończyn dolnych określono za pomocą platformy pedobarograficznej Zebris u 47 pacjentów z artrodezą stawu skokowego ze stabilizacją zewnętrzną stabilizatorem Ilizarowa (n = 21; grupa 1) lub wewnętrzną stabilizacją za pomocą śrub (n = 26; grupa 2).

Wykazano, że artrodeza stawu skokowego z wykorzystaniem metody Ilizarowa zapewnia gorszą równowagę niż ta sama procedura ze stabilizacją wewnętrzną. Choć zarówno jedna i druga metoda stabilizacji artrodezy stawu skokowego przyczyniają się do normalizacji obciążeń stóp kończyn dolnych, żadna z tych procedur nie prowadzi do poprawy równowagi pacjentów, a biomechanika układu mięśniowo-szkieletowego nadal pozostaje zaburzona. Praca ukazała się w 2018 roku, w czasopiśmie *BioMedical Engineering Online* **2018**, 17 (174), 1–9.

Pawik, Ł.; Morasiewicz, P.; Wrzosek, Z.; Fink-Lwow, F.; Pawik, M. The impact of lower limb length equalisation on postural stability in patients treated with the Ilizarov method. *J. Mens. health* **2019**, *15* (3), 71–79.

Impact Factor: **0.250**, Punktacja MEiN: **20.00**

Celem badania była ocena stabilności posturalnej u pacjentów z różnym stopniem wyrównania skrócenia kończyny dolnej po leczeniu metodą Ilizarowa w porównaniu z grupą kontrolną, która składała się z osób z kończynami dolnymi o równej długości. Badanie objęło 58 mężczyzn, którzy byli poddawani leczeniu metodą Ilizarowa w celu korekcji nierówności długości kończyn dolnych oraz 61 zdrowych mężczyzn stanowiących grupę kontrolną. W ramach grupy pacjentów poddanych badaniom wyodrębniono dwie podgrupy w zależności od stopnia korekcji długości kończyn (asymetria długości kończyn do 1 cm oraz powyżej 1 cm). Pomiary przeprowadzono przy wykorzystaniu Biodex Balance System. Ten system umożliwia badanie zdolności pacjenta do kontrolowania równowagi i oceny funkcji podporowej kończyny dolnej pacjenta poprzez określenie jego zdolności do kontrolowania dwustronnej, dynamicznej stabilności postawy na niestabilnej powierzchni.

Wykazano, że osoby z nierównością długości kończyn dolnych do 1 cm wykazały lepsze wyniki we wszystkich zbadanych parametrach w porównaniu do pacjentów z różnicą długości przekraczającą 1 cm. W odniesieniu do parametru kontroli równowagi na niestabilnym podłożu zauważono różnicę między grupą pacjentów po leczeniu metodą Ilizarowa a grupą osób zdrowych. Osoby z asymetrią długości kończyn do 1 cm po przeprowadzeniu leczenia metodą Ilizarowa wykazywały tendencję do przenoszenia masy ciała na kończyny dolne w sposób zbliżony do osób zdrowych. Pracę opublikowano w *Journal of Men's Health*, **2019**, *15* (3), 71–79.

Pajchert-Kozłowska, A.; **Pawik, Ł.**; Szellerski, Ł.; Żarek, Sł.; Górski, R.; Pawik, M.; Fink-Lwow, F.; Morasiewicz, P. Assessment of body balance of patients treated with the Ilizarov method for tibial nonunion. *Acta Bioeng. Biomech.* **2020**, *22* (3), 131–137.

Impact Factor: **1.073**, Punktacja MEiN: **100.00**

Celem badania była ocena równowagi ciała 24 pacjentów leczonych metodą Ilizarowa z powodu braku zrostu kości piszczelowej. Grupa kontrolna została dobrana pod względem płci i wieku do grupy badawczej i składała się z 32 zdrowych osób. W badaniu oceniano równowagę pacjentów na podstawie 30-sekundowego testu przy oczach otwartych i zamkniętych z zastosowaniem platformy pedobarograficznej Zebris.

Wykazano, że po zastosowaniu stabilizatora Ilizarowa poziom równowagi u pacjentów zbliżony był do obserwowanego u zdrowych ochotników, podobnie jak stan statyki układu mięśniowo-szkieletowego. Praca została opublikowana w *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, **2020**, 22 (3), 131–137.

6.3.2. Badania dotyczące oceny wybranych parametrów chodu pacjentów leczonych metoda Ilizarowa w zależności od przyczyn schorzenia

Pajchert Kozłowska, A.; Pawik, Ł.; Szelerski, Ł.; Żarek, S.; Górski, R.; Pawik, M.; Fink-Lwów, F.; Urbański, W.; Morasiewicz, P. Dynamic gait parameters in patients with nonunion of the tibia following treatment with the Ilizarov method. *J. Biomech. Eng.* **2021**, 143 (11), 1–6.

Impact Factor: **1.899**, Punktacja MEiN: **70.00**

W dostępnym piśmiennictwie brak jest danych oceniających dynamiczne parametry chodu pacjentów po leczeniu stawów rzekomych kości piszczelowej metodą Ilizarowa. Celem badania była kompleksowa ocena dynamicznych parametrów chodu działających na kończynę w trakcie chodu u 24 pacjentów leczonych. Grupa kontrolna składała się z 31 zdrowych osób, dopasowanych pod względem BMI, płci i wieku.

Dynamiczne parametry chodu mierzono za pomocą platformy pedobarograficznej Zebris. Wykazaliśmy, że pacjenci poddani leczeniu metodą Ilizarowa nie osiągnęli całkowitej normalizacji dynamicznych parametrów chodu. Metoda Ilizarowa w leczeniu braku zrostu kości piszczelowej pomaga przywrócić symetryczny rozkład wartości parametrów chodu między kończyną operowaną a kończyną zdrową, jednak pacjenci nadal wykazywali nieprawidłowości w dynamicznych parametrach chodu po leczeniu. Praca ukazała się w *Journal of Biomechanical Engineering* **2021**, 143 (11), 1–6.

Wietecki, P.; **Pawik, Ł.**; Fink-Lwow, F.; Leśkow, A.; Górski, R.; Pawik, M.; Olech, J.; Klepacki, K.; Kuliński, P.; Reichert, P.; Morasiewicz, P. Kinematic parameters following pilon fracture treatment with the Ilizarov method. *J. Clin. Med.* **2022**, *11* (10), art. 2763, s. 1–11.

Impact Factor: **3.900**, Punktacja MEiN: **140.00**

Ocena biomechanicznych parametrów chodu u pacjentów po leczeniu złamania typu pylon została zbadana w ograniczonym zakresie w dostępnej literaturze i polegała głównie na ocenie rozkład sił biomechanicznych (obciążenia) w poszczególnych obszarach stopy za pomocą platform pedobarograficznych. Na podstawie naszej wiedzy, nie zaobserwowano dotychczas analizy zakresów ruchu stawu biodrowego, kolanowego ani skokowego podczas chodu po leczeniu pacjentów z taką dysfunkcją układu ruchu.

W pracy wykorzystaliśmy system Noraxon MyoMOTIONS, który zapewnia bardzo dokładne, powtarzalne i obiektywne odczyty ruchu stawu w czasie rzeczywistym na podstawie 16 czujników inercyjnych, a celem naszego badania była analiza parametrów kinematycznych u 23 pacjentów po leczeniu złamania pylon metodą Ilizarowa oraz określenie, czy taka forma leczenia przywraca prawidłową funkcję stawu i poprawia ruchomość stawu kolanowego i biodrowego, poprawiając w ten sposób symetrię chodu. Pacjenci, którzy uczestniczyli w badaniach zakończyli proces leczenia 24-48 miesięcy przed badaniami oraz mieli ujednolicony protokół rehabilitacyjny.

Analizując uzyskane wyniki, można zauważyć, że proponowane leczenie nie zapewnia kompletnego przywrócenia normalnych parametrów kinematycznych stawu skokowego. Z tego powodu zaleca się wprowadzenie intensywnej i spersonalizowanej rehabilitacji dla stawu skokowego. Pracę opublikowano w *Journal of Clinical Medicine* **2022**, *11* (10), art. 2763, s. 1–11.

6.3.3. Badania dotyczące kompleksowej rehabilitacja osób z dysfunkcjami kończyn dolnych i jej wpływu na parametry równowagi ciała

Pawik, Ł.; Pawik, M.; Karwacka, M.; Wysoczańska, E.; Schabowska, A.; Kuciel, N.; Biernat, K.; Dębiec-Bąk, A.; Lewandowska, J.; Fink-Lwow, F. Body balance after fascial therapy in athletes with soft lower limb muscle injuries. *Symmetry (Basel)*. **2021**, *13* (9), 1586.

Impact Factor: **2.940**, Punktacja MEiN: **70.00**

Celem pracy była ocena wpływu jednorazowej terapii powięziowej na równowagę ciała i obciążenie kończyn dolnych profesjonalnych lekkoatletów po uszkodzeniu tkanek miękkich w obrębie kończyny dolnej.

W badaniu wzięło udział 41 osób z ostrym uszkodzeniem struktur miękkich w obszarze mięśnia czworogłowego uda, u których oceniano obciążenie obu kończyn dolnych i równowagę ciała z wykorzystaniem platformy pedobarograficznej Zebris.

U wszystkich pacjentów przeprowadzona została 60-minutowa terapia powięziowa, która dotyczyła wyłącznie kontuzjowanej kończyny i miała na celu normalizację napięcia i poprawę czucia głębokiego.

Wykazano, że pojedyncza 60-minutowa sesja terapii powięziowej ma korzystny wpływ na równowagę u profesjonalnych sportowców z kontuzjowaną kończyną dolną, a dzięki zastosowanej fizjoterapii pacjenci w sposób bardziej symetryczny obciążają obie kończyny dolne. Praca została opublikowana w czasopiśmie *Symmetry (Basel)*. 2021, 13 (9), 1586.

Pawik, Ł.; Pawik, M.; Wysoczańska, E.; Schabowska, A.; Morasiewicz, P.; Fink-Lwow, F. In patients with grade I and II ankle sprains, dynamic taping seems to be helpful during certain tasks, exercises and tests in selected phases of the rehabilitation process: a preliminary report. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19 (9), 1–12.

Punktacja MEiN: **140.00**

Celem badania było zbadanie zmian stabilności postawy na stabilnej powierzchni, które charakteryzować będzie funkcję podporową kończyn dolnych po zastosowaniu dynamicznej taśmy u pacjentów z inwersyjnym skręceniem stawu skokowego.

W pracy analizowano wyniki 30 pacjentów (w wieku $25,5 \pm 8,0$ lat) ze skręcieniami stawu skokowego stopnia I i II, które wystąpiły 7-21 dni przed włączeniem do badania. Stabilność posturalna (równowaga, koordynacja, sprzężenie zwrotne) została oceniona przed i po zastosowaniu taśmy dynamicznej przy użyciu platformy stabilograficznej, przy pomocy której wykonano trzy 32-sekundowe ćwiczenia: z otwartymi oczami, z zamkniętymi oczami i z wizualnym sprzężeniem zwrotnym.

Wykazaliśmy, że zastosowanie dynamicznej taśmy po skręceniu kompleksu skokowego poprawiło równowagę i koordynację na stabilnej powierzchni. Praca została opublikowana w *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19 (9), 1–12.

7. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

7.1. Osiągnięcia dydaktyczne

Od początku mojej kariery zawodowej w Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu działalność dydaktyczna stanowi ważny element mojej pracy. W ramach moich obowiązków prowadzę zajęcia dydaktyczne dla studentów Wydziału Fizjoterapii od 2008 roku z następujących przedmiotów klinicznych:

- „Kliniczne podstawy fizjoterapii w ortopedii, traumatologii i medycynie sportowej”,
- „Fizjoterapia kliniczna w dysfunkcjach narządu ruchu: Fizjoterapia ortopedii, traumatologii i w medycynie sportowej”,
- „Diagnostyka funkcjonalna w dysfunkcjach układu ruchu”,
- „Planowanie fizjoterapii w dysfunkcjach układu ruchu”

Dodatkowo jestem odpowiedzialny za tworzenie treści z tych przedmiotów, ich aktualizację oraz opracowanie kart przedmiotów (sylabusów).

W ramach prowadzonych „ścieżek specjalizacyjnych” dla studentów IV i V roku przygotowałem autorski program z przedmiotu „Traumatologia sportowa z elementami fizjoterapii”, który jest jednym z najczęściej wybieranych przez studentów Wydziału Fizjoterapii.

W latach 2016-2019, w ramach dodatkowej działalności dydaktycznej wraz ze studentami stworzyłem klub *PhysioManual*, dzięki któremu na cotygodniowych spotkaniach ze specjalistami z dziedziny medycyny i fizjoterapii studenci Wydziału Fizjoterapii mogli praktycznie rozwijać swoje zainteresowania i wiedzę z zakresu leczenia i usprawniania pacjentów ortopedyczno-urazowych.

W latach 2016-2020 prowadziłem zajęcia dydaktyczne dla studentów Wydziału Lekarskiego Uniwersytetu Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu z przedmiotu „Rehabilitacja” w języku polskim oraz dla studentów English Division w języku angielskim.

Od 2022 roku prowadzę moduły dla fizjoterapeutów odbywających szkolenia specjalizacyjne w zakresie fizjoterapii.

7.2. Promotorstwo i recenzje

W latach 2016-2018 byłem promotorem **17** prac licencjackich i **9** prac magisterskich na Wydziale Fizjoterapii Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu. Tematyka prac dotyczyła diagnostyki, nowoczesnych sposobów leczenia oraz fizjoterapii pacjentów z dysfunkcjami narządu ruchu. Dodatkowo byłem recenzentem **37** prac licencjackich i magisterskich na Wydziale Fizjoterapii Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu.

7.3. Osiągnięcia organizacyjne i pełnione funkcje

W ramach działalności organizacyjnej byłem zaangażowany w następujące prace i zajmowałem następujące stanowiska:

- Kierownik Zakładu Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu (kadencja 2020-2024);
- Wiceprzewodniczący Zespołu Medycznego Polskiego Związku Piłki Nożnej (od 2022 roku);
- Członek Komitetu Organizacyjnego Konferencji Medyczno-Sportowej Polskiego Związku Piłki Nożnej – 2022 i 2023 rok;
- Członek Rady Wydziału Fizjoterapii Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu (kadencja 2020-2024);

- Członek Wydziałowej Komisji Jakości Kształcenia Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu (od 2016 roku);
- Członek Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu (rok 2013 i 2015);
- Członek Zespołu ds. opracowania zagadnień na egzamin dyplomowy dla studentów studiów licencjackich kierunku Fizjoterapia (2012-2016);
- Członek Komitetu Organizacyjnego Międzynarodowych Dni Fizjoterapii w 2015, 2017 i 2022 roku;
- Organizacja i prowadzenia indywidualnej praktyki fizjoterapeutycznej (od 2014 roku).

7.4. Osiągnięcia popularyzujące naukę

Jestem recenzentem w następujących czasopismach naukowych:

- Acta of Bioengineering and Biomechanics, 1 manuskrypt, IF = 1,238;
- The Bone & Joint Journal, 1 manuskrypt, IF = 5,082;
- Scientific Reports, 1 manuskrypt, IF = 4,996;
- The Bone & Joint Journal, 1 manuskrypt, IF = 5,385
- Medical Science Monitor, 1 manuskrypt, IF = 3,386
- Journal of Orthopaedics Trauma Surgery and Related Research, 1 manuskrypt;
- International Journal of Foot and Ankle, 1 manuskrypt;
- Physiotherapy Quarterly, 4 manuskrypt

Od 2012 roku współpracuję z Polskim Związkiem Piłki Nożnej w zakresie koordynowania i pracy fizjoterapeutów w młodzieżowych Reprezentacjach Polski. W ramach tej współpracy udoskonalane i modyfikowane są procedury związane z fizjoterapią oraz odnową biologiczną piłkarzy przebywających na zgrupowaniach. W ramach moich zainteresowań nabywanych podczas licznych kursów i szkoleń, prowadzę konsultacje oraz tworzę protokoły postępowania usprawniającego dla sportowców, którzy podczas aktywności sportowej doznali kontuzji w obrębie układu ruchu.

W ramach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki, od 2013 roku, współprowadzę zajęcia i wykłady dla pacjentów pt.: „Sposoby radzenia sobie ze stresem wśród osób leczonych z powodu dysfunkcji narządu ruchu”, „Wpływ treningu posturograficznego na stabilności postawy i temperaturę powierzchniową ciała” czy „Kregosłup - co robić, gdy ból nie daje żyć?”.

8. Inne informacje ważne z punktu widzenia kandydata dotyczące jego kariery zawodowej

8.1. Bierny i czynny udział w konferencjach

- P. Morasiewicz, S. Dragan, W. Orzechowski, SŁ Dragan, **Ł Pawik**. Pedobarographic analysis of body weight distribution and balance after Ilizarov corticotomies. ILLRS Congress; combined-meeting of ILLRS, LLRS and ASAMI-BR. 4-7.11.2015, Miami;
- P. Morasiewicz, **Ł. Pawik**, M. Dejneka, W. Orzechowski, P. Koprowski, M. Kulej, SŁ. Dragan, SF. Dragan. Clinical evaluation of ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation. 3rd World Ortho ReCon ILLRS&ASAMI Congress. 30.08-02.09.2017, Lisbona;
- P. Morasiewicz, **Ł. Pawik**, M. Dejneka, L. Morasiewicz, A. Krawczyk, M. Kulej, SŁ. Dragan, G. Konieczny, SF. Dragan. Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation. 3rd World Ortho ReCon ILLRS&ASAMI Congress. 30.08-02.09.2017, Lisbona;
- Pawik M, **Pawik Ł**, Fink-Lwow F. Parametry czynnościowe pacjentów chorych na stwardnienie rozsiane po 12 tygodniach samodzielnych ćwiczeń fizycznych. XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii: od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia, 26-28 maja 2022, Wrocław;
- **Pawik Ł**, Pawik M, Fink-Lwow F, Wysoczańska E, Schabowska A, Morasiewicz P. Stabilność postawy u pacjentów ze skrzywieniem stawu

skokowego po jednorazowej aplikacji Dynamic Tape w teście na niestabilnym podłożu. XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii: od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia, 26-28 maja 2022, Wrocław;

- Dębiec-Bąk A, **Pawik Ł**, Wójtowicz D, Skrzek A. Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise. 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference. Budapest, 2017;
- **Pawik Ł**, Dębiec-Bąk A, Skrzek A. Thermal imaging analysis of the efficiency of thermoregulatory processes in male and female footballers after interval training. 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference. Budapest, 2017;
- Cichosz M, Chrapek D, Wilk T, Karczyński W, Kobaka K, Pawik M, **Pawik Ł**. Zaburzenia statyczne i dynamiczne miednicy występujące u pacjentów po zabiegach neurochirurgicznych stosowanych w przebiegu leczenia następstw choroby zwyrodnieniowej kręgosłupa. Międzynarodowy Dzień Inwalidy XXIII-edycja, Zgorzelec, 23-25 marca 2017 roku;
- Dębiec-Bąk A, **Pawik Ł**, Jedynak D, Skrzek A. Termowizyjna ocena zmian temperatury powierzchniowej ciała po kriostymulacji ogólnoustrojowej u piłkarzy nożnych. VIII International Days of Physiotherapy 7-8 czerwca 2013, Wrocław.

8.2. Ukończone kursy i szkolenia

- Specjalizacja z Fizjoterapii – 2018 do chwili obecnej (planowany egzamin sesja jesienna 2023);
- Studia podyplomowe Osteopatii – Akademia Osteopatii – 2021 do chwili obecnej;
- Szkolenie – Użytkowania platformy Moodle dla Twórców Kursu – 2020 rok;

- Kurs - Współczesne kierunki protezowania i aparatownia kończyn górnych, dolnych i tułowia – 2018 rok;
- Kurs - Fizjoterapia u dzieci ryzyka – 2018 rok;
- Szkolenie - Blended learning w dydaktyce szkoły wyższej – 2018 rok;
- Szkolenie - Wystąpienia publiczne - sztuka dyskusowania i przekonywania – 2018 rok;
- Szkolenie - Statistica poziom podstawowy – 2018 rok;
- Kurs - Diagnostyka funkcjonalna w chorobach układu krążenia i oddechowego – 2017 rok;
- Kurs - Masaż Tkanek Głębokich – 2017 rok;
- Kurs - Zniekształcenia statyczne ciała dzieci i młodzieży – 2016 rok;
- Kurs - Podstawy farmakoterapii dla potrzeb fizjoterapii – 2016 rok;
- Kurs - Medyczny Trening Terapeutyczny – 2015 rok;
- Kurs - Terapia manualna metody Maitland zakończony międzynarodowym certyfikatem – 2013 rok;
- Kurs - Terapia manualna według koncepcji Mulligan – 2013 rok;
- Kurs - Współczesne sposoby terapii powięziowej – 2013 rok;
- Kurs - Diagnostyka obrazowa narządu ruchu – 2013 rok;
- Kurs - Rehabilitacja sportowa – 2012 rok;
- Kurs - Współczesne metody terapii tkanek miękkich – 2012 rok;
- Kurs - Diagnostyka różnicowa schorzeń narządu ruchu -2012 rok;
- Kurs - Terapia punktów spustowych w fizjoterapii – 2012 rok;
- Kurs - Traumatologia Sportowa – 2010 rok;
- Kurs - Kinesiology Taping – 2010 rok.

8.3. Członkostwo w Towarzystwach Naukowych

- Członek ASAMI International (Association for the Study and Application of the Methods of Ilizarov) – od 2016 roku;
- Członek Stowarzyszenia Fizjoterapia Polska – od 2015 roku;
- Członek Polskiego Towarzystwa Fizjoterapii – od 2015 roku;

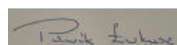
- Członek Polskiego Towarzystwa Gerontologicznego – od 2015 roku.

8.4. Nagrody i wyróżnienia

- Nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu w 2022 rok – II stopnia za najwyższą ocenę ewaluacji osiągnięć w grupie adiunktów badawczo-dydaktycznych
- Nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu w 2021 roku – II stopnia za zespołowe osiągnięcia naukowe i organizacyjne
- Nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu w 2019 roku – I stopnia za osiągnięcie naukowe i organizacyjne
- Dwukrotnie kandydat do nagrody Wrocławskiego Oddziału Polskiej Akademii Nauk „Juvenes Wratislaviae za osiągnięcia naukowe w roku 2015 i 2019
- Nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu w 2017 roku – I stopnia za osiągnięcie naukowe w grupie młodych pracowników
- Nagroda Rady Wydziału Fizjoterapii Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu w 2016 roku – II stopnia za osiągnięcie naukowe i organizacyjne
- Nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu w 2015 roku – I stopnia za osiągnięcie naukowe i organizacyjne w grupie młodych pracowników
- Nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu w 2014 roku – I stopnia za osiągnięcie naukowe w grupie młodych pracowników
- Laureat II edycji projektu „Kluczowy stażysta” w ramach przedsięwzięcia pt. „Innowacyjny trening fizjoterapeutyczny dla pacjentów leczonych metodą Ilizarowa” w 2014 roku

Wrocław, 22.09.2023

Signed by /
Podpisano przez:



Łukasz Michał
Pawik

.....Date / Data:
2023-09-22 12:36

(podpis wnioskodawcy)

dr Łukasz Pawik

Wykaz publikacji punktowanych przed uzyskaniu stopnia doktora

L.p.	Wykaz artykułów w czasopismach naukowych	Punkty MNiSW	IF
1	Morasiewicz Piotr, Konieczny Grzegorz, Pawik Łukasz , Dragan Szymon. Sport and physical activity in patients after derotational corticotomies with the Ilizarov method <i>Acta Orthopaedica Belgica</i> , 2015 : vol. 81, nr 1, s. 90-99	20	0.837
2	Pawik Łukasz , Konieczny Grzegorz, Wrzosek Zdzisława. Wykorzystanie urządzenia własnej konstrukcji do pomiaru ruchu odwracania i nawracania w stawie skokowym <i>Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna</i> , 2014 : vol.20, nr 1, s. 21-28	12	-
3	Morasiewicz Piotr, Morasiewicz Leszek, Stępniewski Marek, Orzechowski Wiktor, Morasiewicz Małgorzata, Pawik Łukasz , Wrzosek Zdzisława, Dragan Szymon. Results and biomechanical consideration of treatment of congenital lower limb shortening and deformity using the Ilizarov method <i>Acta of Bioengineering and Biomechanics</i> , 2014 : vol. 16, nr 1, s. 133-140	15	0.894
4	Stolarczyk Kinga, Wrzosek Zdzisława, Konieczny Grzegorz, Pawik Łukasz . Postawa ciała oraz ocena stanu czynnościowego stawów biodrowych w przebiegu choroby zwyrodnieniowej <i>Kwartalnik Ortopedyczny</i> , 2012, nr 2, s. 211-218	2	-
5	Pawik Łukasz , Konieczny Grzegorz, Wrzosek Zdzisława. Wpływ odwracania i nawracania stawu skokowego na składową pionową siłę reakcji podłoża <i>Kwartalnik Ortopedyczny</i> , 2012, nr 2, s.176-186	2	-
	Suma	51	1.731

L.p.	Wykaz rozdziałów w monografiach	Punkty MNiSW
1	Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz , Skrzek Anna. Monitorowanie procesu treningowego w badaniach termowizyjnych W: <i>Biomedyczne zastosowania termowizji</i> / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014, s. 171-180	5
2	Skrzek Anna, Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz . Termowizyjne monitorowanie efektów krioterapii W: <i>Biomedyczne zastosowania termowizji</i> / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014, s. 125-133	5

3	Pawik Łukasz, Skrzek Anna, Dębiec-Bąk Agnieszka. Zastosowanie termowizji w diagnostyce i monitorowaniu leczenia urazów narządu ruchu W: <i>Biomedyczne zastosowania termowizji</i> / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014 , s. 181- 191	5
	Suma	15

Ośrodek Informacji Naukowej
AWF Wrocław

05.09.2023 *Elżbieta Lis*

dr Łukasz Pawik

Wykaz publikacji punktowanych po uzyskaniu stopnia doktora

L.p.	Wykaz powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowiących podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego	Punkty MEiN/MNiSW	IF
1	Pawik Łukasz , Fink-Lwow Felicja, Pajchert Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Górski Radosław, Pawik Malwina, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr. Kinematic parameters after tibial nonunion treatment using the Ilizarov method <i>BMC Musculoskeletal Disorders</i> , 2022 : vol. 23, art. 723, s. 1-10	100	2.300
2	Pawik Łukasz , Fink-Lwow Felicja, Pajchert Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Urbański Wiktor, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr. Assessment of gait after treatment of tibial nonunion with the Ilizarov method <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> , 2021 : vol. 18, nr 8, art. 4217, s. 1-12	140	4.614
3	Pawik Łukasz , Wietecki Paweł, Leśkow Artur, Pajchert Kozłowska Andżelika, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Urbański Wiktor, Morasiewicz Piotr. Gait symmetry analysis in patients after treatment of pilon fractures by the Ilizarov method <i>Symmetry</i> , 2021 : vol. 13, nr 2, art. 349, s. 1-11	70	2.940
4	Pawik Łukasz , Pajchert-Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr. Assessment of lower limb load distribution in patients treated with the Ilizarov method for tibial nonunion <i>Medical Science Monitor</i> , 2021 : vol. 27, art. e930849, s.1-8	140	3.386
5	Pawik Łukasz , Pawik Malwina, Wrzosek Zdzisława, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr. Assessment of the quality of life in patients with varying degrees of equalization of lower limb length discrepancy treated with Ilizarov method <i>Journal of Orthopaedic Surgery and Research</i> , 2021 : vol. 16, art. 62, s. 1-9	70	2.677
	Wykaz artykułów w czasopismach naukowych		
6	Kuliński Patryk, Tomczyk Łukasz, Pawik Łukasz , Olech Jarosław, Morasiewicz Piotr. Radiographic outcomes of hallux valgus deformity correction with chevron and scarf osteotomies <i>Journal of Foot & Ankle Surgery</i> , 2023 : vol. 62, nr 4, s. 676-682	70	1.300

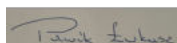
7	<p>Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Wysoczańska Emilia, Schabowska Aleksandra, Morasiewicz Piotr, Fink-Lwow Felicja.</p> <p>In patients with grade I and II ankle sprains, dynamic taping seems to be helpful during certain tasks, exercises and tests in selected phases of the rehabilitation process : a preliminary report</p> <p><i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>, 2022 : vol. 19, nr 9, art. 5291, s. 1-12</p>	140	-
8	<p>Wieteki Paweł, Pawik Łukasz, Fink-Lwow Felicja, Leńkow Artur, Górski Radosław, Pawik Malwina, Olech Jarosław, Klepacki Krzysztof, Kuliński Patryk, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr.</p> <p>Kinematic parameters following pilon fracture treatment with the Ilizarov method</p> <p><i>Journal of Clinical Medicine</i>, 2022 : vol. 11, nr 10, art. 2763, s. 1-11</p>	140	3.900
9	<p>Barczyk-Pawelec Katarzyna, Rubajczyk Krystian, Stefańska Małgorzata, Pawik Łukasz, Dziubek Wioletta.</p> <p>Characteristics of body posture in the sagittal plane in 8-13-year-old male athletes practicing soccer</p> <p><i>Symmetry</i>, 2022 : vol. 14, nr 2, art. 210, s. 1-12</p>	70	2.700
10	<p>Pajchert Kozłowska Andżelika, Pawik Łukasz, Szellerski Łukasz, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Urbański Wiktor, Morasiewicz Piotr.</p> <p>Dynamic gait parameters in patients with nonunion of the tibia following treatment with the Ilizarov method</p> <p><i>Journal of Biomechanical Engineering</i>, 2021 : vol. 143, nr 11, art. 111004, s. 1-6</p>	70	1.899
11	<p>Kuciel Natalia, Mazurek Justyna, Sutkowska Edyta, Biernat Karolina, Pawik Łukasz.</p> <p>A comparison of abdominal muscles fatigue in women after vaginal birth, women after caesarean section, and a control group : a pilot study</p> <p><i>Physiotherapy Quarterly</i>, 2021 : vol. 29, nr 2, s. 62-65</p>	70	-
12	<p>Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Karwacka Magdalena, Wysoczańska Emilia, Schabowska Aleksandra, Kuciel Natalia, Biernat Karolina, Dębiec-Bąk Agnieszka, Lewandowska Joanna, Fink-Lwow Felicja.</p> <p>Body balance after fascial therapy in athletes with soft lower limb muscle injuries</p> <p><i>Symmetry</i>, 2021 : vol. 13, nr 9, art. 1586</p>	70	2.940
13	<p>Kuciel Natalia, Mazurek Justyna, Biernat Karolina, Pawik Łukasz, Sutkowska Edyta.</p> <p>Abdominal muscles activity during abdominal bracing and posterior pelvic tilt in women after natural birth and after caesarean delivery</p> <p><i>Acta of Bioengineering and Biomechanics</i>, 2020 : vol. 22, nr 4, s. 167-173</p>	100	1.073

plet

14	Pajchert Kozłowska Andżelika, Pawik Łukasz , Szelerski Łukasz, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr. Assessment of body balance of patients treated with the Ilizarov method for tibial nonunion <i>Acta of Bioengineering and Biomechanics</i> , 2020 : vol. 22, nr 3, s. 131-137	100	1.073
15	Morasiewicz Piotr, Dejneki Maciej, Kulej Mirosław, Dragan Szymon Łukasz, Konieczny Grzegorz, Krawczyk Artur, Urbański Wiktor, Orzechowski Wiktor, Dragan Szymon Feliks, Pawik Łukasz . Sport and physical activity after ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation <i>Advances in Clinical and Experimental Medicine</i> , 2019 : vol. 28, nr 5, s. 609-614	70	1.514
16	Grześkowiak Marta, Pawik Łukasz , Schabowska Aleksandra, Fink-Lwow Felicja, Pawik Malwina. Schorzenia narządu ruchu czynnych zawodowo pielęgniarek: wyniki badań własnych <i>Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka</i> , 2019 , nr 7, s. 16-20	20	-
17	Morasiewicz Piotr, Dejneki Maciej, Orzechowski Wiktor, Urbański Wiktor, Kulej Mirosław, Dragan Szymon Łukasz, Dragan Szymon Feliks, Pawik Łukasz . Clinical evaluation of ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation <i>BMC Musculoskeletal Disorders</i> , 2019 : vol. 20, art. 167, s. 1-8	100	1.879
18	Pawik Łukasz , Morasiewicz Piotr, Wrzosek Zdzisława, Fink-Lwow Felicja, Pawik Malwina. The impact of lower limb-length equalisation on postural stability in patients treated with the Ilizarov method <i>Journal of Men's Health</i> , 2019 : vol. 15, nr 3, s. e71-e79	20	0.250
19	Dębiec-Bąk Agnieszka, Wójtowicz Dorota, Pawik Łukasz , Ptak Agnieszka, Skrzek Anna. Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise <i>Journal of Thermal Analysis and Calorimetry</i> , 2019 : vol. 135, nr 4, s. 2399-2410	100	2.731
20	Morasiewicz Piotr, Konieczny Grzegorz, Dejneki Maciej, Morasiewicz Leszek, Urbański Wiktor, Kulej Mirosław, Dragan Szymon Łukasz, Dragan Szymon Feliks, Pawik Łukasz . Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation <i>BioMedical Engineering Online</i> , 2018 : Vol. 17, art. 174, s. 1-9	25	2.013
21	Morasiewicz Piotr, Urbański Wiktor, Kulej Mirosław, Dragan Szymon Łukasz, Dragan Szymon Feliks, Pawik Łukasz . Balance and lower limb loads distribution after Ilizarov corticotomy <i>Injury-International Journal of the Care of the Injured</i> , 2018 : vol. 49, nr 4, s. 860-865	30	1.834

22	Lewandowska Joanna, Pawik Łukasz , Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Kałużny Krystian, Kałużna Anna, Zukow Walery. Regular yoga exercises and quality of life in women with low back pain - a pilot study <i>Journal of Education, Health and Sport</i> , 2018 : vol. 8, nr 12, s. 882-896	7	-
23	Morasiewicz Piotr, Konieczny Grzegorz, Dejneki Maciej, Urbański Wiktor, Dragan Szymon Łukasz, Kulej Mirosław, Dragan Szymon Feliks, Pawik Łukasz . Assessment of the distribution of load on the lower limbs and balance before and after ankle arthrodesis with the Ilizarov method <i>Scientific Reports</i> , 2018 : vol. 8, art. 15693, s.1-6	40	4.011
24	Morasiewicz Piotr, Dragan Szymon, Dragan Szymon Łukasz, Wrzosek Zdzisława, Pawik Łukasz . Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after Ilizarov corticotomies <i>Clinical Biomechanics</i> , 2016 : vol. 31, s. 2-6	30	1.874
25	Chantsoulis Marzena, Sipko Tomasz, Wójtowicz Dorota, Pawik Łukasz , Dębiec-Bąk Agnieszka, Wołoszyn Daria, Skrzek Anna. Assessment of quality of life after the DIAMTM spinal stabilization system <i>Journal of Education, Health and Sport</i> , 2016 : vol. 6, nr 10, s. 279-288	7	-
26	Zuk Maciej, Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz , Skrzek Anna. Wpływ masażu głębokiego na mięsień czworogłowy piłkarzy nożnych, w badaniach izokinetycznych i termowizyjnych <i>Journal of Education, Health and Sport</i> , 2016 : vol. 6, nr 7, s. 236-251	7	-
27	Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz , Skrzek Anna. Thermoregulation of football players after cryotherapy in thermography <i>Journal of Thermal Analysis and Calorimetry</i> , 2016 : vol. 126, nr 3, s. 1633-1644	25	1.953
Suma		1831	48.861

Signed by /
Podpisano przez:



Łukasz Michał
Pawik

Date / Data:
2023-09-22 12:37

Ośrodek Informacji Naukowej
AWF Wrocław

05.09.2023 Olga Slika



Baza Publikacji Pracowników Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu od r. 2002

Zapytanie: PAWIK ŁUKASZ

1

Autorzy: Kuliński Patryk, Tomczyk Łukasz, Pawik Łukasz, Olech Jarosław, Morasiewicz Piotr.

Tytuł oryginalny: Radiographic outcomes of hallux valgus deformity correction with chevron and scarf osteotomies

Czasopismo: Journal of Foot & Ankle Surgery

Szczegóły: 2023 : vol. 62, nr 4, s. 676-682, ryc., tab., bibliogr. 34 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 1.300

Punktacja MEiN: 70.000

2

Autorzy: Pawik Łukasz, Fink-Lwow Felicja, Pajchert Kozłowska Andżelika, Szelerski Łukasz, Górski Radosław, Pawik Malwina, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr.

Tytuł oryginalny: Kinematic parameters after tibial nonunion treatment using the Ilizarov method

Czasopismo: BMC Musculoskeletal Disorders

Szczegóły: 2022 : vol. 23, art. 723, s. 1-10, ryc., tab., bibliogr. 44 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 2.300

Punktacja MEiN: 100.000

3

Autorzy: Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Wysoczańska Emilia, Schabowska Aleksandra, Morasiewicz Piotr, Fink-Lwow Felicja.

Tytuł oryginalny: In patients with grade I and II ankle sprains, dynamic taping seems to be helpful during certain tasks, exercises and tests in selected phases of the rehabilitation process : a preliminary report

Czasopismo: International Journal of Environmental Research and Public Health

Szczegóły: 2022 : vol. 19, nr 9, art. 5291, s. 1-12, ryc., tab., bibliogr. 49 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Punktacja MEiN: 140.000

4

Autorzy: Wieteci Paweł, Pawik Łukasz, Fink-Lwow Felicja, Leśkow Artur, Górski Radosław, Pawik Malwina, Olech Jarosław, Klepacki Krzysztof, Kuliński Patryk, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr.

Tytuł oryginalny: Kinematic parameters following pilon fracture treatment with the Ilizarov method

Czasopismo: Journal of Clinical Medicine

Szczegóły: 2022 : vol. 11, nr 10, art. 2763, s. 1-11, ryc., tab., bibliogr. 30 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 3.900

Punktacja MEiN: 140.000

5

Autorzy: Barczyk-Pawelec Katarzyna, Rubajczyk Krystian, Stefańska Małgorzata, Pawik Łukasz, Dziubek Wioletta.

Tytuł oryginalny: Characteristics of body posture in the sagittal plane in 8-13-year-old male athletes practicing soccer

Czasopismo: Symmetry

Szczegóły: 2022 : vol. 14, nr 2, art. 210, s. 1-12, ryc., tab., bibliogr. 52 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 2.700

Punktacja MEiN: 70.000

Autorzy: Pawik Malwina, Pawik Łukasz, Fink-Lwow Felicja.

Tytuł oryginalny: Parametry czynnościowe pacjentów chorych na stwardnienie rozsiane po 12 tygodniach samodzielnych ćwiczeń fizycznych

Tytuł równoległy: Functional parameters in multiple sclerosis patients after 12 weeks of self-administered exercise

Tytuł całości: W: XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii : od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia, 26-28 maja 2022, Wrocław : streszczenia

Adres wydawniczy: [Wrocław : Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2022]

Opis fizyczny: s. 78-80

Charakt. formalna: polskie streszczenie zjazdowe

7

Autorzy: Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Wysoczańska Emilia, Schabowska Aleksandra, Morasiewicz Piotr.

Tytuł oryginalny: Stabilność postawy u pacjentów ze skręceniem stawu skokowego po

jednorazowej aplikacji Dynamic Tape w teście na niestabilnym podłożu : raport wstępny

Tytuł równoległy: Relationship between single application of Dynamic Tape and postural stability on unstable ground in patients with ankle sprains : a preliminary study

Tytuł całości: W: XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii : od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia, 26-28 maja 2022, Wrocław : streszczenia

Adres wydawniczy: [Wrocław : Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2022]

Opis fizyczny: s. 77-78

Charakt. formalna: polskie streszczenie zjazdowe

8

Autorzy: Pawik Łukasz, Fink-Lwow Felicja, Pajchert Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Urbański Wiktor, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr.

Tytuł oryginalny: Assessment of gait after treatment of tibial nonunion with the Ilizarov method

Czasopismo: International Journal of Environmental Research and Public Health

Szczegóły: 2021 : vol. 18, nr 8, art. 4217, s. 1-12, ryc., fot., tab., bibliogr. 45 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 4.614

Punktacja MEiN: 140.000

9

Autorzy: Pajchert Kozłowska Andżelika, Pawik Łukasz, Szellerski Łukasz, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Urbański Wiktor, Morasiewicz Piotr.

Tytuł oryginalny: Dynamic gait parameters in patients with nonunion of the tibia following treatment with the Ilizarov method

Czasopismo: Journal of Biomechanical Engineering

Szczegóły: 2021 : vol. 143, nr 11, art. 111004, s. 1-6, ryc., tab., bibliogr. 33 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 1.899

Punktacja MEiN: 70.000

10

Autorzy: Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Wrzosek Zdzisława, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr.

Tytuł oryginalny: Assessment of the quality of life in patients with varying degrees of equalization of lower limb length discrepancy treated with Ilizarov method

Czasopismo: Journal of Orthopaedic Surgery and Research

Szczegóły: 2021 : vol. 16, art. 62, s. 1-9, ryc., fot., tab., bibliogr. 35 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 2.677

Punktacja MEiN: 70.000

Autorzy: Pawik Łukasz, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Szelerski Łukasz, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr.
Tytuł oryginalny: Assessment of lower limb load distribution in patients treated with the Ilizarov method for tibial nonunion
Czasopismo: Medical Science Monitor
Szczegóły: 2021 : vol. 27, art. e930849, s.1-8, ryc., tab., bibliogr. 47 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 3.386
Punktacja MEiN: 140.000

12

Autorzy: Kuciel Natalia, Mazurek Justyna, Sutkowska Edyta, Biernat Karolina, Pawik Łukasz.
Tytuł oryginalny: A comparison of abdominal muscles fatigue in women after vaginal birth, women after caesarean section, and a control group : a pilot study
Czasopismo: Physiotherapy Quarterly
Szczegóły: 2021 : vol. 29, nr 2, s. 62-65, tab., bibliogr. 30 poz.
Charakt. formalna: polski artykuł
Punktacja MEiN: 70.000

13

Autorzy: Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Karwacka Magdalena, Wysoczańska Emilia, Schabowska Aleksandra, Kuciel Natalia, Biernat Karolina, Dębiec-Bąk Agnieszka, Lewandowska Joanna, Fink-Lwow Felicja.
Tytuł oryginalny: Body balance after fascial therapy in athletes with soft lower limb muscle injuries
Czasopismo: Symmetry
Szczegóły: 2021 : vol. 13, nr 9, art. 1586, s. 1-12, ryc., tab., bibliogr. 41 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 2.940
Punktacja MEiN: 70.000

14

Autorzy: Pawik Łukasz, Wieteci Paweł, Leśkow Artur, Pajchert Kozłowska Andżelika, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Urbański Wiktor, Morasiewicz Piotr.
Tytuł oryginalny: Gait symmetry analysis in patients after treatment of pilon fractures by the Ilizarov method
Czasopismo: Symmetry
Szczegóły: 2021 : vol. 13, nr 2, art. 349, s. 1-11, ryc., tab., bibliogr. 37 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 2.940
Punktacja MEiN: 70.000

15

Autorzy: Kuciel Natalia, Mazurek Justyna, Biernat Karolina, Pawik Łukasz, Sutkowska Edyta.
Tytuł oryginalny: Abdominal muscles activity during abdominal bracing and posterior pelvic tilt in women after natural birth and after caesarean delivery
Czasopismo: Acta of Bioengineering and Biomechanics
Szczegóły: 2020 : vol. 22, nr 4, s. 167-173, tab., bibliogr. 31 poz.
Charakt. formalna: polski artykuł
Impact Factor: 1.073
Punktacja MEiN: 100.000

16

Autorzy: Pajchert Kozłowska Andżelika, Pawik Łukasz, Szelerski Łukasz, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr.
Tytuł oryginalny: Assessment of body balance of patients treated with the Ilizarov method for tibial nonunion
Czasopismo: Acta of Bioengineering and Biomechanics
Szczegóły: 2020 : vol. 22, nr 3, s. 131-137, ryc., tab., bibliogr. 29 poz.
Charakt. formalna: polski artykuł
Impact Factor: 1.073
Punktacja MEiN: 100.000

Autorzy: Morasiewicz Piotr, Dejneki Maciej, Kulej Mirosław, Dragan Szymon Łukasz, Konieczny Grzegorz, Krawczyk Artur, Urbański Wiktor, Orzechowski Wiktor, Dragan Szymon Feliks, Pawik Łukasz.

Tytuł oryginalny: Sport and physical activity after ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation

Czasopismo: Advances in Clinical and Experimental Medicine

Szczegóły: 2019 : vol. 28, nr 5, s. 609-614, tab., bibliogr. 28 poz.

Charakt. formalna: polski artykuł

Impact Factor: 1.514

Punktacja MEiN: 70.000

18

Autorzy: Grześkowiak Marta, Pawik Łukasz, Schabowska Aleksandra, Fink-Lwow Felicja, Pawik Malwina.

Tytuł oryginalny: Schorzenia narządu ruchu czynnych zawodowo pielęgniarek : wyniki badań własnych

Tytuł równoległy: The locomotor systems's ailments of professionally active nurses : original research results

Czasopismo: Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka

Szczegóły: 2019, nr 7, s. 16-20, ryc., bibliogr. 27 poz., sum.

Charakt. formalna: polski artykuł

Punktacja MEiN: 20.000

19

Autorzy: Morasiewicz Piotr, Dejneki Maciej, Orzechowski Wiktor, Urbański Wiktor, Kulej Mirosław, Dragan Szymon Łukasz, Dragan Szymon Feliks, Pawik Łukasz.

Tytuł oryginalny: Clinical evaluation of ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation

Czasopismo: BMC Musculoskeletal Disorders

Szczegóły: 2019 : vol. 20, art. 167, s. 1-8, ryc., tab., bibliogr. 26 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 1.879

Punktacja MEiN: 100.000

20

Autorzy: Pawik Łukasz, Morasiewicz Piotr, Wrzosek Zdzisława, Fink-Lwow Felicja, Pawik Malwina.

Tytuł oryginalny: The impact of lower limb-length equalisation on postural stability in patients treated with the Ilizarov method

Czasopismo: Journal of Men's Health

Szczegóły: 2019 : vol. 15, nr 3, s. e71-e79, ryc., tab., bibliogr. 30 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 0.250

Punktacja MEiN: 20.000

21

Autorzy: Dębiec-Bąk Agnieszka, Wójtowicz Dorota, Pawik Łukasz, Ptak Agnieszka, Skrzek Anna.

Tytuł oryginalny: Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise

Czasopismo: Journal of Thermal Analysis and Calorimetry

Szczegóły: 2019 : vol. 135, nr 4, s. 2399-2410, ryc. tab. bibliogr. 36 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 2.731

Punktacja MEiN: 100.000

Autorzy: Morasiewicz Piotr, Konieczny Grzegorz, Dejneki Maciej, Morasiewicz Leszek, Urbański Wiktor, Kulej Mirosław, Dragan Szymon Łukasz, Dragan Szymon Feliks, Pawik Łukasz.
Tytuł oryginalny: Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation
Czasopismo: BioMedical Engineering Online
Szczegóły: 2018 : Vol. 17, art. 174, s. 1-9, rys., tab., bibliogr. 46 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 2.013
Punktacja MEiN: 25.000

23

Autorzy: Morasiewicz Piotr, Urbański Wiktor, Kulej Mirosław, Dragan Szymon Łukasz, Dragan Szymon Feliks, Pawik Łukasz.
Tytuł oryginalny: Balance and lower limb loads distribution after Ilizarov corticotomy
Czasopismo: Injury-International Journal of the Care of the Injured
Szczegóły: 2018 : vol. 49, nr 4, s. 860-865, ryc., tab., bibliogr. 22 poz., sum.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 1.834
Punktacja MEiN: 30.000

24

Autorzy: Lewandowska Joanna, Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Kałużny Krystian, Kałużna Anna, Zukow Walery.
Tytuł oryginalny: Regular yoga exercises and quality of life in women with low back pain - a pilot study
Czasopismo: Journal of Education, Health and Sport
Szczegóły: 2018 : vol. 8, nr 12, s. 882-896, ryc., tab., bibliogr. 39 poz.
Charakt. formalna: polski artykuł
Punktacja MEiN: 7.000

25

Autorzy: Morasiewicz Piotr, Konieczny Grzegorz, Dejneki Maciej, Urbański Wiktor, Dragan Szymon Łukasz, Kulej Mirosław, Dragan Szymon Feliks, Pawik Łukasz.
Tytuł oryginalny: Assessment of the distribution of load on the lower limbs and balance before and after ankle arthrodesis with the Ilizarov method
Czasopismo: Scientific Reports
Szczegóły: 2018 : vol. 8, art. 15693, s.1-6, ryc., bibliogr. 23 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 4.011
Punktacja MEiN: 40.000

26

Autorzy: Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz, Wójtowicz Dorota, Skrzek Anna.
Tytuł oryginalny: Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise
Tytuł całości: W: 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference : book of abstracts
Adres wydawniczy: Budapest, 2017
Opis fizyczny: s. 192
Konferencja/zjazd - miejsce i data: Budapest, Hungary : June 6-9, 2017
p-ISBN: 978-963-454-098-4
Charakt. formalna: zagraniczne streszczenie zjazdowe

27

Autorzy: Pawik Łukasz, Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna.
Tytuł oryginalny: Thermal imaging analysis of the efficiency of thermoregulatory processes in male and female footballers after interval training
Tytuł całości: W: 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference : book of abstracts
Adres wydawniczy: Budapest, 2017
Opis fizyczny: s. 195
Konferencja/zjazd - miejsce i data: Budapest, Hungary : June 6-9, 2017
Charakt. formalna: zagraniczne streszczenie zjazdowe

Autorzy: Cichosz Michał, Chrapek Dominik, Wilk Tomasz, Karczyński Wojciech, Kobaka Katarzyna, Pawik Malwina, Pawik Łukasz.

Tytuł oryginalny: Zaburzenia statyczne i dynamiczne miednicy występujące u pacjentów po zabiegach neurochirurgicznych stosowanych w przebiegu leczenia następstw choroby zwyrodnieniowej kręgosłupa

Tytuł równoległy: Static and dynamic disorders of the pelvis occurring in patients after neurosurgery used in the course of treatment of osteoarthritis of the spine

Tytuł całości: W: Życie bez bólu : Zdrowe dzieci - zdrowa Europa : Międzynarodowy Dzień Inwalidy XXIII-edycja, Zgorzelec, 23-25 marca 2017 roku

Adres wydawniczy: Zgorzelec : "Obrzeża" Oficyna Wydawnicza Klubu Literackiego "Inspiracje" Miejskiego Domu Kultury w Zgorzelcu, 2017

Opis fizyczny: s. 160

p-ISBN: 978-83-88380-75-4

Charakt. formalna: polskie streszczenie zjazdu

Konferencja/zjazd - tytuł: XXIII edycja Międzynarodowego Dnia Inwalidy Zgorzelec 2017 - Konferencja Naukowa; Komitet Organizacyjny MDI 2017

29

Autorzy: Morasiewicz Piotr, Dragan Szymon, Dragan Szymon Łukasz, Wrzosek Zdzisława, Pawik Łukasz.

Tytuł oryginalny: Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after Ilizarov corticotomies

Czasopismo: Clinical Biomechanics

Szczegóły: 2016 : vol. 31, s. 2-6, ryc., bibliogr. 25 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 1.874

Punktacja MEiN: 30.000

30

Autorzy: Chantsoulis Marzena, Sipko Tomasz, Wójtowicz Dorota, Pawik Łukasz, Dębiec-Bąk Agnieszka, Wołoszyn Daria, Skrzek Anna.

Tytuł oryginalny: Assessment of quality of life after the DIAMTM spinal stabilization system

Czasopismo: Journal of Education, Health and Sport

Szczegóły: 2016 : vol. 6, nr 10, s. 279-288, tab., bibliogr. 24 poz.

Charakt. formalna: polski artykuł

Punktacja MEiN: 7.000

31

Autorzy: Zuk Maciej, Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz, Skrzek Anna.

Tytuł oryginalny: Wpływ masażu głębokiego na mięsień czworogłowy piłkarzy nożnych, w badaniach izokinetycznych i termowizyjnych

Tytuł równoległy: Influence of massage deep in quadriceps soccer players, in isokinetic testing and thermography

Czasopismo: Journal of Education, Health and Sport

Szczegóły: 2016 : vol. 6, nr 7, s. 236-251, tab., bibliogr. 21 poz., sum.

Charakt. formalna: polski artykuł

Punktacja MEiN: 7.000

32

Autorzy: Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz, Skrzek Anna.

Tytuł oryginalny: Thermoregulation of football players after cryotherapy in thermography

Czasopismo: Journal of Thermal Analysis and Calorimetry

Szczegóły: 2016 : vol. 126, nr 3, s. 1633-1644, ryc., tab., bibliogr. 40 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 1.953

Punktacja MEiN: 25.000

Autorzy: Morasiewicz Piotr, Konieczny Grzegorz, Pawik Łukasz, Dragan Szymon.
Tytuł oryginalny: Sport and physical activity in patients after derotational corticotomies with the Ilizarov method
Czasopismo: Acta Orthopaedica Belgica
Szczegóły: 2015 : vol. 81, nr 1, s.90-99, tab., bibliogr., 50 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 0.837
Punktacja MEiN: 20.000

34

Autorzy: Pawik Łukasz, Konieczny Grzegorz, Wrzosek Zdzisława.
Tytuł oryginalny: Wykorzystanie urządzenia własnej konstrukcji do pomiaru ruchu odwracania i nawracania w stawie skokowym
Tytuł równoległy: The use of the own designed device for measurement of the supination and pronation motion in ankle joint
Czasopismo: Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna
Szczegóły: 2014 : vol.20, nr 1, s.21-28, ryc. bibliogr. 12 poz. streszcz. sum.
Charakt. formalna: polski artykuł
Punktacja MEiN: 12.000

35

Autorzy: Morasiewicz Piotr, Morasiewicz Leszek, Stępniewski Marek, Orzechowski Wiktor, Morasiewicz Małgorzata, Pawik Łukasz, Wrzosek Zdzisława, Dragan Szymon.
Tytuł oryginalny: Results and biomechanical consideration of treatment of congenital lower limb shortening and deformity using the Ilizarov method
Czasopismo: Acta of Bioengineering and Biomechanics
Szczegóły: 2014 : vol. 16, nr 1, s. 133-140, ryc., bibliogr. 29 poz.
Charakt. formalna: polski artykuł
Impact Factor: 0.894
Punktacja MEiN: 15.000

36

Autorzy: Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz, Skrzek Anna.
Tytuł oryginalny: Monitorowanie procesu treningowego w badaniach termowizyjnych
Tytuł całości: W: Biomedyczne zastosowania termowizji / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek
Adres wydawniczy: Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014
Opis fizyczny: s. 171-180 : bibliogr. 35 poz.
p-ISBN: 978-83-7493-861-7
Charakt. formalna: polski rozdział w monografii
Punktacja MEiN: 5.000

37

Autorzy: Skrzek Anna, Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz.
Tytuł oryginalny: Termowizyjne monitorowanie efektów krioterapii
Tytuł całości: W: Biomedyczne zastosowania termowizji / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek
Adres wydawniczy: Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014
Opis fizyczny: s. 125-133 : ryc., bibliogr. 22 poz.
p-ISBN: 978-83-7493-861-7
Charakt. formalna: polski rozdział w monografii
Punktacja MEiN: 5.000

38

Autorzy: Pawik Łukasz, Skrzek Anna, Dębiec-Bąk Agnieszka.
Tytuł oryginalny: Zastosowanie termowizji w diagnostyce i monitorowaniu leczenia urazów narządu ruchu
Tytuł całości: W: Biomedyczne zastosowania termowizji / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek
Adres wydawniczy: Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014
Opis fizyczny: s. 181-191 : bibliogr. 32 poz.
p-ISBN: 978-83-7493-861-7
Charakt. formalna: polski rozdział w monografii
Punktacja MEiN: 5.000

Autorzy: Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz, Jedynak Daniel, Skrzek Anna.

Tytuł oryginalny: Termowizyjna ocena zmian temperatury powierzchniowej ciała po kriostymulacji ogólnoustrojowej u piłkarzy nożnych

Tytuł równoległy: Thermal imager to assess changes in the surface temperature of the body systemic cryo stimulation of football players

Tytuł całości: W: VIII Międzynarodowe Dni Fizjoterapii : fizjoterapia, terapia zajęciowa, kosmetologia - razem czy osobno? = VIII International Days of Physiotherapy : physiotherapy, occupational therapy, cosmetology - together or apart? : 7-8 czerwca 2013, Wrocław

Adres wydawniczy: Wrocław : Akademia Wychowania Fizycznego, 2013

Opis fizyczny: s. 17-18

p-ISBN: 978-83-89156-36-5

Charakt. formalna: polskie streszczenie zjazdu

40

Autorzy: Stolarczyk Kinga, Wrzosek Zdzisława, Konieczny Grzegorz, Pawik Łukasz.

Tytuł oryginalny: Postawa ciała oraz ocena stanu czynnościowego stawów biodrowych w przebiegu choroby zwyrodnieniowej

Tytuł równoległy: Body posture and functional status evaluation of the hip joints in osteoarthritis

Czasopismo: Kwartalnik Ortopedyczny

Szczegóły: 2012, nr 2, s.211-218, tab. bibliogr. 10 poz. streszcz. sum.

Uwagi: (Z. Wrzosek - podwójna afiliacja)

Charakt. formalna: polski artykuł

Punktacja MEiN: 2.000

41

Autorzy: Pawik Łukasz, Konieczny Grzegorz, Wrzosek Zdzisława.

Tytuł oryginalny: Wpływ odwracania i nawracania stawu skokowego na składową pionową siłę reakcji podłoża

Tytuł równoległy: The effect of ankle inversion and eversion on the vertical component of ground reaction forces

Czasopismo: Kwartalnik Ortopedyczny

Szczegóły: 2012, nr 2, s.176-186, ryc. tab. bibliogr. 11 poz. streszcz. sum.

Uwagi: (Z. Wrzosek - podwójna afiliacja)

Charakt. formalna: polski artykuł

Punktacja MEiN: 2.000

42

Autorzy: Sutkowska Edyta, Konieczny Grzegorz, Zdrojowy Krystyna, Pawik Łukasz.

Tytuł oryginalny: Rola statycznego i dynamicznego badania na platformie PDM chorych z cukrzycą typu 1 i 2

Tytuł równoległy: Role of the static and dynamic examination on the PDM platform in patients with diabetes of type I and II

Czasopismo: Fizjoterapia

Szczegóły: 2010 : t.18, supl., s.103

Uwagi: (VII Międzynarodowe Dni Fizjoterapii, Wrocław 28-30 maja 2010)

Charakt. formalna: polskie streszczenie w czasopiśmie

Autorzy: Wrzosek Zdzisława, Pawik Łukasz.

Tytuł oryginalny: Psychofizyczne aspekty leczenia nierównej długości kończyn dolnych

Tytuł równoległy: Psycho-physical aspects of curing unequal length of lower limbs

Czasopismo: Medycyna Manualna

Szczegóły: 2009 : t.13, nr 1-4, s.32-36, bibliogr. 8 poz. sum.

Charakt. formalna: polski artykuł

Autorzy: Pawik Łukasz, Konieczny Grzegorz.

Tytuł oryginalny: Wpływ odwracania i nawracania stawu skokowego na wartość siły reakcji podłoża

Tytuł równoległy: The influence of supination and pronation of ankle joint on power value of the base reaction

Czasopismo: Postępy Rehabilitacji

Szczegóły: 2009 : t.23, nr 2, s.200-201

Uwagi: I Międzynarodowy Kongres Polskiego Towarzystwa Rehabilitacji i Polskiego Towarzystwa Fizjoterapii "Rehabilitacja polska"

Charakt. formalna: polskie streszczenie w czasopiśmie

Signed by /
Podpisano przez:

Łukasz Michał
Pawik

Date / Data:
2023-09-22 12:38

KIEROWNIK
Ośrodka Informacji Naukowej
Waleńska
mgr Magdalena Waleńska

13.09.2023 v.

INFORMACJA NAUKOMETRYCZNA – POSTĘPOWANIE HABILITACYJNE
 Informacje dotyczące całego dorobku naukowego

dr Łukasz Pawik

	Liczba punktów za artykuły w czasopismach naukowych zgodnie z wykazami MEiN/MNiSW		Liczba punktów za rozdziały w monografiach naukowych zgodnie z wytycznymi MEiN/MNiSW	
	do roku 2019	od roku 2019	do roku 2017	od roku 2017
Przed uzyskaniem stopnia doktora	51	-	15	
Po uzyskaniu stopnia doktora	171	1 660	-	-
Suma	222	1 660	15	-

Wartość wskaźnika Impact Factor	
Przed uzyskaniem stopnia doktora	1.731
Po uzyskaniu stopnia doktora	48.861
Suma	50.592

Liczba cytowań	Author Search	Cited Reference Search
ogółem	122	129
bez autocytowań	79	86
autocytowania	43	43
Indeks Hirscha	7	7

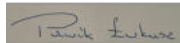
Informacje wykazane w tabeli opracowano na podstawie bazy Web of Science Core Collection.
 Liczba cytowań podana została dwoma metodami: Author Search oraz Cited Reference Search.

Załączone wykazy:

Przed uzyskaniem stopnia doktora oraz po uzyskaniu stopnia doktora:

1. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (z zaznaczeniem cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt. 2b Ustawy).
2. Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych.

Signed by /
Podpisano przez:



Łukasz Michał
Pawik

Date / Data:
2023-09-22 12:38

Ośrodek Informacji Naukowej
AWF Wrocław

05.09.2023 *Olga Serka*

RESEARCH

Open Access



Kinematic parameters after tibial nonunion treatment using the Ilizarov method

Łukasz Pawik¹, Felicja Fink-Lwow², Andżelika Pajchert Kozłowska³, Łukasz Szelerski⁴, Radosław Górski⁴, Malwina Pawik², Paweł Reichert⁵ and Piotr Morasiewicz^{3,6*}

Abstract

Background: Analysis of the outcomes of Ilizarov treatment of tibial nonunion shows functional deficits in the lower limbs of some patients. Biomechanical gait parameters are an important measure for assessing musculoskeletal disorder treatments that aim to restore normal gait. The purpose of our study was to compare the kinematic parameters in patients with tibial nonunion treated using the Ilizarov method and those in a control group of healthy volunteers.

Methods: The study population consisted of 23 patients (age 54.9 ± 16.4 years) who were treated for tibial nonunion using the Ilizarov method, as well as 22 healthy adult controls (age 52.7 ± 10.6 years). Kinematic parameters were measured using a Noraxon MyoMOTION System. We measured hip flexion and abduction, knee flexion, ankle dorsiflexion, inversion, and abduction during walking.

Results: Our analysis showed significant differences between the patients' operated limbs (OLs) and the controls' nondominant limbs (NDLs) in the ranges of hip flexion, hip abduction, and knee flexion. We observed no significant differences in knee flexion between the OL and the NOL in patients or between the dominant limb (DL) and NDL in controls. Our evaluation of the kinematic parameters of the ankle joint demonstrated significant differences between the patients' OLs and the controls' NDLs in the ranges of ankle dorsiflexion, ankle inversion, and ankle abduction. There were also significant differences in the range of ankle dorsiflexion and ankle abduction between the patients' NOLs and the controls' DLs.

Conclusion: Tibial nonunion treatment using the Ilizarov method does not ensure complete normalization of kinematic parameters assessed 24–48 months following the completion of treatment and rehabilitation.

Keywords: Gait, Kinematic parameters, Noraxon MyoMOTION System, Nonunion, Tibia, Ilizarov method

Introduction

The Ilizarov method is commonly used in the treatment of tibial nonunion [1–11]. However, analysis of treatment outcomes shows functional deficits in the lower limbs of some patients. As demonstrated elsewhere, these deficits may be a direct result of errors in the surgical technique itself or of imperfect fixation or

stabilization [7–11]. Comorbidities, particularly metabolic disorders (such as type 2 diabetes mellitus), eating disorders, and modifiable lifestyle factors (such as smoking) may also play a role [12].

Biomechanical gait parameters are an important measure for assessing musculoskeletal disorder treatment aiming to restore normal gait. Restoring the physiological range of motion in the affected joints is thus the basis of optimal treatment [13–20].

There have been reports of patients with tibial nonunion who exhibited a limited range of motion, especially in the knee and ankle joints. There may be various reasons behind such dysfunction, including the exact nature

*Correspondence: morasp@poczta.onet.pl

⁶ Department of Orthopaedic and Traumatologic Surgery, Institute of Medical Sciences, University of Opole, al. Witosa 26, 45-401 Opole, Poland
Full list of author information is available at the end of the article



of the original injury and complications of an earlier or most recent surgery [1, 3, 4, 6, 8, 9]. Accurate post-treatment range-of-motion assessment is important not only for patients, but also for orthopedic surgeons and physiotherapists. Identifying the range-of-motion abnormalities that require specific and more intense rehabilitation may improve final treatment outcomes.

The available literature seems to lack reports on kinematic parameter assessment following tibial nonunion treatment using the Ilizarov method. However, there have been a handful of studies assessing the range of motion in the ankle and knee joints at rest with goniometers in patients who had undergone osteotomy and used an Ilizarov external fixator [21–23]. At this point, we would like to stress that the use of goniometers guarantees neither high accuracy nor repeatability of measurements. The Noraxon MyoMOTION System, which we were the first to use in patients treated for tibial nonunion, can collect very accurate, repeatable, and objective range-of-motion data [24–27].

The purpose of our study was to compare selected kinematic parameters in patients with tibial nonunion treated using the Ilizarov method and in healthy volunteers.

Methods

This retrospective study was approved by the local Bioethics Committee and conducted in accordance with the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki) for experiments in humans. The study was conducted between 2019 and 2020.

The study population consisted of 23 patients (seven females and sixteen males; age 54.9 ± 16.4 years; height 170.0 ± 11.0 cm; body weight 81.4 ± 14.0 kg; body mass index (BMI) 28.1 ± 3.9 kg/m²) who were treated for tibial nonunion using the Ilizarov method, as well as 22 healthy adult controls (ten females and twelve males; age 52.7 ± 10.6 years; height 172 ± 11.0 cm; body weight 75.9 ± 12.9 kg; BMI 26.3 ± 3.4 kg/m²) with no musculoskeletal dysfunction, referred by a physician or orthopedist. All subjects had given their informed consent to participate in the study.

The patients in our study had completed their treatment 24–48 months prior to the Noraxon MyoMOTION System measurements, and have completed their entire physiotherapy protocol, including a detailed and individually designed rehabilitation regimen.

The rehabilitation protocol was personalized based on each patient's condition and his or her functional capacity. For four weeks following their operation, patients did active exercises of the hip, knee, and ankle joint of the OL while remaining within their pain tolerance, and isometric exercises (particularly for the vastus medialis oblique (VMO) muscle and the gluteus

maximus and medius muscles). The rehabilitation regimen also covered facial therapy, proprioception exercises, and scar mobilization (starting from postoperative day 14). At the same time, the patients were taught how to walk with two elbow crutches on flat surfaces and stairs. Over the subsequent 4–6 weeks, exercises progressed in comparison to those from the earlier stage and were complemented with strengthening exercises for the NOL in the sitting position, balance exercises, manual therapy, and strengthening exercises with elastic bands. Subsequent stages of rehabilitation (postoperative weeks 8–10) focused on strengthening exercises in the standing position, balance exercises, and progression of the exercises from earlier stages, in order to optimally improve the range of motion and muscle strength.

Bone nonunion in the patient group had been a result of unsuccessful initial fracture treatment via intramedullary nail fixation (six cases) or plate fixation (seventeen cases). In all patients the Ilizarov method was the first treatment for tibial nonunion. Eighteen patients had hypertrophic tibial nonunion and five had atrophic tibial nonunion. The site of nonunion was the proximal, middle, and distal one-third of the tibial shaft in 2, 7, and 14 patients, respectively. In all patients the Ilizarov fixator was mounted only on the lower leg, without extending onto the thigh or foot, which left the knee and ankle mobile. After the treatment, none of the evaluated patients required limb lengthening, with limb shortening either absent or less than 1 cm, and none had permanent limb deformity in any plane. The mean duration of Ilizarov treatment was 185 days.

The range-of-motion values in the NOLs and OLs of patients were compared with those in the DLs and NDLs in the controls, respectively. The DL was identified by having the patient juggle or kick a ball [28, 29]. We also made a comparison between the OL and NOLs in the patients group.

Kinematic parameters were measured using a Noraxon (myoMuscle Master Edition System) MyoMOTION System (Scottsdale, AZ, USA), which comprises a set of 1–16 sensors using inertial sensor technology. Following a rigid-body model with sixteen joint segments used in the MR3 software, the Noraxon MyoMOTION System inertial sensors were placed on the foot (on the dorsal aspect, slightly below the malleoli), leg (on the anterior aspect, midway between the malleoli and the patella), on the thigh (the anterior aspect of the quadriceps femoris muscle, slightly above the patella), and in the sacral region. All sensors were attached by the same technician with the use of special straps and elastic adhesive tape. Each strap had a pocket for the inertial sensor. Calibration was carried out in the upright position in order to determine

the value of the 0 angle in the joints. Sampling frequency for the inertial sensors was set at 200 Hz [24–27].

We measured hip flexion and abduction, knee flexion, and ankle dorsiflexion, inversion, and abduction during a twenty-meter walk along a straight line. Each person did at least four repetitions, and the mean values from at least two complete, correct walks were used in the analysis. The walk was performed in a straight line of at least 10 m. The first and the last two strides were excluded to avoid the acceleration and deceleration in gait. The walks were done barefoot, with no additional orthopedic aids, and were supervised by qualified orthopedists and physiotherapists (Fig. 1). The angle values were recorded with an accuracy of 0.1 and analyzed statistically. The maximum and minimum angle and range-of-motion values were calculated for the comparison of discrete variables during the gait cycle. The maximum (maximum range) and minimum (minimum range) joint angles and range of motion for the hip, knee, and ankle were calculated for all phases of gait. Positive values of the angle depending on the joint and axis correspond to: flexion, abduction, external rotation, dorsiflexion, and inversion.

Statistical analysis

All analyses were conducted using the SigmaPlot v.13 statistics package (Systat Software, San Jose, California, USA). Continuous variables were first analyzed for a normal distribution using the Kolmogorov–Smirnov test with the Lilliefors correction. Data exhibiting a normal distribution were presented as means ± standard deviations (SDs), and an unpaired Student’s *t*-test was used to test the differences between the two groups. In the case of data that did not pass the normality test, the significance of differences was analyzed using the Mann–Whitney

U-test, and the data were expressed as the medians and 5th to 95th percentile ranges. The level of statistical significance was set at *P* < 0.05.

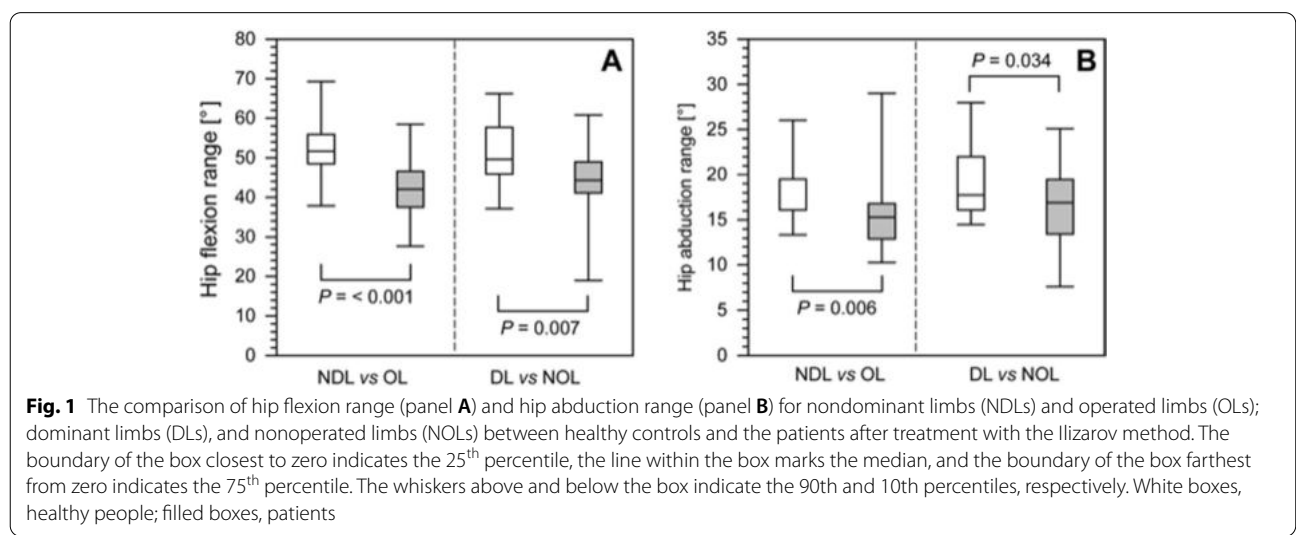
Results

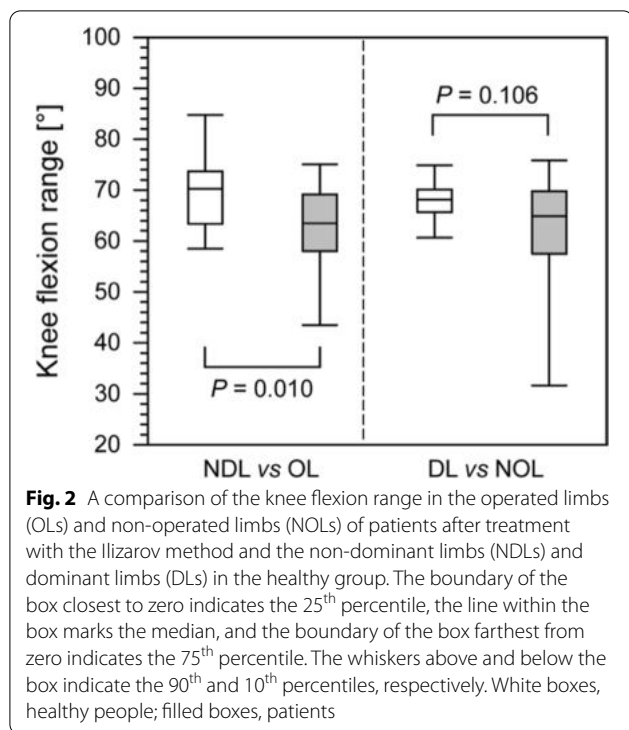
Our analysis showed significant differences between the OL in patients and the NDL in controls in the following parameters: the ranges of hip flexion (*P* < 0.001), hip abduction (*P* = 0.006), and knee flexion (*P* = 0.010) (Figs. 1 and 2). However, there were no significant differences in the knee flexion range between the patients’ NOLs and the controls’ DLs (*P* = 0.102) (Table 1).

Data are expressed as medians and 5th–95th percentiles. OL: operated limb in patients; NDL: nondominant limb in controls; NOL: nonoperated limb in patients; DL: dominant limb in controls. Bold typeface indicates a statistically significant difference (Table 1).

We observed that the hip flexion range in patients’ NOLs was significantly lower than that in controls’ DLs (*P* = 0.007) (Fig. 2). A comparison between the OL and NOLs (vertical analysis in Table 1) showed no significant differences in the minimum, maximum, or range-of-motion values for hip flexion, hip abduction, or knee flexion in the patient group or between the DLs and NDLs in the healthy controls. Knee flexion differed significantly between the treated patients and the control group, i.e. the OLs and NDLs (maximum, range), but not between the NOLs and DLs (minimum, maximum, range). Furthermore, we observed no significant differences in knee flexion (minimum, maximum, range) between the OLs and NOLs in patients or between the DLs and the NDLs in controls (Table 1).

Differences in ankle dorsiflexion, ankle inversion, and ankle abduction between patients who had undergone





Ilizarov therapy and healthy controls are shown in Table 2.

We observed significant differences between the patients' OLs and the controls' NDLs in the ranges of ankle dorsiflexion ($P < 0.001$), ankle inversion ($P < 0.001$), and ankle abduction ($P < 0.001$) (Fig. 3). There were also significant differences in both the ankle dorsiflexion range ($P = 0.004$) and the ankle abduction range ($P = 0.001$) between the patients' NOLs and the controls' DLs (Table 2).

We found significant differences between the OL and the NOL in minimum ankle dorsiflexion ($P = 0.011$), maximum ankle dorsiflexion, and the range ($P < 0.001$); in minimum ankle inversion, maximum ankle inversion, and the range of ankle inversion ($P = 0.005$; $P = 0.011$, and $P < 0.001$, respectively); as well as in minimum ankle abduction ($P = 0.004$) and ankle abduction range ($P = 0.003$). We did not find any statistical differences between the DL and NDL in the control group in terms of either minimum or range-of-motion values for ankle dorsiflexion, inversion, or abduction, but we observed significant differences for maximum ankle abduction ($P = 0.036$) (Table 2).

Discussion

As much as 5–10% of all tibial shaft fractures lead to tibial nonunion [30, 31], which results in a number of complications, including abnormal gait biomechanics,

chronic pain, disability, and lower quality of life, additionally generating considerable healthcare costs [32–36]. The prevalence of this injury and the associated dysfunction and complications in various age groups is a serious public health concern.

Nonunion treatment aims to achieve bone union and to restore bone length and the ability to walk. Following treatment, patients are expected to be independent in their everyday functioning, to be able to resume work, and to experience less or no pain. Normal gait and normal functioning require a physiological range of motion [13–20, 37, 38]. Abnormal kinematic parameters may indicate a suboptimal treatment outcome [13–20, 37, 39, 40].

Previous reports demonstrated a high prevalence of range-of-motion limitations, particularly at the ankle and knee, in patients with tibial nonunion [1, 3, 4, 6, 8, 9]. This is consistent with our observations that post-treatment range-of-motion assessment is important from the point of view of patients, orthopedists, and physiotherapists because it helps identify joints with a limited range of motion, which thus require more intense rehabilitation procedures and exercises. Before the surgery, it is important for patients to know which ranges of motion in particular joints will return to normal and which ranges of motion will still be limited after treatment. However, there have been no measurements to date of the range of motion in lower limb joints during ambulation. The range of motion has been conventionally measured in specific positions allowing the measurement of the full range of motion at a given joint. Conducting measurements during walking helps assess the effects of treatment and the range of motion in the patients' joints under weight-bearing conditions.

By comparing hip flexion in the patients' OLs with that in the controls' NOLs our study demonstrated significantly greater values in the control group, which indicates that, 24–48 months after their surgery, the patients had worse gait function than the healthy controls. Nevertheless, interestingly, the patient group was also disadvantaged in terms of minimum hip flexion and hip flexion range in the NOL, which indicates an effect of tibial nonunion on the function of the healthy limb.

Bilateral hip joint movement limitations observed in the assessed patients may be a result of long-term restrictions in physical activity and movement as well as instability of the affected lower leg, which could lead to secondary partial muscle atrophy of both lower limbs and degenerative changes in the hip joint. Also, the relatively long-lasting pathology of the musculoskeletal system in the form of a tibial nonunion could have influenced the development of compensatory gait mechanisms with a limited range of motion in both hips. According to our

Table 1 Differences in hip flexion, hip abduction, and knee flexion between patients who had undergone Ilizarov therapy and healthy controls

	Control group (n = 22)	Patients after surgery (n = 23)	P
Hip flexion min ND ^L ^a , OL ^c [°]	-19.2 (-23.90 – -13.2) ^a	-12.4 (-23.80 – -4.0) ^c	< 0.001
Hip flexion min DL ^b , NOL ^d [°]	-17.0 (-26.50 – -10.2) ^b	-13.3 (-19.70 – -2.8) ^d	0.004
P	0.244	0.911	
Hip flexion max ND ^L ^a , OL ^c [°]	32.6 (22.6 – 47.2) ^a	29.7 (21.3 – 40.9) ^c	0.016
Hip flexion max DL ^b , NOL ^d [°]	33.6 (19.5 – 50.8) ^b	31.6 (10.8 – 46.7) ^d	0.240
P	0.856	0.551	
Hip flexion range ND ^L ^a , OL ^c [°]	51.6 (38.4 – 68.6) ^a	42.0 (29.0 – 57.9) ^c	< 0.001
Hip flexion range DL ^b , NOL ^d [°]	49.6 (37.9 – 65.2) ^b	44.3 (20.9 – 60.5) ^d	0.007
P	0.419	0.632	
Hip abduction min ND ^L ^a , OL ^c [°]	-9.8 (-17.5 – -1.2) ^a	-8.1 (-14.1 – -0.7) ^c	0.231
Hip abduction min DL ^b , NOL ^d [°]	-6.9 (-16.5 – -1.6) ^b	-8.3 (-17.4 – -2.7) ^d	0.318
P	0.098	0.746	
Hip abduction max ND ^L ^a , OL ^c [°]	8.8 (1.0 – 13.8) ^a	7.1 (1.8 – 17.4) ^c	0.269
Hip abduction max DL ^b , NOL ^d [°]	10.9 (7.0 – 19.6) ^b	7.2 (0.1 – 17.5) ^d	0.002
P	0.001	0.575	
Hip abduction range ND ^L ^a , OL ^c [°]	17.6 (13.5 – 25.5) ^a	15.3 (10.3 – 27.3) ^c	0.006
Hip abduction range DL ^b , NOL ^d [°]	17.8 (14.7 – 27.8) ^b	16.9 (8.1 – 24.6) ^d	0.034
P	0.418	0.328	
Knee flexion min ND ^L ^a , OL ^c [°]	-2.2 (-9.9 – 3.1) ^a	-3.0 (-7.5 – -0.1) ^c	0.097
Knee flexion min DL ^b , NOL ^d [°]	-1.4 (-11.8 – 5.2) ^b	-0.5 (-20.4 – 0.1) ^d	0.751
P	0.900	0.127	
Knee flexion max ND ^L ^a , OL ^c [°]	67.5 (56.3 – 77.7) ^a	58.6 (38.0 – 72.9) ^c	0.003
Knee flexion max DL ^b , NOL ^d [°]	64.7 (57.7 – 76.7) ^b	63.5 (21.6 – 74.7) ^d	0.091
P	0.341	0.878	
Knee flexion range ND ^L ^a , OL ^c [°]	70.3 (58.7 – 84.3) ^a	63.5 (44.2 – 74.9) ^c	0.010
Knee flexion range DL ^b , NOL ^d [°]	68.1 (61.0 – 74.8) ^b	64.9 (32.8 – 75.7) ^d	0.102
P	0.385	0.809	

Data are expressed as medians and 5th–95th percentiles

OL operated limb in patients^c, ND^L Nondominant limb in controls^a, NOL Nonoperated limb in patients^d, DL dominant limb in controls^b

Bold typeface indicates a statistically significant difference

study in the group of healthy people and similarly in the group of patients there was no difference between hip range of motion in the DL and in the ND^L in controls and hip range of motion in the OL and NOL in patients. However, we observed similar values of hip range of motion in both limbs (i.e. in the OL and in the NOL) in patients, which differed significantly from those in healthy controls.

Many studies have assessed goniometer-measured ankle and knee ranges of motion at rest in patients who had undergone osteotomy and deformity correction using the Ilizarov method [21–23]. Conversely, studies assessing gait parameters following Ilizarov treatment did not evaluate ranges of motion [16, 17]. Earlier measurements of lower limb kinematic parameters following treatment of a musculoskeletal disorder were conducted using optical measurement systems and the use of cameras [18, 19]. This limited

the accuracy of range-of-motion assessments [39]. The Noraxon MyoMOTION System used in our study ensures very accurate, reproducible, and objective records of joint mobility [24–27]. The figures on joint range of motion obtained in our study are consistent with those measured in previous studies on the range of motion in healthy individuals [41–43].

Other authors compared preoperative and postoperative ranges of motion at the ankle and knee joints in patients treated with tibial osteotomy. Rozbruch et al. demonstrated a lack of significant differences between the preoperative and postoperative ranges of motion at the ankle and knee joints in patients treated with tibial osteotomy with an external fixator [21]. The postoperative mean knee extension, knee flexion, and ankle dorsiflexion angles measured in 102 patients were 0°, 125°, and 11°, respectively [21].

Table 2 Differences in ankle dorsiflexion, ankle inversion, and ankle abduction between patients who had undergone Ilizarov therapy and healthy controls

	Control group (n = 22)	Patients after surgery (n = 23)	P
Ankle dorsiflexion min NDL ^a , OL ^c [°]	-25.0 (-90.8 – -10.5) ^a	-14.3 (-33.5 – -3.5) ^c	< 0.001
Ankle dorsiflexion min DL ^b , NOL ^d [°]	-27.2 (-87.9 – -11.0) ^b	-23.2 (-32.8 – -8.4) ^d	0.075
P	0.805	0.011	
Ankle dorsiflexion max NDL ^a , OL ^c [°]	17.7 (5.2 – 62.0) ^a	7.2 (2.2 – 16.8) ^c	< 0.001
Ankle dorsiflexion max DL ^b , NOL ^d [°]	17.7 (10.0 – 54.6) ^b	12.8 (4.5 – 24.4) ^d	0.003
P	0.991	< 0.001	
Ankle dorsiflexion range NDL ^a , OL ^c [°]	38.2 (14.6 – 146.5) ^a	21.3 (8.6 – 41.8) ^c	< 0.001
Ankle dorsiflexion range DL ^b , NOL ^d [°]	42.6 (27.5 – 142.2) ^b	34.3 (22.4 – 47.1) ^d	0.004
P	0.511	< 0.001	
Ankle inversion min NDL ^a , OL ^c [°]	- 8.6 (-21.9 – -2.7) ^a	-4.8 (-16.2 – -1.0) ^c	0.001
Ankle inversion min DL ^b , NOL ^d [°]	-6.9 (-44.9 – -0.7) ^b	-7.4 (18.8 – -4.5) ^d	0.982
P	0.511	0.005	
Ankle inversion max NDL ^a , OL ^c [°]	12.8 (1.7 – 28.5) ^a	7.2 (0.7 – 15.8) ^c	< 0.001
Ankle inversion max DL ^b , NOL ^d [°]	15.2 (3.1 – 32.2) ^b	11.9 (1.3 – 33.7) ^d	0.078
P	0.722	0.011	
Ankle inversion range NDL ^a , OL ^c [°]	26.7 (14.1 – 38.8) ^a	11.3 (4.3 – 26.9) ^c	< 0.001
Ankle inversion range DL ^b , NOL ^d [°]	22.5 (12.4 – 67.4) ^b	20.7 (7.6 – 42.1) ^d	0.166
P	0.751	< 0.001	
Ankle abduction min NDL ^a , OL ^c [°]	-16.9 (-36.6 – -5.8) ^a	-8.0 (-28.4 – -2.4) ^c	< 0.001
Ankle abduction min DL ^b , NOL ^d [°]	-16.9 (-37.3 – -0.7) ^b	-13.2 (-33.1 – -6.0) ^d	0.025
P	0.707	0.004	
Ankle abduction max NDL ^a , OL ^c [°]	6.5 (-2.9 – 17.0) ^a	4.4 (0.8 – 17.2) ^c	0.231
Ankle abduction max DL ^b , NOL ^d [°]	10.5 (1.0 – 23.6) ^b	6.8 (2.7 – 13.0) ^d	0.006
P	0.036	0.051	
Ankle abduction range NDL ^a , OL ^c [°]	24.9 (13.5 – 36.6) ^a	13.9 (4.4 – 32.9) ^c	< 0.001
Ankle abduction range DL ^b , NOL ^d [°]	29.6 (12.7 – 47.4) ^b	19.7 (9.6 – 37.2) ^d	0.001
P	0.091	0.003	

Data are expressed as medians and 5th–95th percentiles

OL Operated limb in patients^c, NDL Nondominant limb in controls^a, NOL nonoperated limb in patients^d, DL Dominant limb in controls^b

Bold typeface indicates a statistically significant difference

Osman et al. achieved ankle dorsiflexion in the 0–20° range following the use of the Ilizarov method in pilon fractures [22]. These ankle dorsiflexion values were similar to these achieved in our study (21.3°). Wang, who assessed fourteen patients who had undergone equinovarus foot deformity correction using the Ilizarov method, reported a mean ankle dorsiflexion of 8.3° [23]. The differences in joint range of motion values between our patient group and the literature data [21–23] may be due to the greater severity of injuries and deformities of the lower limbs in our tibial nonunion group compared with those in the patients assessed by other authors.

In the case of the ankle, we assessed dorsiflexion, inversion, and abduction, and the post-treatment measurements in the operated limbs differed significantly from the measurements in the control group for all the

examined parameters. This indicates that, despite treatment, ankle joint mobility is not as good as in healthy individuals.

The comparison of the NOLs from the patient group with the DL in the control group additionally demonstrated that hip abduction, hip flexion, ankle dorsiflexion, and ankle abduction are also statistically significantly lower in the patient group. We consider this to be an interesting observation that requires further research on more people. The limitations in NOL mobility may result from the fact that the analyzed patients, due to tibia nonunion, had for a long time limited mobility, daily physical activity, and recreational physical activity.

The Noraxon MyoMOTION System has been used to assess joint mobility in various sports disciplines

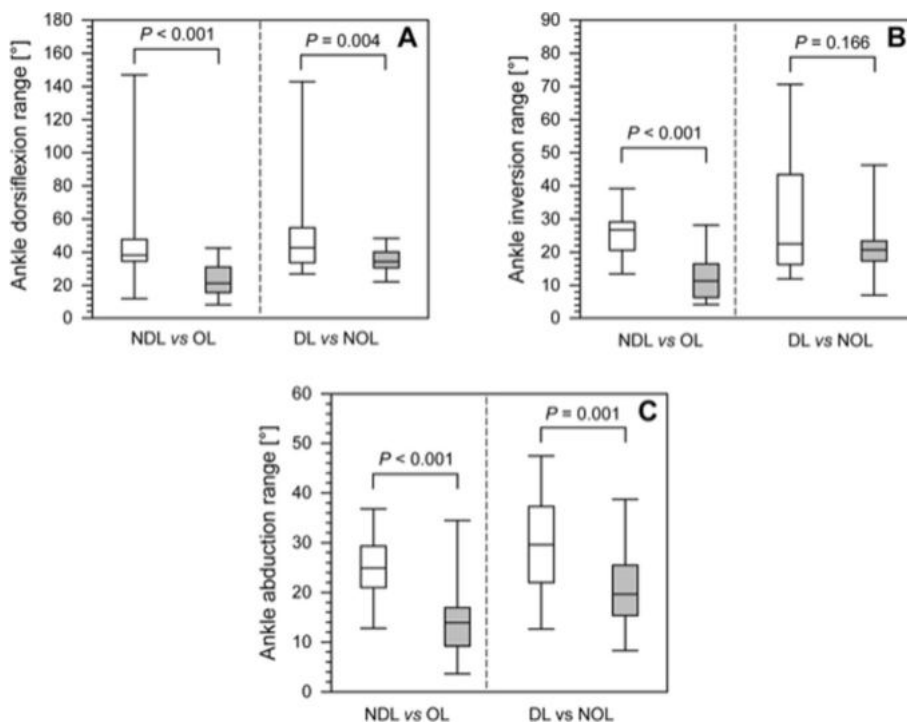


Fig. 3 A comparison of the ankle dorsiflexion range (panel **A**), ankle inversion range (panel **B**) and ankle abduction range (panel **C**) for nondominant limbs (NDLs) and operated limbs (OLs) limbs; dominant limbs (DLs) vs nonoperated limbs (NOLs) between healthy controls and patients after treatment with the Ilizarov method. The boundary of the box closest to zero indicates the 25th percentile, a line within the box marks the median, and the boundary of the box farthest from zero indicates the 75th percentile. The whiskers above and below the box indicate the 90th and 10th percentiles respectively. White boxes, healthy people; filled boxes, patients

(including running) as well as lower limb disfunction other than tibial nonunion [26].

Manjar et al. reported reduced ankle dorsiflexion following tibia fracture treatment with an external fixator [19]. Madhusudhab observed limited ranges of motion at the ankle and knee in all patients after tibial nonunion treatment using the Ilizarov method [8]. Sanders reported limited ranges of motion in 15.8% of patients who had undergone treatment for tibial nonunion using the Ilizarov method [9]. The ranges of motion at the knee and hip in our patients were consistent with those reported by other authors [21–23].

In our study group only the knee flexion and ankle inversion ranges in the patients' NOLs did not significantly differ from those in the controls' DLs. However, the other kinematic parameters evaluated in the patient group were significantly lower than those in the control group. This may have been due to several factors, including a too short postoperative rehabilitation period, which resulted in limitations in the range of motion. Our physiotherapeutic management protocol included at least four sessions a week during the first

six to eight weeks after surgery. During this period, the physiotherapeutic efforts focused mainly on managing pain severity while improving the range of motion, muscle strength, and teaching the patients normal locomotion. Subsequently, patients received a special individualized rehabilitation regimen for use at home and, once a week, under a physiotherapist's supervision. We believe that physiotherapeutic supervision and intensive rehabilitation should last considerably longer, until treatment is complete.

Another undesirable effect of treatment observed in some patients were extensive scars and adhesions involving the subcutaneous tissue, muscles, and tendons. The Achilles tendon plays an important role in the movement at the knee [26]. Moreover, traumatic and degenerative joint changes and pain may contribute to range-of-motion limitations [38, 40]. The observed range-of-motion differences may have also been due to compensatory mechanisms [24]. A change in the range of motion at one joint results in compensatory changes in the range of motion of other joints [24]. Moreover, increasing gait speed increases the joint range of motion [26]. Another factor

contributing to joint stiffness may have been the long immobilization with an external fixator [19].

Limitations

One of the limitations of our study is its retrospective character, which was due to the impossibility of assessing kinematic parameters in patients prior to surgery, since they were either unable to walk or their walking ability was considerably impaired, due to pain and pathological mobility at the tibial nonunion site. Nonetheless, range-of-motion studies carried out by other authors were also retrospective [19, 22, 23]. Due to the small number of patients after tibial nonunion treatment, it was not possible to select a uniform group of patients in terms of the number of previous surgeries and the exact site of tibial nonunion (in the same sections of the bone). Another limitation was the small sample size; however, most other authors who assessed kinematic parameters also used study groups of similar or smaller sizes [19, 22–27], as it is difficult to accrue a large population of patients who consent to undergo additional evaluations. Moreover, we had no data on either patients' or volunteers' unhealthy habits, such as systematic smoking, unhealthy diets [44], or comorbid metabolic conditions, which may potentially affect functional recovery, based on laboratory test results such as fasting blood glucose or insulin levels; instead, the only type of comorbidity-associated data we collected was limited to that elicited at history-taking. Our study volunteers were deemed healthy based on a general history-taking negative for metabolic conditions, including diabetes. However, individual lifestyle choices, such as smoking, were considered in the analysis, since we assumed that such parameters have no impact on kinematic gait parameters in the control group.

Another limitation of our work is the lack of assessing the residual pain and its correlation with range of motion; however, other authors also did not assess the correlation between residual pain and range of motion [21–23, 37].

The strengths of our study include the uniform post-operative management and rehabilitation regimen, the long follow-up, the carefully selected control group, and the reproducible assessment of kinematic parameters using the objective and accurate Noraxon MyoMOTION System [24–27].

The statistically significant differences between the OLS and NOLs in patients demonstrated by the measurement method employed in our study are significant from the clinical point of view and indicate that the accuracy of measurements may help optimize and personalize treatment and rehabilitation for subsequent patients treated with the Ilizarov method.

Our retrospective study assessed kinematic parameters after treatment. The observed range-of-motion abnormalities may have been a product of the initial injury that led to tibial nonunion and other surgical procedures that the patients underwent before the Ilizarov treatment. Abnormal joint mobility may also have been due to the Ilizarov treatment itself.

Conclusion

Tibial nonunion treatment using the Ilizarov method does not ensure complete normalization of kinematic parameters assessed 24–48 months following the completion of treatment and rehabilitation.

The kinematic parameter values in the NOLs of patients after Ilizarov treatment and in the DLs of healthy individuals.

Acknowledgements

Not applicable

Authors' contributions

ŁP, FFL, and PM designed the study. ŁP, APK, ŁS, RG, MP, and PM collected, analyzed and interpreted the data. ŁP, FFL, MP, PR, and PM drafted the manuscript. ŁP, FFL, and PM revised it critically for important intellectual content. ŁP, FFL, PR, MP, and PM conducted the final revision of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

There were no sources of funding.

Availability of data and material

The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request. The data are not publicly available due to privacy.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

The study was conducted in accordance with the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board of University School of Physical Education (protocol code 5/2020, date of approval February 14, 2020). Informed consent had been obtained from all the study participants.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare no potential conflict of interests.

Author details

¹Department of Physiotherapy in Motor Disorders and Dysfunctions, Wrocław University of Health and Sport Sciences, Al. IJ Paderewskiego 35, Wrocław, Poland. ²Department of Massage and Physical Therapy, Faculty of Physiotherapy, Wrocław University of Health and Sport Sciences, Al. IJ Paderewskiego 35, Wrocław, Poland. ³Department and Clinic of Orthopaedic and Traumatologic Surgery, Wrocław Medical University, Borowska 213, 50–556 Wrocław, Poland. ⁴Department of Orthopedics and Musculoskeletal Traumatology, Medical University of Warsaw, Lindeya 4, 02–005 Warsaw, Poland. ⁵Department of Trauma and Hand Surgery, Wrocław Medical University, Borowska 213, 50–556 Wrocław, Poland. ⁶Department of Orthopaedic and Traumatologic Surgery, Institute of Medical Sciences, University of Opole, al. Witosa 26, 45–401 Opole, Poland.

Received: 24 August 2021 Accepted: 12 July 2022
Published online: 28 July 2022

References

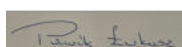
- Peng J, Min L, Xiang Z, Huang F, Tu C, Zhang H. Ilizarov bone transport combined with antibiotic cement spacer for infected tibial nonunion. *Int J Clin Exp Med*. 2015;8(6):10058–65.
- Schoenleber SJ, Hutson JJ. Treatment of hypertrophic distal tibia nonunion and early malunion with callus distraction. *Foot Ankle Int*. 2015;36(4):400–7. <https://doi.org/10.1177/1071100714558509>.
- Zhang H, Xue F, Jun XH. Ilizarov method in combination with autologous mesenchymal stem cells from iliac crest shows improved outcome in tibial non-union. *Saudi J Biol Sci*. 2018;25(4):819–25. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.11.001>.
- Meleppuram JJ, brahim S. Experience in fixation of infected non-union tibia by Ilizarov technique – a retrospective study of 42 cases. *Rev Bras Ortop*. 2017;52(6):670–5. <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2016.11.008>.
- Abuomira IEA, Sala F, Elbatrawy Y, Lovisetti G, Alati S, Capitani D. Distraction osteogenesis for tibial nonunion with bone loss using combined Ilizarov and Taylor spatial frames versus a conventional circular frame. *Strateg Trauma Limb Reconstr*. 2016;11(3):153–9. <https://doi.org/10.1007/s11751-016-0264-4>.
- Eralp IL, Kocaoğlu M, Dikmen G, Azam ME, Balci HI, Bilen FE. Treatment of infected nonunion of the juxta-articular region of the distal tibia. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2016;50(2):139–46. <https://doi.org/10.3944/AOTT.2015.15.0147>.
- Khan MS, Rashid H, Umer M, Qadir I, Hafeez K, Iqbal A. Salvage of infected non-union of the tibia with an ilizarov ring fixator. *J Orthop Surg*. 2015;23(1):52–5. <https://doi.org/10.1177/230949901502300112>.
- Madhusudhan TR, Ramesh B, Manjunath K, Shah HM, Sundaresh DC, Krishnappa N. Outcomes of Ilizarov ring fixation in recalcitrant infected tibial non-unions – a prospective study. *J Trauma Manag Outcomes*. 2008;2(1):6. <https://doi.org/10.1186/1752-2897-2-6>.
- Sanders DW, Galpin RD, Hosseini M, MacLeod MD. Morbidity resulting from the treatment of tibial nonunion with the Ilizarov frame. *Can J Surg*. 2002;45(3):196–200.
- McNally M, Ferguson J, Kugan R, Stubbs D. Ilizarov treatment protocols in the management of infected nonunion of the tibia. *J Orthop Trauma*. 2017;31:47–54. <https://doi.org/10.1186/1752-2897-2-6>.
- McHale KA, Ross AE. Treatment of infected tibial nonunions with debridement, antibiotic beads, and the ilizarov method. *Mil Med*. 2004;169(9):728–34. <https://doi.org/10.7205/MILMED.169.9.728>.
- Jiao H, Xiao E, Graves DT. Diabetes and its effect on bone and fracture healing. 2015;13(5):327–35. <https://doi.org/10.1007/s11914-015-0286-8>.
- Morasiewicz P, Konieczny G, Dejneka M, Urbański W, Dragan SŁ, Kulej M, et al. Assessment of the distribution of load on the lower limbs and balance before and after ankle arthrodesis with the Ilizarov method. *Sci Rep*. 2018;8(1):15693. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34016-3>.
- Morasiewicz P, Urbański W, Kulej M, Dragan SŁ, Dragan SF, Pawik Ł. Balance and lower limb loads distribution after Ilizarov corticotomy. *Injury*. 2018;49(4):860–5.
- Veilleux LN, Robert M, Ballaz L, Lemay M, Rauch F. Gait analysis using a force-measuring gangway: intrasession repeatability in healthy adults. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2011;11(1):27–33.
- Bhave A, Paley D, Herzenberg JE. Improvement in gait parameters after lengthening for the treatment of limb-length discrepancy. *J Bone Jt Surg - Ser A*. 1999;81(4):529–34. <https://doi.org/10.2106/00004623-199904000-00010>.
- Morasiewicz M, Koprowski P, Wrzosek Z, Dragan S. Gait analysis in patients after lengthening and correction of tibia with Ilizarov technique. *Physiotherapy (Pol)*. 2010;18(1):9–18. <https://doi.org/10.2478/v10109-010-0045-4>.
- Saraph V, Zwick EB, Steinwender G, Auner C, Schneider F, Linhart W. Leg lengthening as part of gait improvement surgery in cerebral palsy: an evaluation using gait analysis. *Gait Posture*. 2006;23(1):83–90. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.12.003>.
- Manjra MA, Naude J, Birkholtz F, Glatt V, Tetsworth K, Hohmann E. The relationship between gait and functional outcomes in patients treated with circular external fixation for malunited tibial fractures. *Gait Posture*. 2019;68:569–74. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.01.008>.
- Koczewski P, Urban F, Józwiak M. Analysis of some gait parameters at different stages of leg lengthening using the Ilizarov technique. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol*. 2004;69(6):393–7.
- Rozbruch SR, Segal K, Ilizarov S, Fragomen AT, Ilizarov G. Does the Taylor spatial frame accurately correct tibial deformities? *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(5):1352–61. <https://doi.org/10.1007/s11999-009-1161-7>.
- Osman W, Alaya Z, Kaziz H, Hassini L, Braiki M, Naouar N. Treatment of high-energy pilon fractures using the ilizarov treatment. *Pan Afr Med J*. 2017;27(14):199. <https://doi.org/10.11604/pamj.2017.27.199.11066>.
- Wang XJ, Chang F, Su YX, Wei XC, Wei L. Ilizarov technique combined with limited adjunctive surgical procedures for correction of relapsed talipes equinovarus in children. *J Int Med Res*. 2018;46(2):802–10. <https://doi.org/10.1177/0300060517724710>.
- Bañkosz Z, Winiarski S, Lanzoni IM. Gender differences in kinematic parameters of topspin forehand and backhand in table tennis. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(16):1–12. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165742>.
- Bañkosz Z, Winiarski S. Kinematic parameters of topspin forehand in table tennis and their inter- and intra-individual variability. *J Sport Sci Med*. 2020;19(1):138–48.
- Struzik A, Konieczny G, Grzesik K, Stawarz M, Winiarski S, Rokita A. Relationship between lower limbs kinematic variables and effectiveness of sprint during maximum velocity phase. *Acta Bioeng Biomech*. 2015;17(4):131–8. <https://doi.org/10.5277/ABB-00290-2015-02>.
- Struzik A, Konieczny G, Stawarz M, Grzesik K, Winiarski S, Rokita A. Relationship between lower limb angular kinematic variables and the effectiveness of sprinting during the acceleration phase. *Appl Bionics Biomech*. 2016;1–9. <https://doi.org/10.1155/2016/7480709>.
- Suciu O, Onofrei RR, Totorean AD, Suciu SC, Amaricai EC. Gait analysis and functional outcomes after twelve-week rehabilitation in patients with surgically treated ankle fractures. *Gait Posture*. 2016;49:184–9. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.07.006>.
- Coren S. The lateral preference inventory for measurement of handedness, footedness, eyedness, and earedness: norms for young adults. *Bull Psychol Soc*. 1993;31(1):1–3. <https://doi.org/10.3758/BF03334122>.
- Zura R, Xiong Z, Einhorn T, Watson JT, Ostrum RF, Prayson MJ, et al. Epidemiology of fracture nonunion in 18 human bones. *JAMA Surg*. 2016;151(11):1627–75. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2016.2775>.
- Wani NB, Syed B. Ilizarov ring fixator in the management of infected non-unions of tibia. *Sicot-J*. 2015;1(22):1–6. <https://doi.org/10.1051/sicotj/2015022>.
- Zura R, Braid-Forbes MJ, Jeray K, Mehta S, Einhorn TA, Watson JT, et al. Bone fracture nonunion rate decreases with increasing age: a prospective inception cohort study. *Bone*. 2017;95:26–32. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2016.11.006>.
- Hak DJ, Fitzpatrick D, Bishop JA, Marsh JL, Tilp S, Schnettler R, et al. Delayed union and nonunions: epidemiology, clinical issues, and financial aspects. *Injury*. 2014;45(2):3–7. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2014.04.002>.
- Ekegren CL, Edwards ER, de Steiger R, Gabbe BJ. Incidence, costs and predictors of non-union, delayed union and mal-union following long bone fracture. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(12):2845. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122845>.
- Kanakaris NK, Giannoudis PV. The health economics of the treatment of long-bone non-unions. *Injury*. 2007;38:77–84. [https://doi.org/10.1016/S0020-1383\(07\)80012-X](https://doi.org/10.1016/S0020-1383(07)80012-X).
- Tian R, Zheng F, Zhao W, Zhang Y, Yuan J, Zhang B, et al. Prevalence and influencing factors of nonunion in patients with tibial fracture: systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2020;15(1):377. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01904-2>.
- Butler RJ, Barrios JA, Royer T, Davis IS. Frontal-plane gait mechanics in people with medial knee osteoarthritis are different from those in people with lateral knee osteoarthritis. *Phys Ther*. 2011;91(8):1235–43. <https://doi.org/10.2522/ptj.20100324>.
- Cichy B, Wilk M. Gait analysis in osteoarthritis of the hip. *Med Sci Monit*. 2006;12(12):507–13.
- Klöpfer-Krämer I, Brand A, Wackerle H, Müßig J, Kröger J, Augat P. Gait analysis – available platforms for outcome assessment. *Injury*. 2020;51(2):90–6. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.11.011>.

40. Shrader MW, Draganich LF, Pottenger LA, Piotrowski GA. Effects of knee pain relief in osteoarthritis on gait and stair-stepping. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;(421):188–93; <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000119248.70353.a5>.
41. Brockett CL, Chapman GJ. Biomechanics of the ankle. *Orthop Trauma.* 2016;30(3):232–8. <https://doi.org/10.1016/j.mporth.2016.04.015>.
42. Roaas A, Andersson GB. Normal range of motion of the hip, knee and ankle joints in male subjects, 30–40 years of age. *Acta Orthop Scand.* 1982;53(2):205–8. <https://doi.org/10.3109/17453678208992202>.
43. CS Moriguchi, TO Sato, HJC Gil Coury. Ankle movements during normal gait evaluated by flexible electrogoniometer. *Braz. J. Phys. Ther.* 2007 Jun; 11 (3). <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000300006>
44. Calori GM, Albisetti W, Agus A, Iori S, Tagliabue L. Risk factors contributing to fracture non-unions. *Injury.* 2007;38:11–8. [https://doi.org/10.1016/S0020-1383\(07\)80004-0](https://doi.org/10.1016/S0020-1383(07)80004-0).

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Signed by /
Podpisano przez:



Łukasz Michał
Pawik

Date / Data:
2023-09-22 12:39

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions





Article

Assessment of Gait after Treatment of Tibial Nonunion with the Ilizarov Method

Łukasz Pawik , Felicja Fink-Lwow [†] , Andżelika Pajchert Kozłowska [‡], Łukasz Szelerski [§], Sławomir Żarek [§] , Radosław Górski [§], Malwina Pawik [†] , Wiktor Urbanski ^{||} , Paweł Reichert [¶] and Piotr Morasiewicz ^{*,‡,**}

Department of Physiotherapy in Motor Disorders and Dysfunctions, University School of Physical Education in Wrocław, Al. IJ Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, Poland; lukaszpawik@gmail.com (Ł.P.); felicitas1@wp.pl (F.F.-L.); angelina.pajchert@gmail.com (A.P.K.); l.szelerski@gmail.com (Ł.S.); s.zarek@poczta.fm (S.Ż.); radoslaw.gorski@wp.pl (R.G.); malwinapawik@gmail.com (M.P.); urbanski.wiktor@gmail.com (W.U.); pawel.reichert@umed.wroc.pl (P.R.)

* Correspondence: morasp@poczta.onet.pl

[†] Current address: Faculty of Physiotherapy, University School of Physical Education, Wrocław, Al. IJ Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, Poland.

[‡] Current address: Wrocław Medical University, Department and Clinic of Orthopaedic and Traumatologic Surgery, Borowska 213, 50-556 Wrocław, Poland.

[§] Current address: Medical University of Warsaw, Department of Orthopedics and Musculoskeletal Traumatology, Lindeya 4, 02-005 Warsaw, Poland.

^{||} Current address: Wrocław Medical University, Department and Clinic of Neurosurgery, Borowska 213, 50-556 Wrocław, Poland.

[¶] Current address: Wrocław Medical University, Department of Trauma and Hand Surgery, Borowska 213, 50-556 Wrocław, Poland.

^{**} Current address: Institute of Medical Sciences, University of Opole, Department of Orthopaedic and Traumatologic Surgery, al. Witosa 26, 45-401 Opole, Poland.



Citation: Pawik, Ł.; Fink-Lwow, F.; Pajchert Kozłowska, A.; Szelerski, Ł.; Żarek, S.; Górski, R.; Pawik, M.; Urbanski, W.; Reichert, P.; Morasiewicz, P. Assessment of Gait after Treatment of Tibial Nonunion with the Ilizarov Method. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 4217. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084217>

Academic Editor: Paul B. Tchounwou

Received: 18 March 2021

Accepted: 14 April 2021

Published: 16 April 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Background: Tibial nonunion is a common bone union disorder leading to abnormal gait, and thus reducing quality of life in the social dimension. Research question: The aim of our work was to comprehensively assess gait parameters of patients who had undergone Ilizarov treatment for tibial nonunion compared to a control group of healthy individuals. Methods: This study evaluated patients treated for aseptic tibial nonunion with the Ilizarov method. 24 patients with a mean age of 55.0 years were included in the study. The control group consisted of 32 healthy volunteers with no significant medical history who were selected to match the gender and age of patients in the study group so that the groups were homogeneous. A Zebris Medical GmbH pedobarographic platform was used to assess the gait parameters. Results: For all gait parameters examined, force forefoot max, force backfoot max, step length, stance phase, swing phase and step time, we observed statistically significant differences between the group that had undergone treatment and the control group. In the group of patients, statistically significant differences between the operated lower limb and the non-operated limb were only observed for the force forefoot max and step time parameters ($p = 0.029$ and $p = 0.045$, respectively). Patients presented a longer loading of the operated limb (0.720 s) than the non-operated limb (0.635 s). For the stride time, step cadence and gait velocity parameters, healthy subjects achieved much better results during locomotion, and these differences were statistically significant at $p < 0.001$. Significance: Treatment of tibial nonunion with the Ilizarov method did not restore normal gait parameters in our group of patients. In fact, the gait parameters of patients were significantly worse than the healthy individuals in the control group. Furthermore, gait parameters following treatment were not symmetrical, and the dynamics of the musculoskeletal system remained impaired.

Keywords: gait; pedobarography; nonunion; tibia; Ilizarov method

1. Introduction

Tibial nonunion is a common bone union disorder that presents a significant challenge for orthopedic surgeons [1–6]. Treatment of bone union disorders represents one of the many applications of the Ilizarov method [1–19]. In addition to the assessment of clinical and radiological treatment outcomes, the effectiveness of therapy in the functional and biomechanical context is also of paramount importance [20–43]. Due to its specificity, the Ilizarov method carries some risks. Hence, in clinical practice, doctors must consider whether the possible improvement of the patient outweighs the risk associated with surgery for tibial nonunion. The expected effect of therapy, among other factors, is an improvement in gait parameters [28]. Many studies have shown that the analysis of gait parameters is important for assessing the results of treatment for various musculoskeletal system pathologies [20–43].

Normal gait relies on sufficient muscular strength, balance, proprioception, joint mobility and an absence of pain [20,24,25,27,29,31,32,35–43]. The effectiveness of therapy is measured based on the patient achieving gait parameters similar to healthy individuals [20,23–25,27,28,30–32,38,39]. Therefore, gait analysis enables the assessment of functional outcomes and effectiveness of rehabilitation following treatment for musculoskeletal injuries, and it also enables individualized treatment and rehabilitation programs [30–32]. Restoring gait function comparable to healthy people is also an important element of the patients' quality of life. However, no studies in the literature have assessed the gait parameters of patients after tibial nonunion treatment. Studies evaluating the gait of patients treated with the Ilizarov method have focused on limb shortening, deformation of the lower limbs and ankle arthrodesis [23,27,28,31,32]. In most of these studies, only selected gait parameters were analysed (usually force distribution), while gait was assessed in qualitative rather than quantitative terms, without a comprehensive multiparameter analysis [23,27,28,31,32]. A meta-analysis revealed that the surgical treatment changes the biomechanics of the musculoskeletal system, which consequently affects gait parameters [35]. Data regarding the improvement of gait parameters after Ilizarov treatment are varied, with some authors reporting improvement in these parameters [23,27,28,31] while others show persistence of pathological gait parameters [32]. In our work, we assessed whether treatment of tibial nonunion using the Ilizarov method restores correct and symmetrical gait. Therefore, the aim of our work was to comprehensively assess gait parameters of patients who had undergone Ilizarov treatment for tibial nonunion compared to a control group of healthy individuals.

The pedobarographic platform used in our research enables the comprehensive assessment of gait parameters. It allows for repeatable, objective and comparable measurement of the statics and dynamics of the musculoskeletal system [30,31,33,34,40–43]. Pedobarographic platforms have been used to analyse the statics of the musculoskeletal system in patients treated with the Ilizarov method for various pathologies [40–43]. In a small number of studies, researchers used the pedobarographic platform to assess gait parameters in patients following ankle fracture treatment and rehabilitation, following lengthening and correction of the lower leg axis using the Ilizarov method, and following the treatment of ankle and heel fractures [30,31,33,34]. However, in the literature, we were unable to find a comprehensive assessment of gait parameters in patients treated for nonunion with the Ilizarov method.

2. Materials and Methods

This study evaluated patients treated for aseptic tibial nonunion with the Ilizarov method. Participants were included if they met the following inclusion criteria: consent to participate in the study, treatment for tibial nonunion using the Ilizarov technique, no infection confirmed clinically and in the laboratory, observation period of at least 2 years from treatment completion but no longer than 7 years, availability of clinical and radiological treatment data, and complete gait examination data. The exclusion criteria were the presence of other injuries or diseases of the lower limbs or the presence of

neurological disease. After the exclusion criteria were applied, 24 patients with a mean age of 55.0 years (range 26.5–82.5), body weight 79.5 kg (range 48.0–105.2) and height 172.5 cm (range 158.3–187.7) were included in the study. The control group consisted of 32 healthy volunteers with no significant medical history who were selected to match the gender and age of patients in the study group so that the groups were homogeneous. The age of patients in the control group was 50.5 years (range 34.0–77.7), body weight 79.5 kg (range 56.0–99.8) and height 170 cm (range 150.5–191.2). The study was reported and approved by the bioethics committee (consent number 5/2020). All patients were informed about the voluntary nature of participation in the study and the possibility of withdrawing from the experiment.

In the patient group, a nonunion of the tibia was due to nonunion after the primary stabilization of the intramedullary nail in 6 cases and plate stabilization in 17 cases. The mean time from initial injury to Ilizarov treatment was 19 months (range 12–41). In all patients, treatment by the Ilizarov method was the first method of treating a tibial nonunion. Overall, 19 patients had hypertrophic non-union and 5 patients had atrophic nonunion. The following nonunion localizations found proximal 1/3 tibia nonunion in 2 cases, middle 1/3 tibia nonunion in 7 cases, and distal 1/3 tibia nonunion in 14 cases. All of the examined patients had no limb shortening or had a limb shortening of <1 cm and did not require limb equalization. None of the patients had permanent limb axis deformation after treatment. There was no bone resection or graft in any of the patients. All non-unions healed. The average period of treatment with the Ilizarov stabilizer was 185 days.

Ilizarov's fixator consists of three or four rings fixed to the tibia and fibula with Kirschner wires. Treatment of tibial nonunion by the Ilizarov method was performed by stabilizing and compressing the nonunion, without the bone transport. The distal area of the proximal tibial bone fragment and the proximal area of the distal fragment were always drilled with Kirschner wire, according to Beck.

Twenty-four hours after surgery, patients were encouraged to begin walking with two elbow crutches. Outpatient follow-up assessments were performed every 2–6 weeks. During treatment, the load on the operated limb was gradually increased until patients no longer required crutches and could walk with a full load.

The Ilizarov fixator was removed after sufficient bone growth within the nonunion, confirmed radiologically and clinically. Following the removal of the Ilizarov's fixator, patients were advised to walk with two elbow crutches for a period of 4 weeks, providing partial relief of the operated limb. The load on the limb was gradually increased, taking into account the skeletal reconstruction of the nonunion, as evidenced by X-ray imaging.

2.1. Evaluation of Gait Parameters

A Zebris Medical GmbH (Figure 1) pedobarographic (PDM-S) platform was used to assess the gait parameters. The PDM-S platform has an area of 1580 × 600 mm and includes 11,264 sensors, allowing for both static and dynamic tests to be carried out. After connecting the platform to a computer equipped with the appropriate FootPrint software, the two- and three-dimensional distribution of ground reaction forces during gait were analysed. The use of this platform enabled computer registration of kinetic gait parameters, which were statistically analysed.



The following parameters were analysed: force forefoot max (% in relation to body weight); force backfoot max (% in relation to body weight); step length (cm), describing the distance between the contact of the foot on one side of the body and the contact of the foot on the opposite side; stance phase (%), describing the phase of the gait cycle during which the foot makes contact with the ground; swing phase (%) describing the phase of the gait cycle during which the foot is not in contact with the ground; step time (s), describing the phase of the gait cycle between the heel contact of one side of the body and the heel contact of the opposite side of the body; stride time (s), describing the stride time of the left and right limb; step cadence, describing the number of steps per minute; and velocity (km/h), describing the velocity of gait.

For the purpose of this study, prior to the start of measurements, patients were subjected to a trial using the platform to become familiar with the test method. During this examination, participants walked without shoes. The platform was calibrated before each attempt. Each patient performed five trials. The average of three good attempts for each evaluated parameter was considered for analysis. A good attempt was defined as both feet making contact with the platform at least three times during walking, eyes open during the test, no excessive trunk rotation, and walking without stopping at the participant's preferred speed [30,31,40–43].

For the comparison of patient and control groups, the dominant leg (limb 1) and nondominant leg (limb 2) were specified for participants in the control group. In the analysis, gait parameters of the operated limb (OL) of the group of patients were compared to the nondominant limb of participants in the control group, while the parameters of the healthy non-operated limb (NOL) of the patient group were compared to the dominant leg of the control group. In adults, leg dominance was decided by the leg mobilizing function, such as when kicking or juggling a ball [30,43–45].

2.2. Statistical Analysis

Data (Supplementary Material, File S1: Ilizarov—gait data) were analysed using the SigmaPlot v 13 (Systat Software Inc., San Jose, CA, USA) statistics package. Continuous variables were first analysed for a normal distribution using the Kolmogorov–Smirnov test with the Lilliefors correction. All values are expressed as the median and 5th and 95th percentiles. An unpaired Student's *t*-test was used to test for differences between the two groups. For data that did not pass the normality test, differences between groups were analysed using the Mann–Whitney *U* test. The level of statistical significance was set at $p < 0.05$.

3. Results

The mean follow-up was 36 months (range 24–84). For all gait parameters examined, force forefoot max, force backfoot max, step length, stance phase, swing phase and step time, we observed statistically significant differences between the group that had undergone treatment and the control group of healthy individuals, both between the NOL and dominant limb (limb 1) and the OL and nondominant limb (limb 2) (Table 1).

Table 1. Gait parameters for patients after treatment with the Ilizarov method vs. healthy control group.

	Control Group (<i>n</i> = 32)	Patients after Surgery (<i>n</i> = 24)	<i>p</i>
Force Forefoot max load OL (%)	107.0 (95.6–117.0)	87.0 (26.0–110.5)	<0.001
Force Forefoot max load NOL (%)	108.5 (93.9–117.0)	100.0 (19.7–118.0)	<0.001

Table 1. Cont.

	Control Group (n = 32)	Patients after Surgery (n = 24)	p
p	0.716	0.029	
Force Backfoot max load OL (%)	79.5 (67.6–89.3)	73.0 (35.5–87.7)	0.021
Force Backfoot max load NOL (%)	77.5 (70.0–89.4)	71.0 (57.2–82.7)	<0.001
p	0.396	0.256	
Step length OP (cm)	55.0 (47.2–69.1)	47.5 (15.2–60.0)	<0.001
Step length NOP (cm)	56.5 (52.0–70.3)	43.0 (12.5–68.7)	<0.001
p	0.309	0.628	
Stance phase OL (%)	63.9 (57.7–71.8)	65.7 (60.6–77.2)	0.047
Stance phase NOL (%)	65.2 (57.5–68.4)	68.6 (60.5–78.4)	0.006
p	0.151	0.140	
Swing phase OL (%)	35.9 (30.7–42.5)	34.3 (22.8–39.4)	0.023
Swing phase NOL (%)	24.9 (31.5–42.3)	31.3 (21.6–39.5)	0.002
p	0.655	0.130	
Step time OL (s)	0.585 (0.460–0.703)	0.720 (0.490–0.907)	<0.001
Step time NOL (s)	0.580 (0.460–0.703)	0.635 (0.495–0.795)	0.010
p	0.660	0.045	

Data are medians and 5th–95th percentiles. OL, operated limb; NOL, non-operated; for control group OL is dominant limb and NOL is no-dominant limb. Bold typeface indicates statistically significant differences.

Comparison of these parameters for both extremities revealed significantly higher values for certain gait parameters (Table 1). Interestingly, in the group of patients, statistically significant differences between the operated lower limb and the non-operated limb were only observed for the force forefoot max and step time parameters ($p = 0.029$ and $p = 0.045$, respectively).

In the study group, the maximum forefoot force was 87% for the operated limb (26.0–110.5) and 100.0% for the non-operated limb (19.7–118.0) (Figure 2). For comparison, in the healthy group of individuals, the maximum forefoot force for the nondominant limb was 107.0% (95.6–117.0) and for the dominant limb 108.5% (93.9–117.0).

In the group of patients following nonunion treatment, statistically significant differences between the operated and non-operated limbs were also observed in the step time parameter, describing a phase of the gait cycle between the heel contact of one side of the body and the heel contact of the opposite side of the body (Figure 3). Patients presented a longer loading of the operated limb (0.720 s; 0.490–0.907) than the non-operated limb (0.635 s; 0.495–0.795). For healthy subjects, these parameters were 0.585 s (0.460–0.703) for the nondominant limb and 0.580 s (0.460–0.703) for the dominant limb.

For the stride time, step cadence and gait velocity parameters, healthy subjects achieved much better results during locomotion, and these differences were statistically significant at $p < 0.001$ (Table 2). Stride time was significantly shorter and walking velocity and step cadence were higher than in the group of patients after surgical intervention (Figure 4). Statistically significant differences were observed between the group treated with the Ilizarov method and the control group for all of the above parameters.

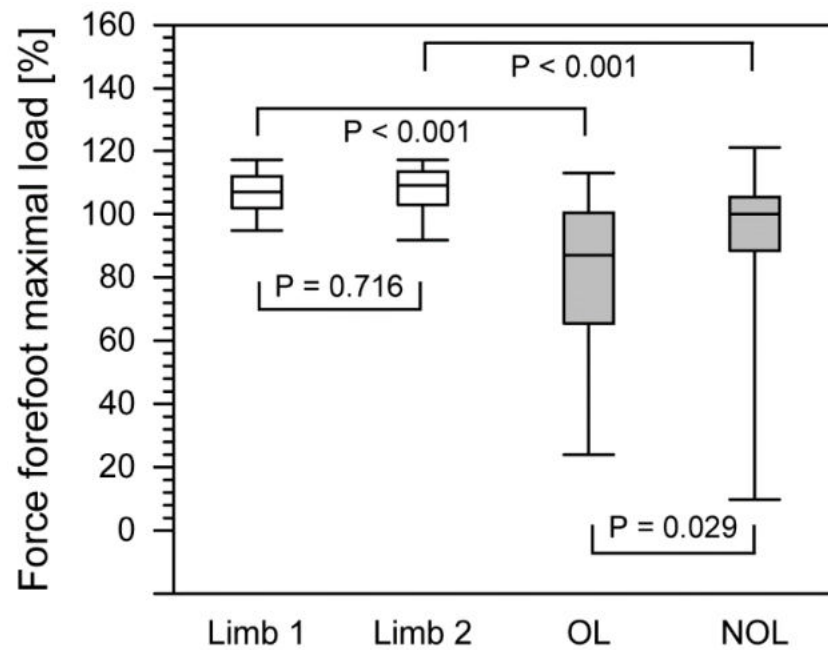


Figure 2. The comparison of force forefoot maximal load between healthy group and patients after treatment with the Ilizarov method. The boundary of the box closest to zero indicates the 25th percentile, a line within the box marks the median, and the boundary of the box farthest from zero indicates the 75th percentile. Whiskers above and below the box indicate the 90th and 10th percentiles. White boxes, healthy people; filled boxes, patients. OL, operated limb; NOL, non-operated limb.

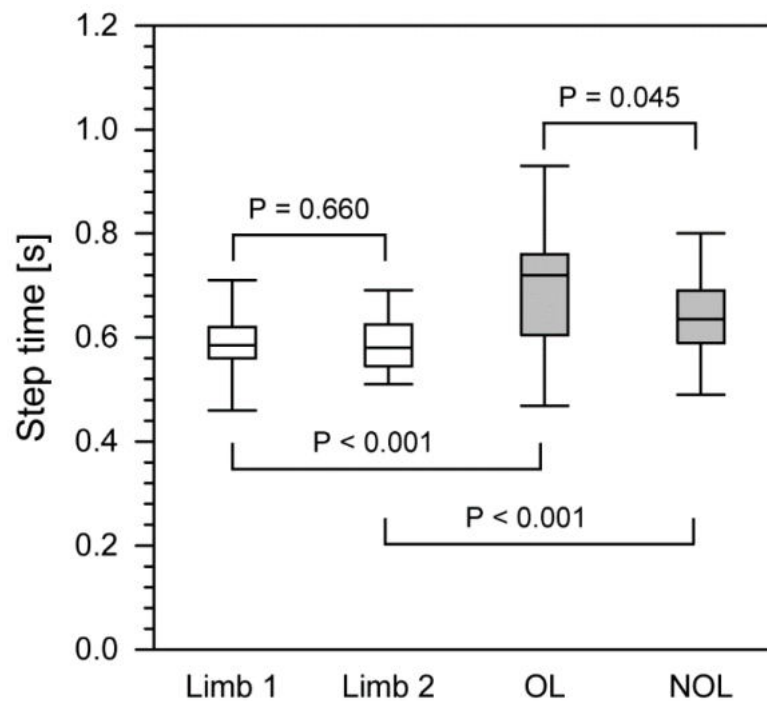
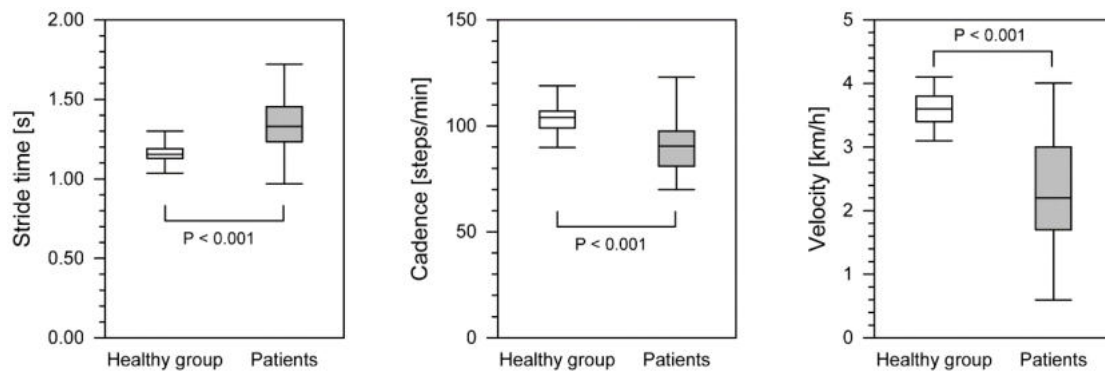


Figure 3. The comparison of step length between healthy group and patients after treatment with the Ilizarov method. The boundary of the box closest to zero indicates the 25th percentile, a line within the box marks the median, and the boundary of the box farthest from zero indicates the 75th percentile. Whiskers above and below the box indicate the 90th and 10th percentiles. White boxes, healthy people; filled boxes, patients. OL, operated limb; NOL, non-operated limb.

Table 2. Differences of gait parameters between control healthy group and patients after Ilizarov method therapy.

Gait Parameters	Control Group (n = 32)	Patients after Surgery (n = 24)	p
Stride time (s)	1.15 (1.06–1.27)	1.33 (1.00–1.68)	<0.001
Cadence steps/min	104.0 (90.0–112.5)	90.5 (71.0–119.7)	<0.001
Velocity (km/h)	3.60 (3.16–3.97)	2.20 (0.75–3.87)	<0.001

Data are medians and 5th–95th percentiles. Bold typeface indicates statistically significant differences.

**Figure 4.** The differences in gait parameters between healthy group and patients after treatment with the Ilizarov method. The boundary of the box closest to zero indicates the 25th percentile, a line within the box marks the median, and the boundary of the box farthest from zero indicates the 75th percentile. Whiskers above and below the box indicate the 90th and 10th percentiles.

4. Discussion

Due to its high incidence, tibial nonunion is a serious problem for orthopedists, and has been discussed in numerous publications [1–19]. To the best of our knowledge, this study is the first to assess gait in patients after tibial nonunion treatment. As evidenced, the impaired gait parameters following treatment are associated with abnormal muscle strength, limited joint mobility, abnormal muscle function, pain and impaired balance and proprioception [20,24,25,27,29,31,35–43]. Analysis of gait parameters is important when assessing the outcomes of treatment for lower limb pathologies [20,22–31,33–43]. So far, gait has been analysed in patients treated for limb shortening, axis disorders and ankle arthrodesis treated using the Ilizarov method [23,27,28,31]; however, no studies have comprehensively assessed the gait of patients who have undergone treatment for tibial nonunion using the Ilizarov method.

The pedobarographic platform provides an objective, repeatable and comparable analysis of gait parameters for evaluating treatment results, functional improvement and rehabilitation efficacy [21,30,31,33,34,36,40–43]. The pedobarographic platform has previously been used to evaluate static parameters in patients treated with the Ilizarov method [40–43] and gait in patients following ankle fracture treatment and rehabilitation, lengthening and correction of the lower leg axis, treatment for ankle and heel fracture and in patients with degenerative changes in the hip joint [30,31,33,34,36]. Gait analysis provides information about the functional and rehabilitation outcomes after treatment for musculoskeletal injuries [30]. Thus, in this study, we comprehensively evaluated the gait parameters in patients after tibial nonunion treatment with the Ilizarov method in comparison to a control group.

Morasiewicz et al. observed improvement and normalization of lower limb load distribution parameters after thigh and lower leg osteotomies and ankle arthrodesis using the Ilizarov method [40–43]. These authors found that balance parameters improved but did not return to normal values [40,41,43].

Treatment for musculoskeletal pathologies affects the biomechanics of the musculoskeletal system, which consequently affects gait parameters [35,39]. However, data regarding the changes in gait parameters after the treatment of various motor organ pathologies are inconsistent [22–28,30,31,33–35,37,39]. Some researchers have reported gait parameters close to normal after lengthening with the Ilizarov method, after ankle arthrodesis using the Ilizarov method and after ankle fracture treatment [23,27,28,31,33]. Others have observed an improvement in gait parameters after tibial osteotomy, ankle arthrodesis, ankle fracture treatment and rehabilitation, tibial osteotomy, and after lengthening of the lower limbs [22,25,30,35,37]. On the other hand, some authors reported poorer gait parameters than normal or no improvement after treatment, including patients following ankle arthrodesis, lengthening and axis correction with an external fixator, treatment for heel fracture, or after congenital pseudarthrosis of the tibia [24,26,32,34,39]. Bhav et al. reported normalization of gait symmetry in patients following limb lengthening treatment with the Ilizarov method [28]. On the other hand, in patients with congenital pseudarthrosis of the tibia, poorer gait symmetry and a 40% decrease in gastrocnemius muscle strength were found [39].

In our study, most of the gait parameters of patients following tibial nonunion treatment with Ilizarov method were lower compared to the control group of healthy volunteers. We found significantly poorer results for force forefoot max, force backfoot max, step length, stance phase, swing phase, step time, stride time, step cadence and velocity in the study group.

In the group of patients, we observed significant differences in the maximum forefoot force between the non-operated and operated limb more than two years after the completion of treatment. When compared to the control group, we found significant differences in maximum forefoot force between the operated limb in the patient group and the nondominant limb in the control group of healthy subjects and between the non-operated limb in the patient group and the dominant limb in the control group. In the patient group, we found no significant differences in maximum backfoot force between the non-operated and operated limb. However, we observed differences in the maximum backfoot force between the operated limb and the nondominant limb of the control group and between the non-operated limb in patients and the dominant limb of the control group. The maximum forefoot and backfoot force parameters indicate the individual's ability to load the heel during initial contact with the ground and propulsion during gait. Our results show that patients who underwent Ilizarov treatment presented abnormal heel loading during initial contact with the ground, as well as altered propulsion.

The step length of the operated limb of patients in the study group was significantly shorter (47.5 cm) than that of the nondominant limb of the control group and between the non-operated limb in the study group and the dominant limb in the control group (55 cm). Similar results have been obtained by other authors. In patients following treatment and rehabilitation of ankle fractures, Suci et al. recorded a step length of the operated limb of 36.68 cm and non-operated limb of 39.93 cm, which were statistically different [30]. The shorter step length may be due to a reduced performance of the gastrocnemius muscle [31].

The stance phase of the patient's operated limb was significantly shorter compared to the nondominant limb of the control group, but the stance phase of the non-operated limb was longer than that of the dominant limb in the control group. In the study by Suci et al., the stance phase of the operated limb was 68.33% and that of the non-operated limb was 71.66%, and this difference was statistically significant [30].

The swing phase of the patient's operated limb was significantly shorter compared to the nondominant limb of the control group. The swing phase of the non-operated limb in the group of patients was longer compared to the dominant limb of the control group. Suci et al. recorded a swing phase of the operated limb of 31.67% and a swing phase of the healthy limb of 28.33%, which were statistically different [30].

The step time was statistically longer in the patient group (0.63–0.72 s) compared to the control group. In the study quoted earlier, Suci et al. recorded a step time of the operated

limb of 0.64 s and step time of the non-operated limb of 0.72 s, which were significantly different [30]. Interestingly, Shrader reported a decrease in step time from 1.66 to 1.53 s after the administration of analgesics in patients with knee arthritis [38].

The stride time (1.33 s) was longer in the patient group compared to the control group. Our result is similar to that of Suciú et al., who recorded a stride time of 1.37 s [30].

The cadence of the study group (90.5 steps/min) was significantly lower than the control group. This is in contrast to a study by Tenenbaum, who reported an increase in cadence in patients after ankle arthrodesis [25]. Suciú et al. recorded a cadence of 44.36 steps/min [30]. Saraph et al. found a deterioration in cadence after treatment of patients with pediatric cerebral palsy (118.8 steps/min) compared to the preoperative value of 128.7 steps/min [37]. Shrader reported an increase in cadence from 100.5 to 105.01 steps/min after the administration of analgesics in patients with knee arthritis [38].

In our group of patients, the gait velocity was 0.61 m/s, which was significantly slower compared to the control group. Aiona et al. recorded a gait velocity of 1.3 m/s in patients with limb shortening [20]. Increases in gait velocity have been observed in several studies, including after ankle arthrodesis [25], tibial osteotomy [35], after the treatment of patients with pediatric cerebral palsy [37] and after the administration of analgesics in patients with knee arthritis [38]. The gait velocity values recorded in our group of patients were lower than those given in the literature (0.57–1.45 m/s) [25,29,30,35,37,38]. The slower gait velocity may be due to reduced gastrocnemius muscle capacity [31] or associated pain [35].

It is known that a shortened limb, improper pelvic position and other compensatory mechanisms cause increased muscle activity and poorer gait parameters [20]. A difference in limb length exceeding 5.5% requires greater mechanical work of the longer limb during walking, displacement of the center of gravity and associated compensatory mechanisms [29]. After arthrodesis of the ankle, the forefoot and backfoot movement becomes restricted [24]. Manjra et al. recorded deterioration in mobility of the foot and ankle after lengthening and correction of the axis with an external fixator in patients after tibial fractures [32]. In their group of patients, 90% of the impaired gait parameters were within the foot [32]. On the other hand, Saraph et al. reported increased hip and ankle mobility after the treatment of patients with pediatric cerebral palsy, which they associated with an intensive rehabilitation program [37]. Intensive rehabilitation was also associated with improved gait parameters and joint mobility in patients following ankle fractures [30,31]. In our group of patients, we observed no limb shortening, thus, it seems that the poorer gait parameters were due to sustained compensatory mechanisms and reduced joint mobility. The lack of normalization and symmetry of gait parameters in our group of patients may be explained by the rehabilitation program being too short and not intensive enough [31].

In our group of patients, the nonunion concerned the tibial bone and involved one-third of the distal lower leg, causing a disturbance in the biomechanics of the ankle joint. The ankle joint is responsible for 70% of the driving force during gait and for producing 40–60% of the energy needed for locomotion [31], which may explain the large variation in gait parameters in our group of patients.

The gait dysfunction observed in the current study may be due to pain, restricted mobility, muscle weakness resulting from the initial trauma, prolonged immobilization of the limb in the stabilizer or from degenerative changes within the joint [32]. A normal gait should be symmetric [28,31]. In the group of patients, only certain gait parameters were symmetric, including backfoot force, step length, stance phase and swing phase, while the forefoot force and step time were asymmetric when comparing the healthy and operated limb. Worse gait parameters (compared to the control group) in both lower limbs could be related to pathology in the affected limb and secondary development of degenerative changes and pain in the originally healthy limb, which was overloaded in order to relieve the operated limb.

In our research, we demonstrated the suitability of the pedobarographic platform for comprehensive evaluation of gait parameters. Pedobarographic gait analysis enables

individualized assessment of gait disorders and optimization of therapy and rehabilitation for each patient, meaning that the optimal treatment method can be selected [21,32].

Limitations

One of the study limitations was small sample size. Another limitation is the lack of pedobarographic evaluation before treatment. Our justification for this is the small number of patients undergoing such treatments, and only a small proportion of treated patients had the opportunity to use the pedobarograph. Another difficulty is the fact that not all patients had the opportunity to complete further tests because they lived far away from the treatment and research facility. Due to the pain and pathological mobility associated with tibial non-union, most patients were unable to move on their own, therefore, gait assessed could not be performed before the treatment. Other authors also only evaluated gait after the treatment [24,26,30,32–34]. The strengths of our work include the comparison of the group of patients with a control group who were matched for gender and age; the use of a pedobarographic platform, making comprehensive, comparable, repeatable and objective examination possible; and use of the same surgical technique and rehabilitation protocol in all patients.

5. Conclusions

Treatment of tibial non-union with the Ilizarov method did not restore normal gait parameters in our group of patients. In fact, the gait parameters of patients were significantly worse than those of the healthy individuals in the control group. Heel loading during contact with the ground and propulsion as well as the symmetry of gait parameters and dynamics of the musculoskeletal system remained impaired following the treatment. We can conclude that patients after treatment of tibial non-union did not return to full health and did not achieve gait parameters similar to those of healthy people; therefore, they undoubtedly require psychological and social support.

Supplementary Materials: The following are available online at <https://www.mdpi.com/article/10.3390/ijerph18084217/s1>, File S1: Ilizarov—gait data.

Author Contributions: Conceptualization, Ł.P. and P.M.; methodology, Ł.P., F.F.-L., Ł.S., M.P., P.M.; software, Ł.P., P.M.; validation, Ł.P., F.F.-L., Ł.S., P.M.; formal analysis, Ł.P., F.F.-L., Ł.S., P.M.; investigation, Ł.P., A.P.K., Ł.S., P.M.; resources, Ł.P., A.P.K., Ł.S., S.Ż., R.G., P.M.; data curation, Ł.P., A.P.K., P.M.; writing—original draft preparation, Ł.P., F.F.-L., Ł.S., M.P., P.M.; writing—review and editing, Ł.P., F.F.-L., Ł.S., W.U., P.R., M.P., P.M.; visualization, Ł.P., F.F.-L., Ł.S., S.Ż., R.G., W.U., P.R., M.P., P.M.; supervision, Ł.P., W.U., P.R., P.M.; project administration, Ł.P., P.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board of University School of Physical Education (protocol code 5/2020, date of approval 14 February 2020).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: Data is contained within the article and supplementary material.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

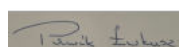
References

1. Yin, P.; Ji, Q.; Li, T.; Li, J.; Li, Z.; Liu, J.; Wang, G.; Wang, S.; Zhang, L.; Mao, Z.; et al. A systematic review and meta-analysis of Ilizarov methods in the treatment of infected nonunion of tibia and femur. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0141973. [CrossRef]
2. Peng, J.; Min, L.; Xiang, Z.; Huang, F.; Tu, C.; Zhang, H. Ilizarov bone transport combined with antibiotic cement spacer for infected tibial nonunion. *Int. J. Clin. Exp. Med.* **2015**, *8*, 10058–10065. [PubMed]
3. Schoenleber, S.J.; Hutson, J.J. Treatment of hypertrophic distal tibia nonunion and early malunion with callus distraction. *Foot Ankle Int.* **2015**, *36*, 400–407. [CrossRef] [PubMed]

4. Zhang, H.; Xue, F.; Jun Xiao, H. Ilizarov method in combination with autologous mesenchymal stem cells from iliac crest shows improved outcome in tibial non-union. *Saudi J. Biol. Sci.* **2018**, *25*, 819–825. [[CrossRef](#)]
5. Meleppuram, J.J.; Ibrahim, S. Experience in fixation of infected non-union tibia by Ilizarov technique—a retrospective study of 42 cases. *Rev. Bras. Ortop.* **2017**, *52*, 670–675. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Wani, N.B.; Syed, B. Ilizarov ring fixator in the management of infected non-unions of tibia. *SICOT-J* **2015**, *1*, 1–6. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Abuomira, I.E.A.; Sala, F.; Elbatrawy, Y.; Lovisetti, G.; Alati, S.; Capitani, D. Distraction osteogenesis for tibial nonunion with bone loss using combined Ilizarov and Taylor spatial frames versus a conventional circular frame. *Strateg. Trauma Limb Reconstr.* **2016**, *11*, 153–159. [[CrossRef](#)]
8. Baruah, R.K. Ilizarov methodology for infected nonunion of the tibia: Classic circular transfixion wire assembly vs. hybrid assembly. *Indian J. Orthop.* **2007**, *41*, 198–203. [[CrossRef](#)]
9. Eralp, I.L.; Kocaoglu, M.; Dikmen, G.; Azam, M.E.; Balci, H.I.; Bilen, F.E. Treatment of infected nonunion of the juxta-articular region of the distal tibia. *Acta Orthop. Traumatol. Turc.* **2016**, *50*, 139–146. [[CrossRef](#)]
10. Hosny, G.; Shawky, M.S. The treatment of infected non-union of the tibia by compression-distraction techniques using the Ilizarov external fixator. *Int. Orthop.* **1998**, *22*, 298–302. [[CrossRef](#)]
11. Khan, M.S.; Rashid, H.; Umer, M.; Qadir, I.; Hafeez, K.; Iqbal, A. Salvage of infected non-union of the tibia with an Ilizarov ring fixator. *J. Orthop. Surg.* **2015**, *23*, 52–55. [[CrossRef](#)]
12. Madhusudhan, T.R.; Ramesh, B.; Manjunath, K.; Shah, H.M.; Sundaresh, D.C.; Krishnappa, N. Outcomes of Ilizarov ring fixation in recalcitrant infected tibial non-unions—a prospective study. *J. Trauma Manag. Outcomes* **2008**, *2*. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Magadum, M.P.; Basavaraj Yadav, C.M.; Phaneesha, M.S.; Ramesh, L.J. Acute compression and lengthening by the Ilizarov technique for infected nonunion of the tibia with large bone defects. *J. Orthop. Surg.* **2006**, *14*, 273–279. [[CrossRef](#)]
14. Sahu, R.; Ranjan, R. Treatment of complex nonunion of the shaft of the tibia using Ilizarov technique and its functional outcome. *Niger. Med. J.* **2016**, *57*, 129–133. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Sanders, D.W.; Galpin, R.D.; Hosseini, M.; MacLeod, M.D. Morbidity resulting from the treatment of tibial nonunion with the Ilizarov frame. *Can. J. Surg.* **2002**, *45*, 196–200. [[PubMed](#)]
16. Shahid, M.; Hussain, A.; Bridgeman, P.; Bose, D. Clinical outcomes of the Ilizarov method after an infected tibial non union. *Arch. Trauma Res.* **2013**, *2*, 71–75. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
17. Wang, H.; Wei, X.; Liu, P.; Fu, Y.H.; Wang, P.F.; Cong, Y.X.; Zhang, B.F.; Li, Z.; Lei, J.L.; Zhang, K.; et al. Quality of life and complications at the different stages of bone transport for treatment infected nonunion of the tibia. *Medicine* **2017**, *96*, e8569. [[CrossRef](#)]
18. Yin, P.; Zhang, L.; Li, T.; Zhang, L.; Wang, G.; Li, J.; Liu, J.; Zhou, J.; Zhang, Q.; Tang, P. Infected nonunion of tibia and femur treated by bone transport. *J. Orthop. Surg. Res.* **2015**, *10*. [[CrossRef](#)]
19. McNally, M.; Ferguson, J.; Kugan, R.; Stubbs, D. Ilizarov treatment protocols in the management of infected nonunion of the tibia. *J. Orthop. Trauma* **2017**, *31*, 47–54. [[CrossRef](#)]
20. Aiona, M.; Do, K.P.; Emará, K.; Dorociak, R.; Pierce, R. Gait patterns in children with limb length discrepancy. *J. Pediatr. Orthop.* **2015**, *35*, 280–284. [[CrossRef](#)]
21. Klöpfer-Krämer, I.; Brand, A.; Wackerle, H.; Müßig, J.; Kröger, I.; Augat, P. Gait analysis—available platforms for outcome assessment. *Injury* **2020**, *51*, 90–96. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Goh, J.C.H.; Bose, K.; Khoo, B.C.C. Gait analysis study on patients with varusosteoarthritis of the knee. *Clin. Orthop. Relat. Res.* **1993**, *294*, 223–231. [[CrossRef](#)]
23. Koczewski, P.; Urban, F.; Józwiak, M. Analysis of some gait parameters at different stages of leg lengthening using the Ilizarov technique. *Chir. Narzadow Ruchu Ortop. Pol.* **2004**, *69*, 393–397. [[PubMed](#)]
24. Wu, W.L.; Su, F.C.; Cheng, Y.M.; Huang, P.J.; Chou, Y.L.; Chou, C.K. Gait analysis after ankle arthrodesis. *Gait Posture* **2000**, *11*, 54–61. [[CrossRef](#)]
25. Tenenbaum, S.; Coleman, S.C.; Brodsky, J.W. Improvement in gait following combined ankle and subtalar arthrodesis. *J. Bone Jt. Surg. Am. Vol.* **2014**, *96*, 1863–1869. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Braito, M.; Dammerer, D.; Kaufmann, G.; Fischler, S.; Carollo, J.; Reinthaler, A.; Huber, D.; Biedermann, R. Are our expectations bigger than the results we achieve? A comparative study analysing potential advantages of ankle arthroplasty over arthrodesis. *Int. Orthop.* **2014**, *38*, 1647–1653. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Katsenis, D.; Bhave, A.; Paley, D.; Herzenberg, J.E. Treatment of malunion and nonunion at the site of an ankle fusion with the Ilizarov apparatus. *J. Bone Jt. Surg. Ser. A* **2005**, *87*, 302–309. [[CrossRef](#)]
28. Bhave, A.; Paley, D.; Herzenberg, J.E. Improvement in gait parameters after lengthening for the treatment of limb-length discrepancy. *J. Bone Jt. Surg. Ser. A* **1999**, *81*, 529–534. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Song, K.M.; Halliday, S.E.; Little, D.G. The Effect of limb-length discrepancy on gait. *J. Bone Jt. Surg. Ser. A* **1997**, *79*, 1690–1698. [[CrossRef](#)]
30. Suciú, O.; Onofrei, R.R.; Totorean, A.D.; Suciú, S.C.; Amaricai, E.C. Gait analysis and functional outcomes after twelve-week rehabilitation in patients with surgically treated ankle fractures. *Gait Posture* **2016**, *49*, 184–189. [[CrossRef](#)]
31. Morasiewicz, M.; Koprowski, P.; Wrzosek, Z.; Dragan, S. Gait analysis in patients after lengthening and correction of tibia with Ilizarov technique. *Physiother. Q.* **2010**, *18*, 9–18. [[CrossRef](#)]

32. Manjra, M.A.; Naude, J.; Birkholtz, F.; Glatt, V.; Tetsworth, K.; Hohmann, E. The relationship between gait and functional outcomes in patients treated with circular external fixation for malunited tibial fractures. *Gait Posture* **2019**, *68*, 569–574. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
33. Fenwick, A.; Kröger, N.; Jovic, S.; Hölscher-Doht, S.; Meffert, R.; Jansen, H. Pedobarography shows no differences in gait after talar fractures. *Technol. Health Care* **2020**, *28*, 85–92. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Genc, Y.; Gultekin, A.; Duymus, T.M.; Mutlu, S.; Mutlu, H.; Komur, B. Pedobarography in the assessment of postoperative calcaneal fracture pressure with gait. *J. Foot Ankle Surg.* **2016**, *55*, 99–105. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Lee, S.H.; Lee, O.S.; Teo, S.H.; Lee, Y.S. Change in gait after high tibial osteotomy: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture* **2017**, *57*, 57–68. [[CrossRef](#)]
36. Cichy, B.; Wilk, M. Gait analysis in osteoarthritis of the hip. *Med. Sci. Monit.* **2006**, *12*, 507–513.
37. Saraph, V.; Zwick, E.B.; Steinwender, G.; Auner, C.; Schneider, F.; Linhart, W. Leg lengthening as part of gait improvement surgery in cerebral palsy: An evaluation using gait analysis. *Gait Posture* **2006**, *23*, 83–90. [[CrossRef](#)]
38. Shrader, M.W.; Draganich, L.F.; Pottenger, L.A.; Piotrowski, G.A. Effects of knee pain relief in osteoarthritis on gait and stair-stepping. *Clin. Orthop. Relat. Res.* **2004**, *421*, 188–193. [[CrossRef](#)]
39. Karol, L.A.; Haideri, N.F.; Halliday, S.E.; Smitherman, T.B.; Johnston, C.E. Gait analysis and muscle strength in children with congenital pseudarthrosis of the tibia: The effect of treatment. *J. Pediatr. Orthop.* **1998**, *18*, 381–386. [[CrossRef](#)]
40. Morasiewicz, P.; Konieczny, G.; Dejneka, M.; Urbański, W.; Dragan, S.Ł.; Kulej, M.; Dragan, S.F.; Pawik, Ł. Assessment of the distribution of load on the lower limbs and balance before and after ankle arthrodesis with the Ilizarov method. *Sci. Rep.* **2018**, *8*, 15693. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
41. Morasiewicz, P.; Konieczny, G.; Dejneka, M.; Morasiewicz, L.; Urbański, W.; Kulej, M.; Dragan, S.Ł.; Dragan, S.F.; Pawik, Ł. Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation. *Biomed. Eng. Online* **2018**, *17*, 174. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
42. Morasiewicz, P.; Urbański, W.; Kulej, M.; Dragan, S.Ł.; Dragan, S.F.; Pawik, Ł. Balance and lower limb loads distribution after Ilizarov corticotomy. *Injury* **2018**, *49*, 860–865. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
43. Morasiewicz, P.; Dragan, S.; Dragan, S.Ł.; Wrzosek, Z.; Pawik, Ł. Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after Ilizarov corticotomies. *Clin. Biomech.* **2016**, *31*, 2–6. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Chapman, J.P.; Chapman, L.J.; Allen, J.J. The measurement of foot preference. *Neuropsychologia* **1987**, *25*, 579–584. [[CrossRef](#)]
45. Coren, S. The lateral preference inventory for measurement of handedness, footedness, eyedness, and earedness: Norms for young adults. *Bull. Psychon. Soc.* **1993**, *31*, 1–3. [[CrossRef](#)]

Signed by /
Podpisano przez:



Łukasz Michał
Pawik

Date / Data:
2023-09-22 12:40

Article

Gait Symmetry Analysis in Patients after Treatment of Pilon Fractures by the Ilizarov Method

Łukasz Pawik ¹, Paweł Wieteci ², Artur Leśkow ³, Andżelika Pajchert Kozłowska ², Sławomir Żarek ³, Radosław Górski ³, Malwina Pawik ⁴, Felicja Fink-Lwow ⁴, Wiktor Urbański ⁵ and Piotr Morasiewicz ^{2,6,*}

- ¹ Department of Physiotherapy in Motor Disorders and Dysfunctions, University School of Physical Education in Wrocław, Al. IJ Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, Poland; lukasz.pawik@awf.wroc.pl
- ² Department and Clinic of Orthopaedic and Traumatologic Surgery, Wrocław Medical University, Borowska 213, 50-556 Wrocław, Poland; dooktur@wp.pl (P.W.); andzelika.pajcherti@umed.wroc.pl (A.P.K.)
- ³ Department of Orthopedics and Musculoskeletal Traumatology, Medical University of Warsaw, Lindeya 4, 02-005 Warsaw, Poland; artur.leskow@gmail.com or artur.leskow@wum.edu.pl (A.L.); s.zarek@poczta.fm (S.Ż.); radoslaw.gorski@wp.pl (R.G.)
- ⁴ Health Promotion, Faculty of Physiotherapy, University School of Physical Education in Wrocław, Al. IJ Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, Poland; malwina.pawik@awf.wroc.pl (M.P.); felicitas1@wp.pl (F.F.-L.)
- ⁵ Department and Clinic of Neurosurgery, Wrocław Medical University, Borowska 213, 50-556 Wrocław, Poland; wiktur.urbanski@umed.wroc.pl
- ⁶ Institute of Medical Sciences, Department of Orthopaedic and Trauma Surgery, University Hospital in Opole, University of Opole, Al. Witosa 26, 45-401 Opole, Poland
- * Correspondence: morasp@poczta.onet.pl; Tel.: +48-77-45-20-624



Citation: Pawik, Ł.; Wieteci, P.; Leśkow, A.; Pajchert Kozłowska, A.; Żarek, S.; Górski, R.; Pawik, M.; Fink-Lwow, F.; Urbański, W.; Morasiewicz, P. Gait Symmetry Analysis in Patients after Treatment of Pilon Fractures by the Ilizarov Method. *Symmetry* **2021**, *13*, 349. <https://doi.org/10.3390/sym13020349>

Academic Editor: Jan Awrejcewicz

Received: 29 January 2021

Accepted: 18 February 2021

Published: 21 February 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The aim of this study was to comprehensively assess the gait parameters in patients who had undergone treatment of pilon fractures by the Ilizarov method. We analyzed gait parameters in patients who had undergone treatment for pilon fractures by the Ilizarov method; 20 patients aged 47.0 years (25.2–78.6) were included in the study. The control group consisted of 32 healthy volunteers. Gait examination was performed using the pedobarographic platform. Statistically significant differences in the following gait parameters: maximum forefoot force (%), step length (cm), and step time (s) were found between the study group and the control group, between the nonoperated leg, and both the operated leg and the dominant limb. Statistically significant differences in the study group between the treated lower limb and the healthy lower limb were only observed in the case of the maximum forefoot force parameter (%). Healthy subjects from the control group obtained significantly higher values during locomotion for stride time, cadence step, and velocity than the patients, with stride time being statistically significantly shorter and the velocity and the cadence step higher. We observed symmetry in the gait parameters after treating pilon fractures by the Ilizarov method. This method of stabilization allows the restoration of gait parameters, with results similar to those obtained after the treatment of other motor organ pathologies described in the literature, although different from those observed in healthy subjects. In particular, the biomechanics of the lower limbs remain disturbed.

Keywords: gait; symmetry; pilon fracture; tibia; Ilizarov method; pedobarography

1. Introduction

Pilon fractures constitute about 1–6% of all lower limb fractures [1–4]. They are usually high-energy, comminuted, intra-articular fractures associated with extensive damage to soft tissues, complicating the process of treatment and recovery [3–14]. Various methods of stabilizing pilon fractures are available, one of which is the Ilizarov method [3–14]. Opinions on the effects of pilon fracture treatment are not unambiguous [3–10,12,13]. Although some authors indicate that it has positive results [3–5,8,10,12,13], others report poor results [3,6,7,12,14]. The literature provides publications that present treatment techniques

for pilon fractures [3–11] and assess their clinical [3–14], functional [4–10,13,14], and radiological [3–6,8,9,11,12] outcomes. A small number of studies have examined gait parameters, which are very important as a measure of the effectiveness of the treatment method, in patients who have undergone treatment of pilon fractures [13,14], but our search found studies non dealing specifically with the Ilizarov method. Falzarano et al. assessed the gait of 34 patients after pilon fractures with three different stabilization methods [13]. Gait evaluation was limited, it concerned only a few selected parameters by the baropodometric examination [13]. However, they did not compare the results to a healthy control group. In the work of Jansen, the gait of 35 patients with pilon fractures with different stabilization methods was assessed using dynamic pedography [14]. In the evaluated patients, they found limitation of limb functions and the following gait disturbances: lower load on first metatarsal, medial forefoot, heel, and for the total foot in the limb after fracture [14]. However, they did not compare the results to a healthy control group. A comprehensive assessment of the results of lower limb treatment is important for physicians, physiotherapists, and patients [15–35]. In addition to clinical and radiological evaluation, assessing the biomechanics of the lower extremities provides objective information on the effects of treating musculoskeletal system pathologies [15–35]. There are publications showing the usefulness of the analysis of gait parameters in assessing treatment outcomes for various disorders of the lower extremities [17–19,21–32] using other types of therapy. Improvements in joint mobility, restoration of normal muscle strength, and reduction in pain and swelling allow normal gait parameters to be restored [17–19,21,23–27,30,32]; evaluation of these parameters can serve as measure of the effectiveness of the therapy. Considering the above, the assessment of gait parameters and symmetry in this group of patients seems to be an innovative idea. The aim of this study was to comprehensively assess the gait parameters and symmetry in patients who had undergone treatment of pilon fractures by the Ilizarov method.

2. Materials and Methods

2.1. Patient Recruitment

We analyzed gait parameters in patients who had undergone treatment for pilon fractures by the Ilizarov method. The criteria needed to qualify for the study were consent to participate in the study, treatment of the distal end of the tibia fracture by the Ilizarov method, clinical and radiological confirmation of complete bone union, a minimum follow-up period of two years from the end of treatment, availability of clinical and radiological treatment data, and availability of gait data. The exclusion criteria were: other or multiple injuries of the lower limbs and neurological diseases. Once the exclusion criteria had been applied, twenty patients aged 47.0 years (25.2–78.6) (Table 1) were included in the study. The control group consisted of 32 healthy volunteers with no significant medical history, homogeneously matched in terms of Body Mass Index (BMI), sex, and age (50.5 years (34.0–77.7)) to the study group (Table 1). The study was approved by the Bioethics Committee. All patients were informed that their participation in the study of gait parameters was voluntary.

Table 1. Descriptive characteristics of the participants.

	Control Group (<i>n</i> = 32)	Patients after Surgery (<i>n</i> = 20)	<i>p</i>
Age [years]	50.5 (34.0–77.7)	47.0 (25.2–78.6)	0.386
Height [cm]	172.5 (158.3–187.7)	174.0 (160.1–189.6)	0.546
Body mass [kg]	79.5 (56.0–99.8)	82.5 (62.0–98.0)	0.328
BMI [kg/m ²]	27.2 (21.6–36.4)	26.5 (23.2–33.8)	0.430

Data are medians and 5th–95th percentiles. BMI, body mass index.

Treatment of pilon fractures by the Ilizarov method is performed through fracture stabilization, distraction, and reposition. The Ilizarov stabilizers consist of three or four rings attached to the tibia and the fibula with Kirschner's wires. Gait was begun within one day after surgery with the use of two elbow crutches. Outpatient checks were performed every 2–6 weeks. During treatment, there was a gradual increase in the load on the operated limb, leading to weaning off the crutches and walking with full load, about 2–3 months after the start of treatment. The Ilizarov fixator was removed after the fracture had sufficiently fused, which was radiologically (the presence of at least three of the four cortical layers of bone) and clinically (no pain and no pathological mobility at the fracture site) confirmed. After this, for a period of four weeks, patients were advised to walk with two elbow crutches, and with partial support of the operated limb. The load on the limb was increased gradually, taking into account the degree of the fracture remodeling seen on the X-ray image. All patients had the same rehabilitation protocol throughout the entire period of wearing the stabilizer and for 6–12 weeks after its removal.

2.2. Gait Analysis

Gait examination was performed using the pedobarographic platform by Zebris Medical, which allowed computer registration of kinetic parameters, which later underwent statistical analysis (Figure 1).

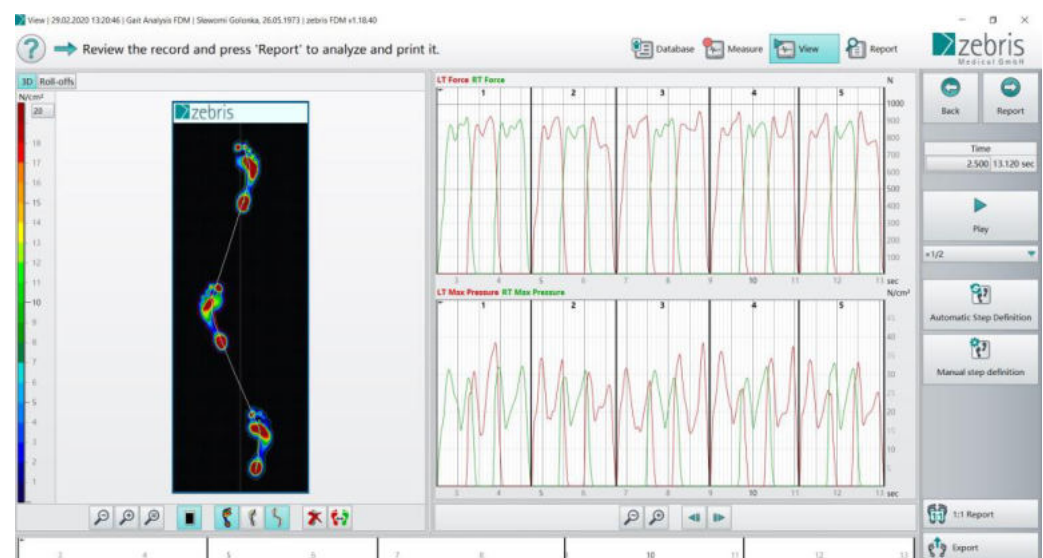


Figure 1. The pedobarographic platform by Zebris Medical.

The platform, when connected to a computer equipped with the appropriate Foot-Print software, enables the analysis of two- and three-dimensional distribution of ground reaction forces while walking. The device has a set of 11,264 sensors, and its size is 56 × 208 cm. Gait analysis data were processed and archived on a PC using the WinFDM software [17,30,33–36]. The following parameters were analyzed in this study:

- Maximum forefoot force (%) as a percentage of body weight
- Maximum hindfoot force (%) as a percentage of body weight
- Step length (cm)—the distance from the heel print of one foot to the heel print of the next foot during a walking stride
- Stance phase (%)—the period of time during which the foot is in contact with the ground
- Swing phase (%)—the period of time during which the foot is not in contact with the ground
- Step time (s)—the phase of the gait cycle between the contact of one heel with the ground and the contact of the other heel with the ground

- Stride time (s)—the time between the first contact of two consecutive footsteps of the left and the right feet
- Cadence step—step rate per minute
- Velocity (km/h)—the speed of walking.

Before beginning the measurements, the patients walked through the platform to become familiar with the test method. The examinee walked without shoes. The platform was calibrated before each patient. Each patient performed five trials. For further analysis, the arithmetic mean of three good trials was taken into account for each evaluated parameter. The trial was regarded as correct when the patient went through the platform with both feet at least three times, had his or her eyes open during the test, did not perform excessive torso rotations during the test, and walked continuously at his or her preferred speed [17,30,33–36]. To compare the study group with the control group, the dominant leg in the control group was defined. The parameters of the operated leg in the study group were compared with the nondominant leg in the control group, and the parameters of the healthy leg in the study group were compared with the dominant leg in the control group. The dominant leg mobilizes the function of the lower limb during juggling a ball or kicking [30,33,37].

2.3. Statistical Analysis

The data were analyzed using the SigmaPlot v13 statistics package (Systat Software, San Jose, CA, USA). Continuous variables were first analyzed for a normal distribution using the Kolmogorov–Smirnov test with the Lilliefors correction. All values were expressed as medians and 5th–95th percentiles. An unpaired Student’s *t*-test was used to test the differences between two groups. For data that did not pass the normality test, the significance of the differences was analyzed using the Mann–Whitney *U*-test. The level of statistical significance was set at $p < 0.05$.

3. Results

Statistically significant differences in the following gait parameters: maximum forefoot force (%), step length (cm), and step time (s) were found between the study group and the control group, between the nonoperated leg (NOL) and both the operated leg (OL) and the dominant limb (Table 2, Figures 2–4).

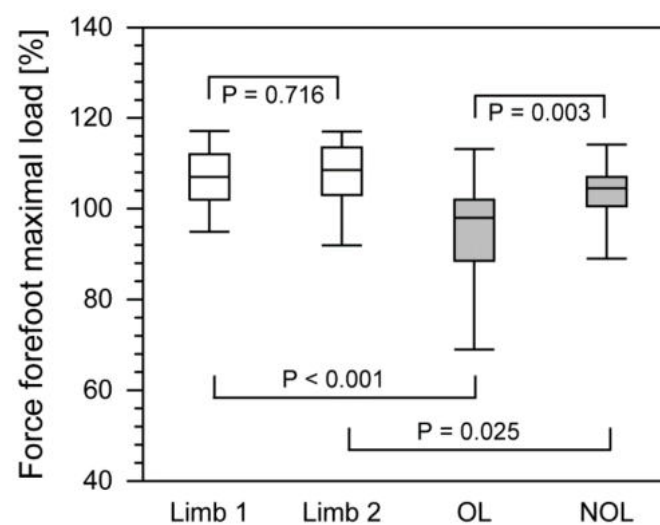


Figure 2. The comparison of force forefoot maximal load between control group and patients after treatment with the Ilizarov method. The lower boundary of the box indicates the 25th percentile whereas upper boundary of the box corresponds to the 75th percentile. The median is marked by a line located in the box. Whiskers indicate the 90th and 10th percentiles. White boxes, control group; gray boxes, patients after surgery. OL, operated limb; NOL, non-operated limb.

Table 2. Gait parameters for patients after treatment with the Ilizarov method vs. healthy control group.

	Control Group (n = 32)	Patients after Surgery (n = 20)	<i>p</i>
Force Forefoot max load OL [%]	107.0 (95.6–117.0)	98.0 (69.5–112.6)	<0.001
Force Forefoot max load NOL [%]	108.5 (93.9–117.0)	104.5 (89.1–114.0)	0.025
<i>p</i>	0.716	0.003	
Force Backfoot max load OL [%]	79.5 (67.6–89.3)	75.5 (60.0–93.7)	0.391
Force Backfoot max load NOL [%]	77.5 (70.0–89.4)	80.0 (48.7–97.5)	0.407
<i>p</i>	0.396	0.579	
Step length OP [cm]	55.0 (47.2–69.1)	52.5 (35.2–63.8)	0.013
Step length NOP [cm]	56.5 (52.0–70.3)	53.0 (32.0–58.9)	<0.001
<i>p</i>	0.309	0.550	
Stance phase OL [%]	63.9 (57.7–71.8)	64.6 (61.2–70.6)	0.342
Stance phase NOL [%]	65.2 (57.5–68.4)	65.7 (59.3–70.6)	0.486
<i>p</i>	0.151	0.685	
Swing phase OL [%]	35.9 (30.7–42.5)	35.3 (29.4–38.8)	0.318
Swing phase NOL [%]	34.9 (31.5–42.3)	34.2 (29.4–40.7)	0.263
<i>p</i>	0.655	0.685	
Step time OL [s]	0.585 (0.460–0.703)	0.650 (0.550–0.904)	0.002
Step time NOL [s]	0.580 (0.460–0.703)	0.650 (0.530–0.807)	<0.001
<i>p</i>	0.660	0.871	

Data are medians and 5th–95th percentiles. OL, operated limb; NOL, non-operated; for control group OL is dominant limb and NOL is no-dominant limb. Bold typeface indicates statistically significant differences.

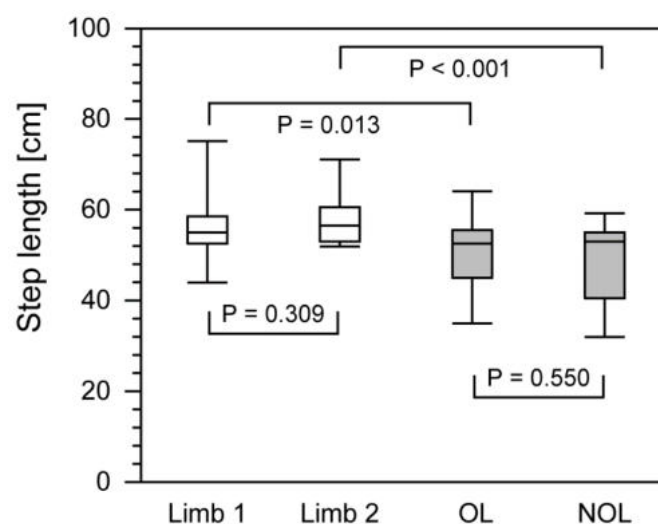


Figure 3. The comparison of step length between control group and patients after treatment with the Ilizarov method. The lower boundary of the box indicates the 25th percentile whereas upper boundary of the box corresponds to the 75th percentile. The median is marked by a line located in the box. Whiskers indicate the 90th and 10th percentiles. White boxes, control group; gray boxes, patients after surgery. OL, operated limb; NOL, non-operated limb.

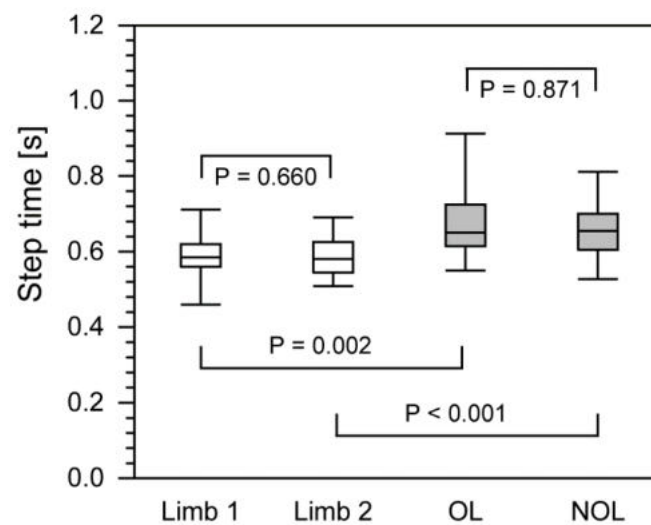


Figure 4. The comparison of step time between control group and patients after surgery with the Ilizarov method. The lower boundary of the box indicates the 25th percentile whereas upper boundary of the box corresponds to the 75th percentile. The median is marked by a line located in the box. Whiskers indicate the 90th and 10th percentiles. White boxes, control group; gray boxes, patients after surgery. OL, operated limb; NOL, non-operated limb.

Comparison of these parameters in both limbs revealed statistically significantly higher values only for some gait parameters (Table 2, Figures 2–4). Statistically significant differences in the study group between the treated lower limb and the healthy lower limb were only observed in the case of the maximum forefoot force parameter [%].

In the case of the study group, the maximum forefoot force [%] of the operated limb was 98.0% (69.5–112.6), while that of the nonoperated limb was 104.5% (89.1–114.0) (Table 2, Figure 2). By comparison, in the group of healthy people, this was 107.0% (95.6–117.0) for the nondominant limb and 108.5% (93.9–117.0) for the dominant limb.

Statistically significant differences were also found between the operated and non-operated limbs in the patients who had undergone treatment of pilon fractures, specifically in the case of the step length parameter (Table 2, Figure 3). In patients treated with the Ilizarov method, the mean distance from the heel print of one foot to the heel print of the next foot of the operated limb was smaller and amounted to 52.5 cm (35.2–63.8 cm) compared to the nonoperated limb 53.0 (32.0–58.9). In the case of healthy subjects, these parameters were 56.5 (52.0–70.3) for the nondominant limb and 55.0 cm (47.2–69.1) for the dominant limb, respectively.

Healthy subjects from the control group obtained significantly higher values during locomotion for stride time, cadence step, and velocity, than the patients (Table 3, Figure 5), with stride time being statistically significantly shorter and the velocity and the cadence step higher (Table 3, Figure 5). All these parameters showed statistically significant differences between the group treated with the Ilizarov method and the control group of healthy people.

Table 3. Differences of gait parameters between control healthy group and patients after Ilizarov method therapy.

Gait Parameters	Control Group (n = 32)	Patients after Surgery (n = 20)	p
Stride time (s)	1.15 (1.06–1.27)	1.31 (1.17–1.70)	<0.001
Cadence steps/min	104.0 (90.0–112.5)	90.5 (70.4–102.9)	<0.001
Velocity (km/h)	3.60 (3.16–3.97)	2.80 (1.61–3.49)	<0.001

Data are medians and 5th–95th percentiles. Bold typeface indicates statistically significant differences.

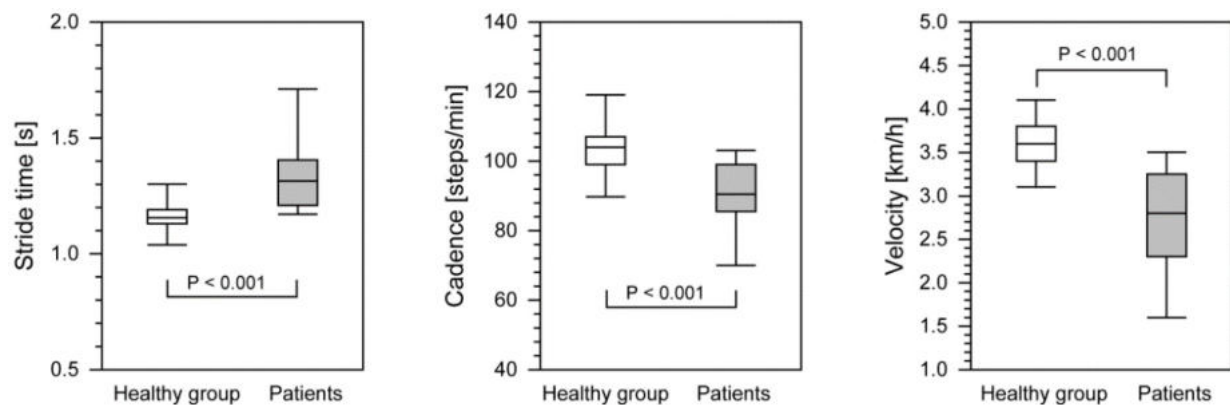


Figure 5. The differences in gait parameters between control group and patients after treatment with the Ilizarov method. The lower boundary of the box indicates the 25th percentile whereas upper boundary of the box corresponds to the 75th percentile. The median is marked by a line located in the box. Whiskers indicate the 90th and 10th percentiles. White boxes, control group; gray boxes, patients after surgery. OL, operated limb; NOL, non-operated limb.

4. Discussion

Due to their specificity, pilon fractures constitute a significant medical and social problem [3–14]. Their treatment is difficult and associated with frequent complications, which make it less effective in some patients [3–14]. It has been shown that various methods of stabilization after pilon fractures yield different treatment outcomes [3–14]. Some authors suggest that closed reposition and treatment with a plaster cast gives poor results [3,12]. Open reposition and periosteal stabilization, or the use of external stabilizers, is reported to give good treatment results [3–5,8,10,12,13]. Nevertheless, some authors have reported poor results after treating pilon fractures with various stabilization methods [3,6,7,12,14].

In this context, a comprehensive evaluation—clinical, radiological, and biomechanical—of the results of treatment for musculoskeletal pathologies is crucial [15–35]. No publications to date have comprehensively assessed gait in patients who have undergone treatment for pilon fractures. Several studies have assessed the gait of patients after distraction–corrective osteotomy using the Ilizarov method [17,27,28]. Only a few studies have assessed selected gait parameters in patients who have undergone treatment for pilon fractures [13,14]; however, those patients were not treated with the Ilizarov method and were not compared to healthy controls. Falzarano et al. assessed the gait of 34 patients after pilon fractures with three different stabilization methods [13]. Gait evaluation was limited, it concerned only a few selected parameters by the baropodometric examination [13]. In the work of Jansen, the gait of 35 patients with pilon fractures with different stabilization methods was assessed using dynamic pedography [14]. In the evaluated patients, they found limitation of limb functions and the following gait disturbances: lower load on first metatarsal, medial forefoot, heel, and for the total foot in the limb after fracture [14]. Some studies have used a pedobarographic platform to assess gait parameters in patients with degenerative changes in the hip joints, after calcaneus and ankle fractures [19,22,26,30]. However, the authors of some of these assessed the gait parameters qualitatively, not quantitatively, or else only evaluated selected gait parameters (in some cases, only the force parameters), without providing a comprehensive analysis of all available gait parameters [17,19,22,26–28]. It has been shown that the use of a pedobarographic platform for gait analysis allows for a quantitative, repeatable, and objective assessment of the biomechanics of the lower limbs [17,19,20,22,26,30], which was the leitmotiv of our research.

Correct gait parameters indicate an improvement in muscle strength and joint mobility, and a reduction in pain and swelling [17–19,21,23–25,27,30,32]; their evaluation and comparison to healthy controls can thus be treated as an objective measure of therapy outcome.

Morasiewicz and her team indicated that increased tension in the postural muscles and the higher energy demand related to the shortening and deformation of limbs wors-

ens the parameters of the gait and disturbs its symmetry [17]. The disturbed phase of propulsion may result from the weakening of the gastrocnemius muscle [17]. Aiona et al. reported that shortening of the limbs causes pain and the activation of compensatory mechanisms, which causes higher energy expenditure and disturbs gait parameters [21]. Lee et al. assessed patients after shank osteotomy [23], finding an increase in walking speed and an improvement in gait parameters, which could be associated with a reduction of pain and an increase in muscle strength [23]. Shrader and his team, in turn, noted an improvement in gait parameters after the reduction of pain in patients with gonatrosis [24]. According to Saraph, the factors that contribute to better gait parameters are improved movement in the knee and hip joints and appropriate rehabilitation [25]. Manjra et al. examined eleven patients who had undergone osteotomy with external fixation of the tibia, and found abnormal gait parameters after treatment, mainly due to limited movement of the ankle joint [27]. In his work, Bhave noted an improvement in gait parameters and the normalization of gait symmetry after osteotomy performed using the Ilizarov method [28]. Wu observed deterioration in gait parameters and a reduction in foot mobility after ankle arthrodesis [31]. Karol et al. found abnormal gait parameters in patients who had undergone treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia, which resulted from a decrease in the muscular strength of the affected limb and increased energy expenditure during walking [32].

The shortening and deformation of the lower limbs negatively affects gait parameters [17,21,25,28,29]. The patients we assessed did not have such dysfunctions or anatomical changes, which confirms the effectiveness of the treatment. Falzarano and Jansen reported abnormal load distribution on the foot and lateral gait axes in patients treated with different techniques due to pilon fractures [13,14].

The walking speed in patients, as assessed by other investigators, ranged from 0.57 m/s to 1.45 m/s [21,23–25,29,30]. The walking speed—including cadence—as well as the stance phase, step length, swing phase, step time, and stride time in the patients examined by our team was similar to the values obtained by other authors [24,25,30].

In our group of patients, most of the gait parameters—except for the maximum hindfoot force, stance phase, and swing phase—differed statistically from those found in healthy volunteers in the control group. The lack of proper muscle strength worsens gait parameters [17,23,24,32]. Worse flexor strength affects the propulsion phase [17]. The lack of improvement in joint mobility results in worse gait parameters [17,19,25,27,31]. In particular, limited movement of the ankle joint increases the energy expenditure while walking [17,27]. The ankle joint is damaged in pilon fractures, often leading to movement of this joint being restricted [19,21,23]. Okcu et al. found that the mobility of the ankle joint after stabilization of *pilon* fractures with the Ilizarov apparatus without foot restraint was better than in patients treated using a monolateral stabilizer, with foot restraint [21]. Pain is also a factor that disturbs gait parameters [19,23,24].

It seems that, in our group of patients who underwent treatment for pilon fractures, the mobility of the joints (especially the ankle joint) and the correct muscle strength were not fully restored, and complete relief from pain was not achieved. The lack of improvement in the gait parameters after treatment may be caused by the rehabilitation being too short or not sufficiently intense [17,25,30]. In treating pilon fractures, it is therefore important to employ a rehabilitation protocol that allows the mobility of the joint (especially of the ankle joint) to improve and reduces pain and swelling.

On the other hand, the gait parameters of the patients in our study were similar to those from literature data [21,23–25,29,30]. It was also possible to obtain symmetry between the operated and the healthy limbs in most of the gait parameters assessed. Normal gait is symmetrical [17,28]. This may indicate the restoration of relatively good lower limb biomechanics after treatment of pilon fractures by the Ilizarov method. Our research allowed us to draw several practical implications. Treatment of pilon fractures using the Ilizarov method is effective, because it allows for symmetrical gait parameters to be obtained. Doctors, physiotherapists, and patients should pay attention to intensive

rehabilitation after treatment of pilon fractures in order to improve gait parameters. After pilon fractures, as with the treatment of other types of lower leg fractures, it is not possible to obtain fully normal gait parameters.

The shortcomings of our work are the small number of people treated, and the lack of results for pretreatment gait parameters. The small number of patients can be explained the fact that some lived far from the research site and could not reach it, that many patients could not access the pedobarographic platform, that there were a limited number of patients with pilon fractures in our clinic, and that, in some cases, pilon fractures were supplied with internal stabilization and not treated by the Ilizarov method. We decided to include a control group with an appropriate age range. Their greater number was verified by an identical % share of people of the same age, compatible with the group of patients, which was confirmed by the lack of a statistically significant difference with regard to age, but also to anthropometric parameters. Studies of other authors also assessed gait in a similar or smaller number of patients [17,18,27,28,32]. The fact that the gait was not assessed before treatment was due to the fact that they were trauma patients with fractures who were admitted to the ward immediately after the injury. The major strengths of our work are its comprehensive pedobarographic gait analysis, which allows for repeatable and objective measurements, the fact that surgery was performed by two experienced orthopedists, and the uniform postoperative and rehabilitation protocol for patients.

5. Conclusions

We observed symmetry in the gait parameters after treating pilon fractures by the Ilizarov method. This method of stabilization allows the restoration of gait parameters, with results similar to those obtained after the treatment of other motor organ pathologies described in the literature, although different from those observed in healthy subjects. In particular the biomechanics of the lower limbs remains disturbed. Following treatment, intense and long-term rehabilitation is recommended in order to restore normal ankle mobility.

Author Contributions: Conceptualization, Ł.P., P.W., and P.M.; methodology, Ł.P., P.W., and A.P.K., M.P. and P.M.; software, Ł.P., F.F.-L., M.P., and P.M.; validation, Ł.P., P.M., A.L., S.Ż., R.G., W.U., F.F.-L. and P.M.; formal analysis, Ł.P., P.W., A.P.K., A.L., S.Ż., R.G., W.U., P.M., F.F.-L., and P.M.; investigation, Ł.P., P.M., A.P.K., A.L., S.Ż., R.G., W.U., P.M., F.F.-L., and P.M.; resources, Ł.P., P.M., A.P.K., A.L., S.Ż., R.G., W.U., P.M., F.F.-L., and P.M.; data curation: Ł.P., P.W., M.P., F.F.-L., and P.M.; writing—original draft preparation, Ł.P., P.W., M.P., F.F.-L., and P.M.; writing—review and editing, Ł.P., P.W., M.P., F.F.-L., and P.M.; visualization, Ł.P., P.W., M.P., F.F.-L., and P.M.; supervision, Ł.P. and P.M.; project administration, Ł.P. and P.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee of University School of Physical Education in Wroclaw (protocol code 5/2020).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

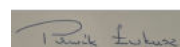
References

1. Kelsey, J.L.; Samelson, E.J. Variation in Risk Factors for Fractures at Different Sites. *Curr. Osteoporos. Rep.* **2009**, *27*–133. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Holloway, K.L.; Yousif, D.; Bucki-Smith, G.; Hosking, S.; Betson, A.G.; Williams, L.J.; Brennan-Olsen, S.L.; Kotowicz, M.A.; Sepetavc, A.; Pasco, J.A. Lower Limb Fracture Presentations at a Regional Hospital. *Arch. Osteoporos.* **2017**, *12*. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Papadokostakis, G.; Kontakis, G.; Giannoudis, P.; Hadjipavlou, A. External Fixation Devices in the Treatment of Fractures of the Tibial Plafond: A Systematic Review of the Literature. *J. Bone Jt. Surg.-Ser. B* **2008**, *90*, 1–6. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

4. Villaseñor, L.E.; Olea Leyva, M.A.; Rodríguez Flores, R.; Hernández López, J.L. Clinical Outcome of a Bilateral Tibial Pylon Fracture Treated with a Minimally Invasive Technique. *Acta Ortopédica Mex.* **2009**, *23*, 163–166.
5. Okcu, G.; Aktuglu, K. Intra-Articular Fractures of the Tibial Plafond. A Comparison of the Results Using Articulated and Ring External Fixators. *J. Bone Jt. Surg.-Ser. B* **2004**, 868–875. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. García-Balderas, A.; Beltrán-Cota, E.R.; Ruiz-Barrios, J.M.; Caldera-Barbosa, O. Results of the treatment of high energy tibial pylon fractures. *Acta Ortopédica Mex.* **2013**, *27*, 363–366.
7. Závřtkovský, P.; Malkus, T. Fractures of the Tibial Pylon: Treatment Options and Outcomes. *Acta Chir. Orthop. Traumatol. Cech.* **2004**, *71*, 228–22836.
8. Aktuğlu, K.; Özsoy, M.H.; Yensel, U. Treatment of Displaced Pylon Fractures with Circular External Fixators of Ilizarov. *Foot Ankle Int.* **1998**, *19*, 208–216. [[CrossRef](#)]
9. Bastian, L.; Blauth, M.; Thermann, H.; Tscherne, H. Verschiedene Therapiekonzepte Bei Schwere Frakturen Des Pilon Tibiale (Typ-C-Verletzungen). *Unfallchirurg* **1995**, *98*, 551–558.
10. Zheng, Y.; Zhang, J.D.; Shen, J.M.; Chen, J.J.; Toy, L.; Huang, J.F. A Modified 2-Stage Treatment for AO/OTA 43-C1 Pilon Fractures Accompanied by Distal Fibular and Posterior Lip of the Distal Tibia Fracture. *J. Foot Ankle Surg.* **2020**, *59*, 972–978. [[CrossRef](#)]
11. Campbell, S.T.; Goodnough, L.H.; Salazar, B.; Lucas, J.F.; Bishop, J.A.; Gardner, M.J. How Do Pilon Fractures Heal? An Analysis of Dual Plating and Bridging Callus Formation. *Injury* **2020**, *51*, 1655–1661. [[CrossRef](#)]
12. Malik-Tabassum, K.; Pillai, K.; Hussain, Y.; Bleibleh, S.; Babu, S.; Giannoudis, P.V.; Tosounidis, T.H. Post-Operative Outcomes of Open Reduction and Internal Fixation versus Circular External Fixation in Treatment of Tibial Plafond Fractures: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Injury* **2020**, 1448–1456. [[CrossRef](#)]
13. Falzarano, G.; Pica, G.; Medici, A.; Rollo, G.; Bisaccia, M.; Cioffi, R.; Pavone, M.; Meccariello, L. Foot Loading and Gait Analysis Evaluation of Nonarticular Tibial Pilon Fracture: A Comparison of Three Surgical Techniques. *J. Foot Ankle Surg.* **2018**, *57*, 894–898. [[CrossRef](#)]
14. Jansen, H.; Fenwick, A.; Doht, S.; Frey, S.; Meffert, R. Clinical Outcome and Changes in Gait Pattern after Pilon Fractures. *Int. Orthop.* **2013**, *37*, 51–58. [[CrossRef](#)]
15. Czamara, A.; Markowska, I.; Królikowska, A.; Szopa, A.; Domagalska Szopa, M. Kinematics of Rotation in Joints of the Lower Limbs and Pelvis during Gait: Early Results—SB ACLR Approach versus DB ACLR Approach. *Biomed. Res. Int.* **2015**, 2015. [[CrossRef](#)]
16. Królikowska, A.; Sikorski, Ł.; Czamara, A.; Reichert, P. Effects of Postoperative Physiotherapy Supervision Duration on Clinical Outcome, Speed, and Agility in Males 8 Months after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Med. Sci. Monit.* **2018**, *24*, 6823–6831. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
17. Morasiewicz, M.; Koprowski, P.; Wrzosek, Z.; Dragan, S. Gait analysis in patients after lengthening and correction of tibia with Ilizarov technique. *Fizjoterapia* **2010**, *18*, 9–18. [[CrossRef](#)]
18. Butler, R.J.; Barrios, J.A.; Royer, T.; Davis, I.S. Frontal-Plane Gait Mechanics in People with Medial Knee Osteoarthritis Are Different from Those in People with Lateral Knee Osteoarthritis. *Phys. Ther.* **2011**, *91*, 1235–1243. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
19. Cichy, B.; Wilk, M. Gait Analysis in Osteoarthritis of the Hip. *Med. Sci. Monit.* **2006**, *12*, 507–513.
20. Klöpfer-Krämer, I.; Brand, A.; Wackerle, H.; Müßig, J.; Kröger, I.; Augat, P. Gait Analysis—Available Platforms for Outcome Assessment. *Injury* **2020**, *51*, S90–S96. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
21. Aiona, M.; Do, K.P.; Emar, K.; Dorociak, R.; Pierce, R. Gait Patterns in Children with Limb Length Discrepancy. *J. Pediatric Orthop.* **2015**, *35*, 280–284. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Fenwick, A.; Kröger, N.; Jovic, S.; Hölscher-Doht, S.; Meffert, R.; Jansen, H. Pedobarography Shows No Differences in Gait after Talar Fractures. *Technol. Health Care* **2020**, *28*, 85–92. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
23. Lee, S.H.; Lee, O.S.; Teo, S.H.; Lee, Y.S. Change in Gait after High Tibial Osteotomy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Gait Posture* **2017**, *57*, 57–68. [[CrossRef](#)]
24. Shrader, M.W.; Draganich, L.F.; Pottenger, L.A.; Piotrowski, G.A. Effects of Knee Pain Relief in Osteoarthritis on Gait and Stair-Stepping. *Clin. Orthop. Relat. Res.* **2004**, *421*, 188–193. [[CrossRef](#)]
25. Saraph, V.; Zwick, E.B.; Steinwender, G.; Auner, C.; Schneider, F.; Linhart, W. Leg Lengthening as Part of Gait Improvement Surgery in Cerebral Palsy: An Evaluation Using Gait Analysis. *Gait Posture* **2006**, *23*, 83–90. [[CrossRef](#)]
26. Genc, Y.; Gultekin, A.; Duymus, T.M.; Mutlu, S.; Mutlu, H.; Komur, B. Pedobarography in the Assessment of Postoperative Calcaneal Fracture Pressure with Gait. *J. Foot Ankle Surg.* **2016**, *55*, 99–105. [[CrossRef](#)]
27. Manjra, M.A.; Naude, J.; Birkholtz, F.; Glatt, V.; Tetsworth, K.; Hohmann, E. The Relationship between Gait and Functional Outcomes in Patients Treated with Circular External Fixation for Malunited Tibial Fractures. *Gait Posture* **2019**, *68*, 569–574. [[CrossRef](#)]
28. Bhave, A.; Paley, D.; Herzenberg, J.E. Improvement in Gait Parameters after Lengthening for the Treatment of Limb-Length Discrepancy. *J. Bone Jt. Surg.-Ser. A* **1999**, *81*, 529–534. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Song, K.M.; Halliday, S.E.; Little, D.G. The Effect of Limb-Length Discrepancy on Gait. *J. Bone Jt. Surg.-Ser. A* **1997**, *79*, 1690–1698. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
30. Suci, O.; Onofrei, R.R.; Totorean, A.D.; Suci, S.C.; Amaricai, E.C. Gait Analysis and Functional Outcomes after Twelve-Week Rehabilitation in Patients with Surgically Treated Ankle Fractures. *Gait Posture* **2016**, *49*, 184–189. [[CrossRef](#)]

31. Wu, W.L.; Su, F.C.; Cheng, Y.M.; Huang, P.J.; Chou, Y.L.; Chou, C.K. Gait Analysis after Ankle Arthrodesis. *Gait Posture* **2000**, *11*, 54–61. [[CrossRef](#)]
32. Karol, L.A.; Haideri, N.F.; Halliday, S.E.; Smitherman, T.B.; Johnston, C.E. Gait Analysis and Muscle Strength in Children with Congenital Pseudarthrosis of the Tibia: The Effect of Treatment. *J. Pediatric Orthop.* **1998**, *18*, 381–386. [[CrossRef](#)]
33. Morasiewicz, P.; Dragan, S.; Dragan, S.Ł.; Wrzosek, Z.; Pawik, Ł. Pedobarographic Analysis of Body Weight Distribution on the Lower Limbs and Balance after Ilizarov Corticotomies. *Clin. Biomech.* **2016**, *31*, 2–6. [[CrossRef](#)]
34. Morasiewicz, P.; Konieczny, G.; Dejneka, M.; Morasiewicz, L.; Urbański, W.; Kulej, M.; Dragan, S.Ł.; Dragan, S.F.; Pawik, Ł. Pedobarographic Analysis of Body Weight Distribution on the Lower Limbs and Balance after Ankle Arthrodesis with Ilizarov Fixation and Internal Fixation. *Biomed. Eng. Online* **2018**, *17*, 174. [[CrossRef](#)]
35. Morasiewicz, P.; Konieczny, G.; Dejneka, M.; Urbański, W.; Dragan, S.Ł.; Kulej, M.; Dragan, S.F.; Pawik, Ł. Assessment of the Distribution of Load on the Lower Limbs and Balance before and after Ankle Arthrodesis with the Ilizarov Method. *Sci. Rep.* **2018**, *8*, 15693. [[CrossRef](#)]
36. Lorkowski, J.; Trybus, M.; Hładki, W.; Brongel, L. Underfoot Pressure Distribution of a Patient with Unilateral Ankylosis of Talonavicular Joint during Rheumatoid Arthritis—Case Report. *Przegląd Lek.* **2008**, *65*, 54–56.
37. Coren, S. The Lateral Preference Inventory for Measurement of Handedness, Footedness, Eyedness, and Earedness: Norms for Young Adults. *Bull. Psychon. Soc.* **1993**, *31*, 1–3. [[CrossRef](#)]

Signed by /
Podpisano przez:



Łukasz Michał
Pawik

Date / Data:
2023-09-22 12:41

Received: 2021.01.02

Accepted: 2021.03.01

Available online: 2021.03.26

Published: 2021.05.28

Assessment of Lower Limb Load Distribution in Patients Treated with the Ilizarov Method for Tibial Nonunion

Authors' Contribution:

Study Design A
Data Collection B
Statistical Analysis C
Data Interpretation D
Manuscript Preparation E
Literature Search F
Funds Collection G

ABCDEF G 1 **Łukasz Pawik**
ABCDEF 2 **Andżelika Pajchert-Kozłowska**
BCDE 3 **Łukasz Szelerski**
BCDE 3 **Śławomir Żarek**
BCDE 3 **Radosław Górski**
BCDE 4 **Malwina Pawik**
BCDE 4 **Felicja Fink-Lwów**
ABCDEF 2,5 **Piotr Morasiewicz**

1 Department of Physiotherapy in Motor Disorders and Dysfunctions, University School of Physical Education in Wrocław, Wrocław, Poland
2 Department and Clinic of Orthopedic and Traumatologic Surgery, Wrocław Medical University, Wrocław, Poland
3 Department of Orthopedics and Musculoskeletal Traumatology, Medical University of Warsaw, Warsaw, Poland
4 Department of Health Promotion, Faculty of Physiotherapy, University School of Physical Education in Wrocław, Wrocław, Poland
5 Department of Orthopedic and Trauma Surgery, University Hospital in Opole, Institute of Medical Sciences, University of Opole, Opole, Poland

Corresponding Author: Piotr Morasiewicz, e-mail: morasp@poczta.onet.pl
Source of support: Departmental sources

Background: Successful treatment of tibial nonunion should lead to a complete bone union, lack of pain, and pathological mobility of the lower extremity, as well as to the achievement of satisfactory joint mobility and muscle strength, which in turn improves its biomechanics. The objective of this study was to assess the load placed on the lower limbs in patients subjected to treatment with the Ilizarov method due to aseptic tibial nonunion.





Material/Methods: This research involved 24 participants (average age, 55 years). All were diagnosed with aseptic tibia nonunion and treated with the Ilizarov external fixator between 2000 and 2017. The control group was matched to the treated group in terms of sex and age. This study used pedobarography evaluation to assess lower limb load distribution.

Results: No differences were found in the distribution of the load over the entire foot or of the forefoot and hindfoot of the treated limb in comparison to the non-dominant limb of the controls, or in the healthy limb of the treated group compared to the dominant limb of the control group. Similarly, differences in load distribution between the operated and healthy limbs of the treated group were insignificant.

Conclusions: Patients subjected to treatment with the Ilizarov external fixator for aseptic tibial nonunion show symmetrical load distribution on both lower limbs following treatment, which does not differentiate them in this respect from healthy individuals. Treated patients presented with a symmetrical distribution of the load on the lower extremities over the entire foot surface, including the forefoot and hindfoot. Finally, the Ilizarov external fixator enables restoration of correct static biomechanics of the treated limbs over the period of aseptic tibial nonunion therapy.

Keywords: **Ilizarov Technique • Tibia • Weight-Bearing**

Full-text PDF: <https://www.medscimonit.com/abstract/index/idArt/930849>

 2450  3  5  47



Background

Problems with bone union or lack of union are common complications following fractures of the tibia [1-7]. One of these complications is tibial nonunion, for which the Ilizarov fixator is a widely accepted treatment method [2-28]. Surgical techniques and clinical and radiological results of this treatment have been described in numerous publications [2-28].

Delayed union or nonunion after a fracture manifests in many adverse symptoms, including pain. Such complications can lead to pathological mobility of the affected limb, limited joint movement, weakness and edema of the muscles, and in turn, worsen its functioning [2-33]. These symptoms impair the biomechanics of the limb in the case of nonunion. A good treatment outcome is characterized by the achievement of the bone union, elimination of pain and pathological limb mobility, improvement in joint mobility, and restoration of muscle strength, which in turn improve the biomechanics of the limbs [33-45].

To our knowledge, no evidence has been published regarding lower limb statics following tibial nonunion treatment using nails, plates or external fixators. Earlier work analyzed pedobarographic foot loading distribution in patients with unilateral ankylosis of the talonavicular joint, after osteotomy and after ankle arthrodesis [33-36,38].

Examinations with a pedobarographic platform deliver reproducible and objective information on the biomechanics of the lower limbs [33-38,45].

We propose 2 hypotheses: (1) patients treated with the Ilizarov method for aseptic tibial nonunion would place equal and symmetric load on both lower limbs, and (2) patients subjected to treatment with the Ilizarov external fixator due to aseptic tibial nonunion would display similar lower limb loading to healthy people.

The aim of this study was to assess the load placed on the lower limbs by patients treated with the Ilizarov method for aseptic tibial nonunion.

Material and Methods

This clinical research involved a group of 24 participants aged 26 to 82 years (average age 55 years) consisting of 17 males (aged 26 to 82 years, average age 53.59 years) and 7 females (aged 31 to 78 years, average age 54 years) with aseptic tibial nonunion treated using the Ilizarov external fixator between 2000 and 2017 (**Table 1**) [45]. In the treated group, the tibial nonunion resulted from the failure of the intramedullary nail stabilization in 7 cases, and the failure of plate stabilization in 17 cases. All patients did not undergo any other surgery to treat tibial nonunion. The Ilizarov method was the first method of treating tibial nonunion. The group of patients solely treated for aseptic tibia nonunion were assessed. Clinical (fistula, purulent content from the wound, swelling, redness, increased heat) and laboratory signs of infection (CRP tests, procalcitonin, ESR) or an open fracture were not present in any of them. Overall, 19 patients had hypertrophic nonunion (**Figure 1**) and 5 had atrophic nonunion (**Figure 2**). The nonunion was located in 2 cases in 1/3 proximal, in 7 cases in 1/3 mid, and in 15 cases in 1/3 distal of tibia. A closed technique was chosen for hypertrophic tibial nonunion. In atrophic tibial nonunion, small fragments of bone were resected and the nonunion edge was adapted. All patients had no limb shortening or had limb shortening <1 cm and did not require limb lengthening. None of the patients had residual deformity after treatment. The treatment for nonunion in the Ilizarov frame lasted 185 days on average. The control group was a group of healthy volunteers, without pathologies in the locomotor system. The control group was similar to treated group in age, weight and height. The control group was matched to the treated group in terms of sex and age and consisted of 32 people aged 34.0 to 77.7 years (average age 50.5 years) with insignificant medical history (**Table 1**) [45].

The following inclusion criteria were used: a history of surgical treatment for nonunion using the Ilizarov method, follow-up period of between 2 and 5 years from the end of treatment, consent to participate in the study, full radiological and clinical medical records covering treatment, data records from the pedobarographic examination, and no other disorders of the lower limbs. The study was approved by the bioethics committee.

Table 1. Characteristics of the participants.

	Control group (n=32)	Patients after surgery (n=24)	P
Age [years]	50.5 (34.0-77.7)	55.0 (26.5-82.5)	0.758
Height [cm]	170.0 (150.5-191.2)	172.5 (158.3-187.7)	0.297
Body mass [kg]	79.5 (56.0-99.8)	79.5 (48.0-105.2)	0.261
BMI [kg/m ²]	27.2 (21.6-36.4)	27.8 (20.5-36.4)	0.098

Data are medians and 5th-95th percentiles. BMI – body mass index.

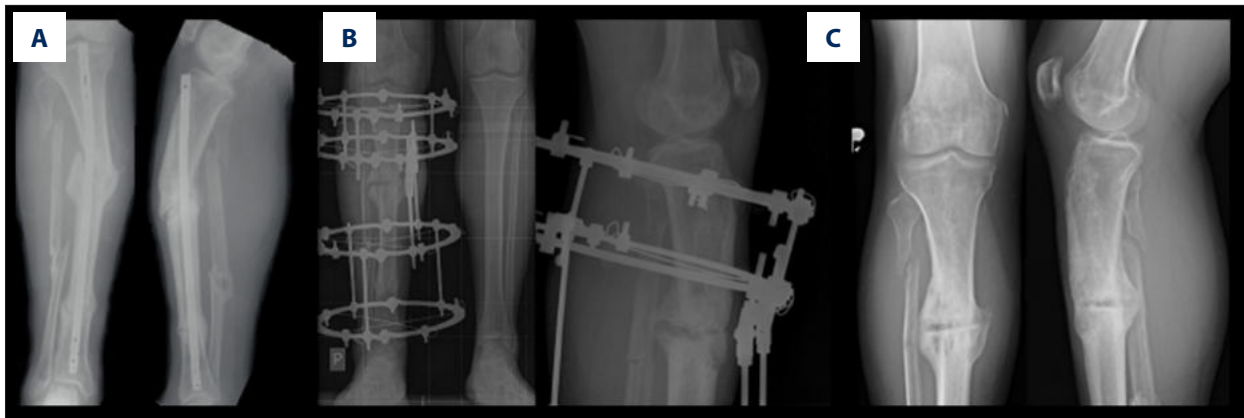


Figure 1. Radiological findings of nonunion – hypertrophic (A Patient before treatment, B Patient during the treatment process, C Patient after treatment).

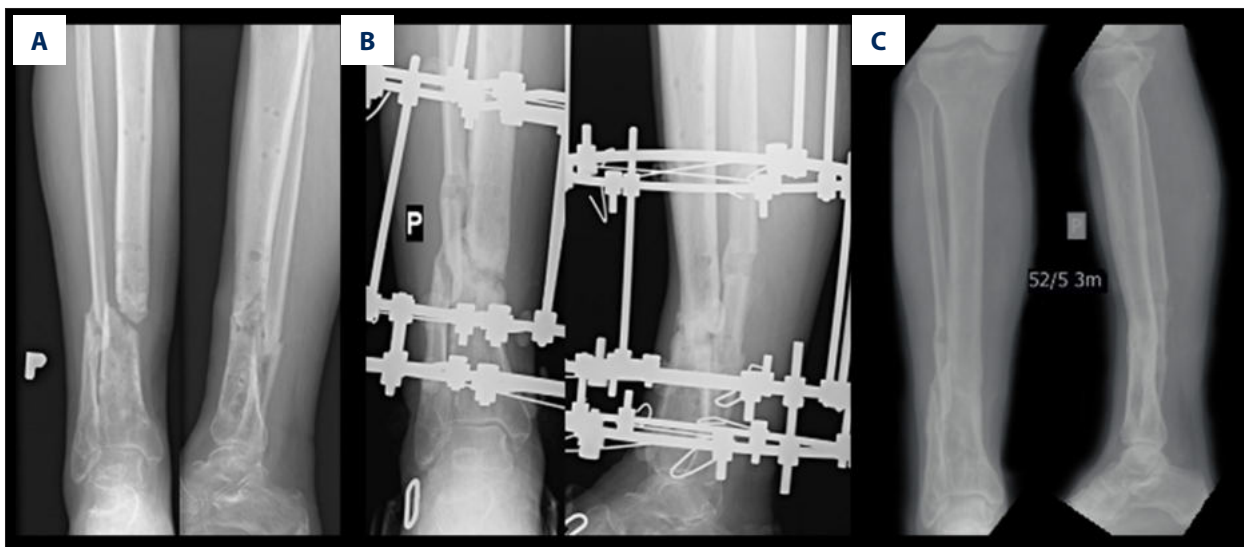


Figure 2. Radiological findings of nonunion – atrophic (A Patient before treatment, B Patient during the treatment process, C Patient after treatment).

All patients were informed about the voluntary nature of participation in the study. Patients with incomplete radiological and clinical documentation from the treatment, or results of the pedobarographic examination, and those who continued treatment at least 2 years after the control examination, were treated longer than 5 years after surgery, and had other limb injuries or deformations affecting motor activity that did not result from the previously completed Ilizarov treatment.

Table 1 presents the characteristics of the treated and control cohorts.

For the purpose of comparing the treated group with the control group, we used a comparative assessment whereby the operated limb of participants in the treated group was compared to the non-dominant limb of controls, and the healthy limb of participants in the treated group was compared to

the dominant limb of those in the control group [34-36,45]. Determination of the dominant leg in the control group was done through simple activities that involved kicking a ball to a target, doing a few jumps, and maintaining a standing position on their chosen leg.

This study used pedobarography evaluation to assess lower limb load distribution in individuals treated for aseptic tibial nonunion with the Ilizarov external fixator. A pedobarographic platform (Zebris Medical GmbH, Isny im Allgäu, Germany) (**Figure 3**) was used [45]. The pedobarographic platform measures 1580×600 mm and includes 11 264 sensors, allowing for both static and dynamic tests to be carried out. The FootPrint software, installed on a PC connected to the platform, can analyse the two- and three-dimensional distribution of ground reaction forces as well as deviations of the center of gravity of the body in dynamic (during gait) and in static conditions.



Figure 3. Subject during measurements on the pedobarographic platform manufactured by Zebris Medical GmbH.

Kinetic gait parameters were registered by sensors, saved on the PC, and then statistically analyzed [33-36,45].

The lower limb load distribution, expressed as a percentage, was assessed without shoes with eyes open and closed (**Figure 4**). At the beginning of each test, the platform was calibrated and the examined person was informed in detail about the test procedure. In the first part, the examined person stood motionless on the platform in a relaxed position with his/her feet hip-width apart. The 60-second tests were carried out with both the eyes open and closed. Each test was repeated 3 times and the results were averaged. The load distribution was expressed as a percentage between the healthy and operated limb. The distribution of loads across the entire foot, as well as the forefoot and hindfoot, were assessed [45]. Results of treated patients were compared to those of healthy controls.

Statistical analysis

Data were statistically analyzed using the SigmaPlot v13 (Systat Software Inc., San Jose, CA, USA) statistics package. The Kolmogorov-Smirnov test was used to check for normality of distribution. For comparisons of variables, the unpaired *t* test or the Mann-Whitney U test were used, depending on the type of distribution. All values were expressed as the median and the 5th and 95th percentiles. The level of statistical significance was set at $P < 0.05$.

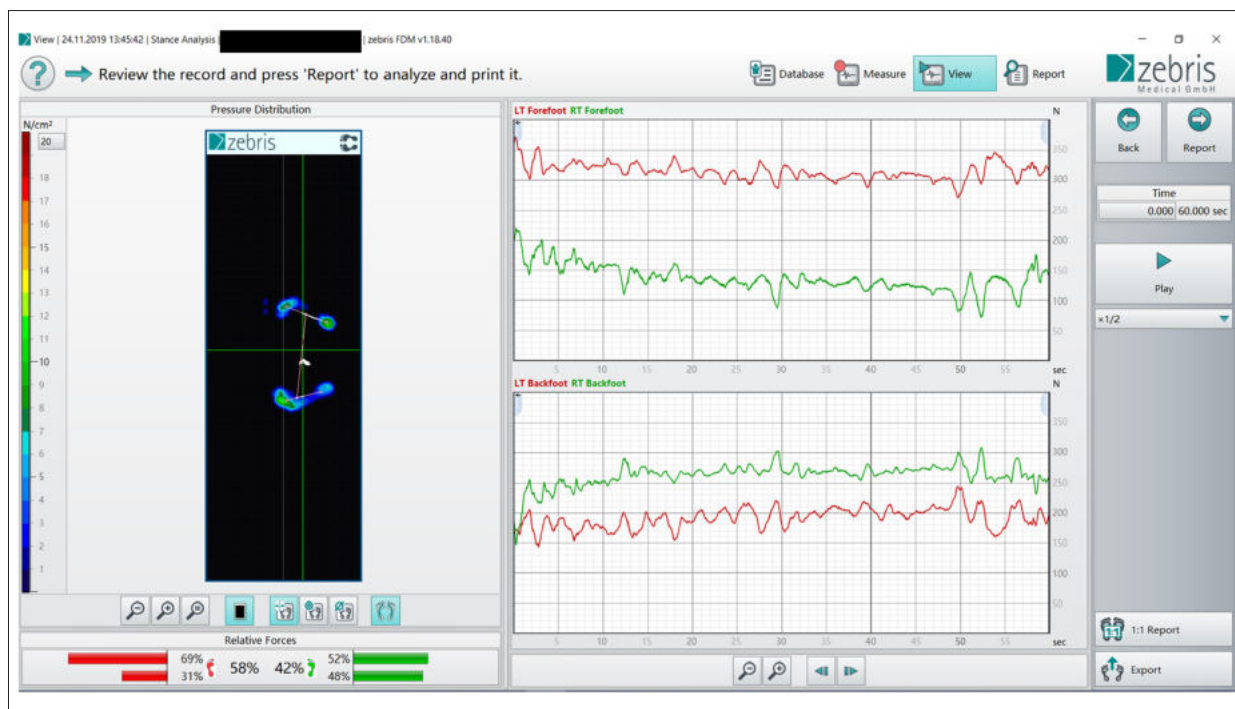


Figure 4. Distribution of load on the operated and healthy limb.

Table 2. Body weight distribution for patients after treatment with the Ilizarov method compared to the control group of healthy people.

Loads on limb	Control group (n=32)	Patients after surgery (n=24)	P
Tests performed for 60 seconds with participants' eyes open			
Operated limb [%]	48.0 (42.3-56.0)	48.5 (17.5-62.5)	0.914
Non-operated limb [%]	52.0 (44.0-57.7)	51.5 (37.5-82.5)	0.914
Forefoot OL [%]	50.0 (24.9-59.7)	50.5 (20.7-90.2)	0.715
Backfoot OL [%]	50.0 (40.3-75.0)	49.5 (8.0-79.2)	0.715
Forefoot NOL [%]	44.0 (32.0-64.4)	42.5 (13.7-70.2)	0.585
Backfoot NOL [%]	56.0 (36.6-68.0)	57.5 (29.7-86.2)	0.585
Test performed for 60 seconds with participants' eyes closed			
Operated limb [%]	49.0 (41.6-54.4)	48.5 (19.0-70.0)	0.907
Non-operated limb [%]	51.0 (45.6-58.4)	51.5 (30.0-81.0)	0.907
Forefoot OL [%]	47.0 (29.9-58.1)	57.0 (21.7-93.0)	0.072
Backfoot OL [%]	53.0 (41.9-70.1)	43.0 (7.0-78.2)	0.072
Forefoot NOL [%]	46.0 (34.0-62.7)	48.0 (12.5-80.7)	0.388
Backfoot NOL [%]	54.0 (37.3-66.0)	52.0 (19.2-87.5)	0.388

Table 3. Body weight distribution for patients after treatment with the Ilizarov method between OL and NOL vs healthy people.

Loads on limb	Control group (n=32)	Patients after surgery (n=24)
Tests performed for 60 seconds with participants' eyes open		
Operated limb [%]	48.0 (42.3-56.0)	48.5 (17.5-62.5)
Non-operated limb [%]	52.0 (44.0-57.7)	51.5 (37.5-82.5)
<i>P</i>	0.015*	0.084
Forefoot OL [%]	50.0 (24.9-59.7)	50.5 (20.7-90.2)
Forefoot NOL [%]	44.0 (32.0-64.4)	42.5 (13.7-70.2)
<i>P</i>	0.326	0.359
Backfoot OL [%]	50.0 (40.3-75.0)	49.5 (8.0-79.2)
Backfoot NOL [%]	56.0 (36.6-68.0)	57.5 (29.7-86.2)
<i>P</i>	0.326	0.359
Test performed for 60 seconds with participants' eyes closed		
Operated limb [%]	49.0 (41.6-54.4)	48.5 (19.0-70.0)
Non-operated limb [%]	51.0 (45.6-58.4)	51.5 (30.0-81.0)
<i>P</i>	<0.001*	0.170
Forefoot OL [%]	47.0 (29.9-58.1)	57.0 (21.7-93.0)
Forefoot NOL [%]	46.0 (34.0-62.7)	48.0 (12.5-80.7)
<i>P</i>	0.987	0.210
Backfoot OL [%]	53.0 (41.9-70.1)	43.0 (7.0-78.2)
Backfoot NOL [%]	54.0 (37.3-66.0)	52.0 (19.2-87.5)
<i>P</i>	0.987	0.210

Data are medians and 5th-95th percentiles. OL – operated limb; NOL – non-operated limb.

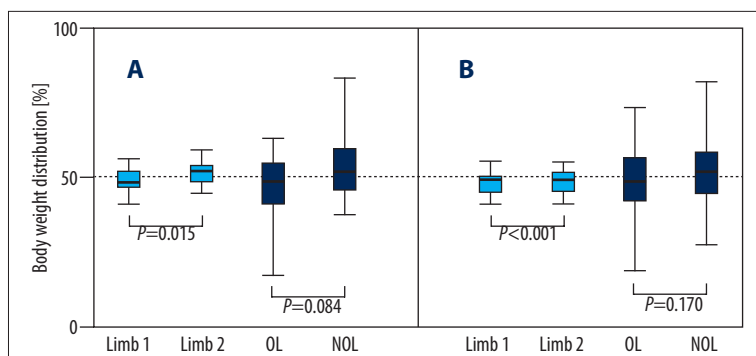


Figure 5. Body weight distribution for patients after treatment with the Ilizarov method between OL and NOL vs healthy people. The test was performed for 60 seconds with participants' eyes open (A) or closed (B). The boundary of the box closest to zero indicates the 25th percentile, a line within the box marks the median, and the boundary of the box farthest from zero indicates the 75th percentile. Whiskers (error bars) above and below the box indicate the 90th and 10th percentiles. White boxes, healthy people; filled boxes, patients. OL – operated limb; NOL – non-operated limb.

Results

We did not observe significant differences between the treated group and control group in terms of age, body weight, height, or BMI (Table 1). None of the patients during the follow-up reported knee or ankle stiffness. Five patients developed pin track infection, which resolved after administration of oral antibiotics. In 4 patients, during treatment, limitation of the ankle joint movement appeared, which disappeared after rehabilitation.

Table 2 depicts the measurements of load distribution over the entire foot and of the forefoot and hindfoot of participants from both groups. The load distribution was not significantly different over the entire foot or of the forefoot and hindfoot of the operated limb of the treated group compared to the non-dominant limb of the control group, or in the healthy, not operated, limb of the patient group compared to the dominant limb of the control group (Table 2).

Measurements comparing the load distribution in the operated and healthy limbs of the patients and the load distribution in the non-dominant and dominant limbs of the control group are shown in Table 3 and Figure 5. Results obtained with eyes closed and open for the load distribution over the entire foot and of the forefoot and hindfoot were assessed. There were no significant differences in load distribution between the operated and healthy (not operated) limbs of participants in the treated group (Table 3, Figure 5). In the control group, a significantly different load distribution of the entire foot between the non-dominant and dominant limbs was observed for open and closed eyes (Table 3, Figure 5).

Discussion

Fractures of the tibia often result in complications in the form of bone union disorders and nonunions [1-7]. The Ilizarov method is recognized as one of the best methods for treating joint nonunion [2-28], but it does not guarantee a complete recovery [12,13,16,20,21,24].

Studies from the literature reported various aspects of tibial nonunion treatment using the Ilizarov external fixator, including the surgical techniques, complications, clinical outcomes, and radiological results [2-28]. However, these studies did not focus on a very important outcome of treatment; namely, the biomechanics of the lower limbs. McHale and colleagues evaluated complicated cases, including 10 patients with tibial nonunions with debridement, antibiotic beads, and the Ilizarov method with a circular external fixator used for infected nonunions [43]. The authors tested dynamic parameters and observed impaired lower limb function due to limitations in ankle and knee joint movement and associated reductions in muscular strength in 6 persons. In the present study, we described the static parameters of the lower limb but not the dynamic ones. Our work is a part of the entire cycle of assessing the effectiveness of the Ilizarov method for biomechanics as well as statics and dynamics of patients' gait. In another paper submitted for review, we evaluated dynamic tests depicting ground reaction forces and gait parameters.

Restoration of correct biomechanical parameters is an important element in the treatment of various limb diseases [33-42,45]. Improvements in muscle strength, proprioception, joint mobility, pain, and swelling translated into an improvement in the limb functioning, enhancing the biomechanics of limbs, and, at the same time, quality of life of individuals subjected to complicated therapy. The effectiveness of the Ilizarov external fixator in treating tibial nonunion has been explored by many authors [33-42,45].

The pedobarographic platform used in our study allows for reproducible, objective evaluation of the dynamics and statics of the musculoskeletal system [33-38,45], enabling a comparison of previously published results with the outcomes of the present study.

Lorkowski and colleagues analyzed pedobarographic foot loading distribution in patients with unilateral ankylosis of the talonavicular joint. An improvement in load distribution was observed following orthopedic treatment, along with a reduction in pain [38].

A previous study by Morasiewicz and colleagues assessed the load distribution on the lower extremities in individuals after osteotomy [35,36] and ankle arthrodesis [33,34] using the Ilizarov fixators. In all cases, symmetrical loading of both lower limbs distribution was found following treatment [33-36]. After lower limb osteotomy using the Ilizarov external fixators, patients were found to place a similar load on their lower extremities to healthy people [36].

To date, no studies have assessed the load distribution on the lower limbs following the treatment of aseptic tibial nonunion. Ling and colleagues performed a systematic literature review on the results of ankle arthrodesis treatment [44]. Based on information from 24 manuscripts (18 clinical studies, 5 biomechanical studies, and 1 gait analysis study), the majority of biomechanical studies showed altered biomechanics in the fused ankle. Several studies that assessed biomechanics following ankle arthrodesis found a load distribution disorder, but there is no real consensus in the literature regarding the effect of ankle arthrodesis on biomechanics [44]. For this reason, a symmetric load distribution between the dominant and non-dominant limb can be assumed.

In our study, we performed trials with eyes open and eyes closed. Restricting the use of vision was intended to force patients to additionally activate receptors located in joints and muscles, thus using somatosensory and vestibular senses to balance. When testing with eyes closed, in many cases, we can see significantly better results of loading symmetry due to improvement of postural control elicited by enhancing proprioceptive and vestibular sensations. This is especially observable in people recovering from strokes or returning after prolonged immobilization [46,47]. In the present study, differences between the sample with eyes open and closed were not observed.

In this study, patients showed symmetrical lower limb load distribution on the non-operated and operated limbs following the Ilizarov treatment of aseptic tibial nonunion. These results were better than those observed in the control group, in which we found significant differences in load distribution between

the dominant and non-dominant limbs. Moreover, in the treated group, we recorded a symmetrical load distribution of the forefoot and hindfoot in both the healthy and operated limbs.

Comparing the lower limbs load distribution posed on the operated limb in the patient group to the non-dominant limb in the healthy (control) group, no significant differences were observed. Also, the load on the healthy limb in the patients subjected to the surgery and the load on the dominant limb in the healthy controls did not show a significant difference. When the load distributions of the forefoot and hindfoot were assessed, no significant differences were found between the operated limb and the non-dominant limb of the control group. In addition, the load distribution of the forefoot and hindfoot did not differ between the healthy (non-operated) limb of the treated group and the dominant limb of the controls.

This study has some limitations. First, lower limb load was not assessed before surgery due to the small size of the study groups that could be examined before and after the treatment. Second, patients with nonunion had difficulties with the movement of the limb before treatment, which prevented pedobarographic examination. Finally, in this study, only static parameters were assessed, but the inclusion of the dynamic data is essential for evaluating the effectiveness of the applied therapeutic method and would have made the conclusions stronger and more clinically relevant. A strength of our work was the comparative assessment with a healthy group of volunteers matched for sex and age.

Conclusions

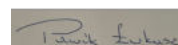
In summary, patients treated with the Ilizarov fixators for tibial aseptic nonunion show symmetrical load distribution on both lower limbs following treatment, which does not differentiate them in this respect from healthy individuals. In the patient group, we observed a symmetrical distribution of lower limb load over the entire foot surface, as well as for the forefoot and hindfoot. Finally, in the treatment of tibial nonunion, the Ilizarov method enables the restoration of correct static biomechanics of the lower limbs.

Conflict of Interest

None.

References:

- Zura R, Xiong Z, Einhorn T, et al. Epidemiology of fracture nonunion in 18 human bones. *JAMA Surg.* 2016;151:e162775
- Yin P, Ji Q, Li T, et al. A systematic review and meta-analysis of Ilizarov methods in the treatment of infected nonunion of tibia and femur. *PLoS One.* 2015;10:e0141973
- Peng J, Min L, Xiang Z, et al. Ilizarov bone transport combined with antibiotic cement spacer for infected tibial nonunion. *Int J Clin Exp Med.* 2015;8:10058-65
- Schoenleber SJ, Hutson JJ. Treatment of hypertrophic distal tibia nonunion and early malunion with callus distraction. *Foot Ankle Int.* 2015;36:400-7
- Zhang H, Xue F, Jun Xiao H. Ilizarov method in combination with autologous mesenchymal stem cells from iliac crest shows improved outcome in tibial non-union. *Saudi J Biol Sci.* 2018;25:819-25
- Meleppuram JJ, Ibrahim S. Experience in fixation of infected non-union tibia by Ilizarov technique – a retrospective study of 42 cases. *Rev Bras Ortop (English Ed).* 2017;52:670-75
- Wani NB, Syed B. Ilizarov ring fixator in the management of infected non-unions of tibia. *Sicot-J.* 2015;1:22
- Abuomira IEA, Sala F, Elbatrawy Y, et al. Distraction osteogenesis for tibial nonunion with bone loss using combined Ilizarov and Taylor spatial frames versus a conventional circular frame. *Strateg Trauma Limb Reconstr.* 2016;11:153-59
- Baruah RK. Ilizarov methodology for infected non-union of the Tibia: Classic circular transfixion wire assembly vs. hybrid assembly. *Indian J Orthop.* 2007;41:198-203
- Eralp IL, Kocaoğlu M, Dikmen G, et al. Treatment of infected nonunion of the juxta-articular region of the distal tibia. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2016;50:139-46
- Hosny G, Shawky MS. The treatment of infected non-union of the tibia by compression-distraction techniques using the Ilizarov external fixator. *Int Orthop.* 1998;22:298-302
- Khan MS, Rashid H, Umer M, et al. Salvage of infected non-union of the tibia with an Ilizarov ring fixator. *J Orthop Surg.* 2015;23:52-55
- Madhusudhan TR, Ramesh B, Manjunath K, et al. Outcomes of Ilizarov ring fixation in recalcitrant infected tibial non-unions – a prospective study. *J Trauma Manag Outcomes.* 2008;2:6
- Magadam MP, Basavaraj Yadav CM, et al. Acute compression and lengthening by the Ilizarov technique for infected nonunion of the tibia with large bone defects. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2006;14:273-79
- Sahu R, Ranjan R. Treatment of complex nonunion of the shaft of the tibia using Ilizarov technique and its functional outcome. *Niger Med J.* 2016;57:129-33
- Sanders DW, Galpin RD, Hosseini M, MacLeod MD. Morbidity resulting from the treatment of tibial nonunion with the Ilizarov frame. *Can J Surg.* 2002;45:196-200
- Shahid M, Hussain A, Bridgeman P, Bose D. Clinical outcomes of the Ilizarov method after an infected tibial non union. *Arch Trauma Res.* 2013;2:71-75
- Wang H, Wei X, Liu P, et al. Quality of life and complications at the different stages of bone transport for treatment infected nonunion of the tibia. *Med (United States).* 2017;96:e8569
- Yin P, Zhang L, Li T, et al. Infected nonunion of tibia and femur treated by bone transport. *J Orthop Surg Res.* 2015;10:49
- McNally M, Ferguson J, Kugan R, Stubbs D. Ilizarov treatment protocols in the management of infected nonunion of the tibia. *J Orthop Trauma.* 2017;31:47-54
- Drózdź M, Rak S, Bartosz P, et al. Results of the treatment of infected nonunions of the lower limbs using the Ilizarov method. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2017;19:111-26
- Yin P, Zhang Q, Mao Z, Li T, et al. The treatment of infected tibial nonunion by bone transport using the Ilizarov external fixator and a systematic review of infected tibial nonunion treated by Ilizarov methods. *Acta Orthop Belg.* 2014;80:426-35
- Xu J, Jia YC, Kang QL, Chai YM. Management of hypertrophic nonunion with failure of internal fixation by distraction osteogenesis. *Injury.* 2015;46:2030-35
- Marsh DR, Shah S, Elliott J, Kurdy N. The Ilizarov method in nonunion, malunion and infection of fractures. *J Bone Jt Surg – Ser B.* 1997;79:273-79
- Megas P, Saridis A, Kouzelis A, et al. The treatment of infected nonunion of the tibia following intramedullary nailing by the Ilizarov method. *Injury.* 2010;41:294-99
- Laursen MB, Lass P, Christensen KS. Ilizarov treatment of tibial nonunions results in 16 cases. *Acta Orthop Belg.* 2000;66:279-85
- Hosny GA, Ahmed ASAA, Hussein MAE. Clinical outcomes with the corticotomy-first technique associated with the Ilizarov method for the management of the septic long bones non-union. *Int Orthop.* 2018;42:2933-39
- Morandi M, Zembo MM, Ciotti M. Infected tibial pseudarthrosis. A 2-year follow up on patients treated by the Ilizarov technique. *Orthopedics.* 1989;12:497-508
- Chahal J, Stephen DJG, Bulmer B, Daniels T, Kreder HJ. Factors associated with outcome after subtalar arthrodesis. *J Orthop Trauma.* 2006;20:555-61
- Dalat F, Trouillet F, Fessy MH, et al. Comparison of quality of life following total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis: Retrospective study of 54 cases. *Rev Chir Orthop Traumatol.* 2014;100:542-47
- Bednarz PA, Beals TC, Manoli A. Subtalar distraction bone block fusion: An assessment of outcome. *Foot Ankle Int.* 1997;18:785-91
- Martin RRL, Irrgang JJ, Burdett RG, et al. Evidence of validity for the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM). *Foot Ankle Int.* 2005;26:968-83
- Morasiewicz P, Konieczny G, Dejneka M, et al. Assessment of the distribution of load on the lower limbs and balance before and after ankle arthrodesis with the Ilizarov method. *Sci Rep.* 2018;8:15693
- Morasiewicz P, Konieczny G, Dejneka M, et al. Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation. *Biomed Eng Online.* 2018;17:174
- Morasiewicz P, Urbański W, Kulej M, et al. Balance and lower limb loads distribution after Ilizarov corticotomy. *Injury.* 2018;49:860-65
- Morasiewicz P, Dragan S, Dragan St, et al. Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after Ilizarov corticotomies. *Clin Biomech.* 2016;31:2-6
- Rongies W, Ba k A, Lazar A, Dolecki W, et al. A trial of the use of pedobarography in the assessment of the effectiveness of rehabilitation in patients with coxarthrosis. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2009;11:242-52
- Lorkowski J, Trybus M, Hładki W, Brongel L. Underfoot pressure distribution of a patient with unilateral ankylosis of talonavicular joint during rheumatoid arthritis – case report. *Przegl Lek.* 2008;65:54-56
- Veilleux LN, Robert M, Ballaz L, et al. Gait analysis using a force-measuring gangway: Intrasession repeatability in healthy adults. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2011;11:27-33
- Majewski M, Bischoff-Ferrari HA, Grüneberg C, et al. Improvements in balance after total hip replacement. *J Bone Jt Surg – Ser B.* 2005;87:1337-43
- Radler C, Kranzl A, Manner HM, et al. Torsional profile versus gait analysis: Consistency between the anatomic torsion and the resulting gait pattern in patients with rotational malalignment of the lower extremity. *Gait Posture.* 2010;32:405-10
- Bhave A, Paley D, Herzenberg JE. Improvement in gait parameters after lengthening for the treatment of limb-length discrepancy. *J Bone Jt Surg – Ser A.* 1999;81:529-34
- McHale KA, Ross AE. Treatment of infected tibial nonunions with debridement, antibiotic beads, and the Ilizarov method. *Mil Med.* 2004;169:728-34
- Ling JS, Smyth NA, Fraser EJ, et al. Investigating the relationship between ankle arthrodesis and adjacent-joint arthritis in the hindfoot: a systematic review. *J Bone Jt Surg – Am Vol.* 2015;97:513-19
- Pajchert-Kozłowska A, Pawik Ł, Szelerski Ł, et al. Assessment of body balance of patients treated with the Ilizarov method for tibial nonunion. *Acta Bioeng Biomech.* 2020;22:131-37
- Kim Y, Moon S. Effects of treadmill training with the eyes closed on gait and balance ability of chronic stroke patients. *J Phys Ther Sci.* 2015;27:2935-38
- Moon S, Kim Y. Effect of blocked vision treadmill training on knee joint proprioception of patients with chronic stroke. *J Phys Ther Sci.* 2015;27:897-900

Signed by /
Podpisano przez:Łukasz Michał
PawikDate / Data:
2023-09-22 12:41

RESEARCH ARTICLE

Open Access



Assessment of the quality of life in patients with varying degrees of equalization of lower limb length discrepancy treated with Ilizarov method

Łukasz Pawik^{1*} , Malwina Pawik², Zdzisława Wrzosek¹, Felicja Fink-Lwow² and Piotr Morasiewicz^{3,4}

Abstract

Background: Inequalities in leg length result in functional disorders, as they impair the biomechanics of the musculoskeletal system, significantly reducing the quality of life (QoL). This study used the WHOQoL-BREF questionnaire in patients with varying degrees of lower leg shortness who had undergone treatment by the Ilizarov method, compared to a healthy control group.

Methods: Fifty-eight patients treated with the Ilizarov method for discrepancies in lower limb length were grouped by degree of limb equalization (group 1, 37 treated individuals with limb length discrepancy < 1 cm; group 2, 21 individuals with discrepancy ≥ 1 cm but not more than 4 cm). The control group 3 contained 61 healthy individuals. Patient quality of life (QoL) was assessed using a shortened version of the WHOQoL-BREF questionnaire, at least 24 months after the end of Ilizarov therapy.

Results: Control subjects obtained higher scores in all domains than subjects in both treatment groups, as well as significantly higher self-assessed QoL, and health, in the physical, psychological, social, and general lifestyle domains, as compared to those with inequalities ≥ 1 cm. Furthermore, patients with inequalities ≥ 1 cm had higher odds ratios of low self-assessment (3.28 times; $p = 0.043$), low self-assessment of health (4.09 times; $p = 0.047$), and low physical and psychological domains (respectively 6.23 times; $p = 0.005$ and 8.46 times, $p = 0.049$) compared with patients with inequality < 1 cm. The shortened version of the WHOQoL questionnaire was used.

Conclusions: After at least 24 months of treatment with the Ilizarov method, patients with limb length discrepancy < 1 cm did not differ significantly from healthy individuals in the WHOQoL self-assessment of mental functioning, social, or life satisfaction.

Keywords: Ilizarov method, Quality of life (QoL), Limb length discrepancy (LLD)

* Correspondence: lukaszpawik@gmail.com

¹Department of Physiotherapy of Motor Disorders and Dysfunctions, University School of Physical Education, al. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, Poland

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2021 **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

Background

Limb length inequality is a relatively common impairment and poses a significant challenge for contemporary orthopedics and biomechanics. If the pathology affects upper extremities, it has only a cosmetic aspect; however, in the case of asymmetry of the lower limb (LL), it is also a functional problem, impairing the functioning of the limb and the biomechanics of the musculoskeletal system, and significantly reducing the quality of life (QoL) of affected patients [1–9].

In the case of LL inequality greater than 2.5 cm, the preferred choice for limb equalization is a lengthening of the shorter limb using the Ilizarov method. This method of treatment, with its optional correction of coexisting axial deformations, is one of only two ways of correcting moderate to severe limb-length discrepancies, apart from stimulating epiphyseal plate activity [3, 4, 10, 11].

The main reason for surgery is to improve limb functioning and to eliminate the consequences of this pathology in the musculoskeletal system. Correct balance and the ability to walk without pain allow proper functioning and physical activity and thus significantly improve the QoL of patients [12–17].

Orthopedic surgery aiming to eliminate limb-length discrepancies does not succeed in all patients: some experience a reduction in joint mobility as a result of equalization. Blood supply disorders or neurological disorders may also occur. Both of those conditions are indications to urgently discontinue, or even to partial retract, equalization in order to avoid complications. If there are comorbidities such as paresis or a significant restriction of mobility at the hip or knee joints, it is advisable to leave a limb length discrepancy of 1–3 cm in order to achieve proper limb function. Full limb-length equalization in such cases can disturb the biomechanics and hamper the compensating functions of the musculoskeletal system. If this happens, the functioning of the equalized limb, and as a result the patients' QoL, may prove unsatisfactory.

The literature contains reports where the patient's pain or subjective satisfaction with the treatment are evaluated [18–23]. However, these studies examine the patients' satisfaction immediately after removing the apparatus, and they also fail to specify how the degree of limb-length equalization—or the lack thereof—affects the QoL of patients in the long term.

In our opinion, such analysis is justified: clinical experience shows that, following comprehensive treatment where the physician believes that the limb length correction has succeeded, the QoL of patients still often appears to be unsatisfactory.

The aim of this study was to assess the QoL of patients with varying degrees of equalization of limb length discrepancy, within the shank area, at least after 24

months treatment with the Ilizarov method, and to compare this to the control healthy group of individuals with equal LL length.

Methods

The study was approved by the local bioethics commission (case no. KB-585/2011). All subjects gave their informed consent to participate in the study and to answer the questionnaire. The study was conducted in accordance with the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki) for experiments involving humans. The study was retrospective. It was conducted between 2012 and 2018. In order to achieve research objectives, 119 people were included.

The patient group contained 25 women and 33 men aged 22.3 ± 2.21 , with a (5–95) median BMI value of 24.29 kg/m^2 (range $20.54\text{--}28.03 \text{ kg/m}^2$), who were treated with the Ilizarov method due to LL length discrepancy in the lower leg. Two subgroups were distinguished on the basis of on the degree of limb equalization. The number of months after surgery did not differ significantly between the two groups of patients, at 40.11 ± 12.2 months vs. 42.0 ± 11.2 months ($P = 0.106$).

All patients underwent equalization of a lower limb due to a length discrepancy of over 2.5 cm, or over 1 cm, with concomitant deformation requiring surgical correction. All the patients had isolated shortness of the tibia.

The Ilizarov fixator used in the study consisted of 3 rings assembled on the shank with Kirschner wires with a diameter of 1.8 mm. After fitting the stabilizer, the tibia and fibula were drilled radially at the proximal epiphysis, and corticotomy was carried out through the 1–2-cm skin incision. The lengthening was halted and equalization not performed in patients with complications (limitations in joint mobility, neurological disorders, or vascular disorders) and in those who, apart from limb shortness, were also diagnosed with a primary limitation of joint mobility of the limb or other concomitant pathologies (such as muscle weakness, instability) before treatment.

Bone grafting was performed in each of the patients. The intensity of pain was not assessed during the present study.

The healthy control group consisted of 61 people of both sexes with no inequality, functional disorder, or pain in the lower extremities. The control group and the study groups did not differ statistically significantly in body height, gender, or BMI. The control group consisted of adults referred by a physician or orthopedist as otherwise healthy patients without any dysfunctions within the osteoarticular system. All subjects gave their informed consent to participate in the study. An ortho-röntgenogram was used to measure the limb length.

Group 1 consisted of 37 subjects (16 women, 21 men) who had undergone surgery, whose limb length difference was less than 1 cm and who had not been subjected to further correction, because it fell within physiological asymmetry. The differences in LL before and after Ilizarov treatment in group 1 was 20 mm (range 8.8–37.9 mm) vs. 0 mm (range 0–5.2 mm) ($p < 0.001$).

Group 2 consisted of 21 subjects (9 women, 12 men) who had undergone surgery and whose remaining limb length deficit 1 cm or more, but less than 4 cm. Such length deficits of 1–4 cm remained due to complications (joint mobility limitation, neurological disorders, vascular disorders) that prevented the full equalization of the limb. In some patients in group 2, in the doctor's opinion, the shortness did not require correction, as the inequality was well within the range of compensation. In such patients, apart from shortness, primary limitations like joint mobility of the limb or other concomitant pathologies (such as muscle weakness or instability) were diagnosed before treatment and were considered as indications for leaving a residual shortness of 1–3 cm. The differences in LL before and after Ilizarov treatment in group 2 was 38 mm (23.0–48.7 mm) vs. 13.0 mm (11.0–18.0 mm) ($p < 0.001$).

Group 3, the control group, consisted of 61 healthy individuals (29 women, 32 men; aged 21.9 ± 1.9), in whom there was no dysfunction or pain in their medical history, and there was no LL length inequality.

The inclusion criteria were that they had given their informed consent to participate; that their full medical and radiological records were available; that they had completed treatment with the Ilizarov method in the shank area; that their limb length deficit after Ilizarov treatment was less than 4 cm; that they had no limb axis disorders that required further correction; and that they had undergone an observation period of at least 6 months. Qualification to the study was based on an analysis of medical records, physical examination, and computed radiography carried out in the standing position (Fig. 1). This method is considered one of the best options for measuring LL length; it has a maximum error of 2 mm. It is safe and recommended by many researchers as a method that allows the patient's LLs to be assessed even more comprehensively [24–26].

The program enabled the researchers to work and to measure the length of the lower extremities, setting a line from the highest point of the femoral head to the point located at the mid-width of the articular surface of the distal epiphysis of the tibia.

Patient QoL was assessed out using the World Health Organization Quality of Life Test-BREF (WHOQoL-BREF) questionnaire. This universal research tool is used for subjective assessment of QoL in healthy individuals, in people with ailing health, and in those undergoing

various treatments [27]. The short version of the questionnaire includes 26 questions on four main areas:

- Physical functioning: assessment of the activities of daily living, mobility, pain, ability to work, rest, sleep, fatigue and energy levels, and reliance on treatment or pharmacotherapy
- Mental functioning: assessment of positive and negative emotions, visual appearance, spirituality, faith and religion, and the ability to concentrate and learn
- Social relations: assessment of social and personal relationships and sexual activity
- General lifestyle: assessment of satisfaction with life, work, home environment, financial resources, freedom, recreation, physical and mental state, and the immediate environment [28]

Two additional questions in the questionnaire concerned the assessment of overall QoL and self-assessment of health [26]. Subjects responded to 26 questions, choosing one of five ranked responses. The higher the numerical result of the overall assessment of life quality, self-assessment of health, and individual aspects of life, the more favorable the self-assessment was in respect to particular domains of the QoL.

Statistical analysis

The data were analyzed using the SigmaPlot statistics package, version 13 (Systat Software, London, UK). The continuous variables were first analyzed for normal distribution using the Kolmogorov–Smirnov test with the Lilliefors correction test. All values are expressed as means \pm standard deviations (SDs) or as medians with 95% confidence intervals (Cis). Not all data passed the normality test, so the significance of the differences between two groups were analyzed using the Mann–Whitney U test. The significance of differences between three groups was tested using the Kruskal–Wallis one-way analysis of variance on ranks (ANOVA on ranks).

As groups of patients varied in size, all pairwise multiple comparisons were performed using Dunn's method. Spearman correlation analysis was used to test an association between QoL and months since surgery or limb length inequality by sex. Multiple logistic regression was employed to estimate the risk of a reduction in QoL as reported by the WHOQoL-BREF questionnaire associated with limb length inequality level (LL < 1 cm vs. LL \geq 1 cm), overweight (BMI < 25 kg/m² vs BMI \geq 25 kg/m²), and sex. To estimate the odds ratios, the data were transformed into dummy variables using reference coding. The details of the coding are shown in the legend of Table 3. A P value < 0.05 was considered statistically significant.



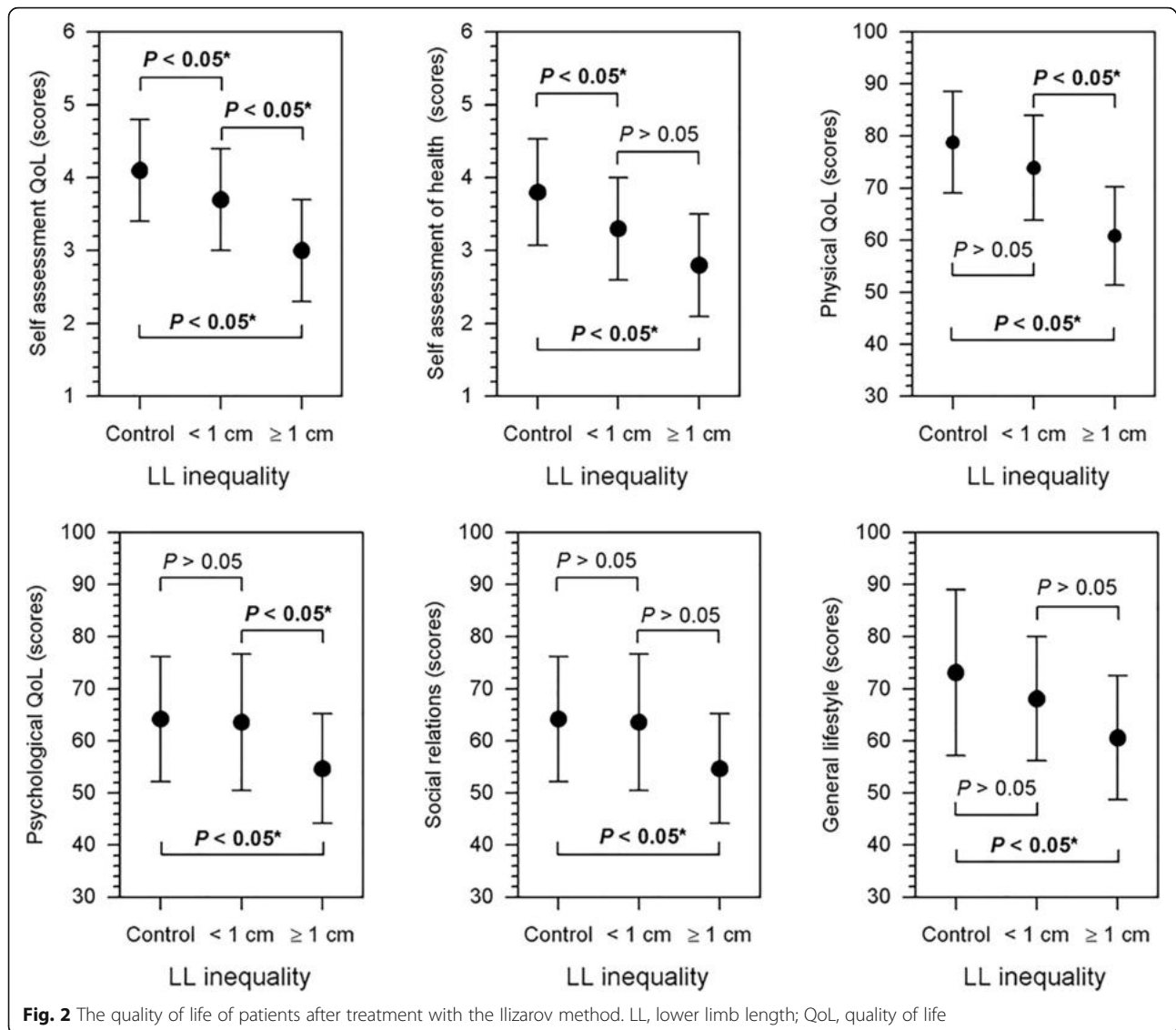
Fig. 1 Computed radiography in a standing position. **a** Patient before treatment. **b** Patient during the treatment process. **c** Patient after treatment

Results

Limb-length discrepancy prior to surgery statistically significantly differentiated both patient groups. In patients of group 1, who had post-treatment limb length inequalities of up to 1 cm, the difference was 20.95 ± 10.61 mm, while in group 2 (patients with LL shortness ≥ 1 cm), this was 36.81 ± 7.46 mm ($p < 0.001$). The mean values for LL shortness also differed significantly between group 1 and group 2 after Ilizarov treatment ($p < 0.001$), at 1.11 ± 1.03 mm vs. 13.86 ± 2.33 mm. In both groups, the percentage of patients with pin site infection was similar, amounting to about 30%. The average axis correction in both groups was also similar at 12° . A comparison of assessment scores of QoL domains between the two patient groups and controls is shown on Fig. 2.

Figure 2 shows a comparison of WHOQoL-BREF scores for individual QoL domains between the three groups: the two patient groups (with inequalities in LL <

1 cm and LL ≥ 1 cm) and the controls. Those in the control group scored highest for individual perception of QoL, overall perception of their health, and all four QoL domains (physical, psychological, social relations, and general lifestyle). The more points scored (and the higher the mean) in a given area, the better the QoL, and subjects in the control group obtained the highest scores in all domains. A similar trend was seen when comparing the two patient groups, where higher QoL in all components was seen for individuals with a smaller discrepancy (LL < 1 cm) (Fig. 2). In summary, the control subjects scored highest in all domains, but scored statistically significantly higher than both treatment groups for self-assessment QoL and assessment of health, and higher than treatment group 2 in the physical, psychological, social, and general lifestyle domains ($p < 0.05$) (Fig. 2). Comparison of groups 1 and 2 demonstrated significantly higher QoL in the self-assessment, physical, and psychological domains in patients with LLD < 1 cm.



This means that patients who had unequal LLD < 1 cm after Ilizarov treatment assessed their mental and social functioning, as well as their satisfaction with life, work, and their physical and mental state in a similar way to those who did not exhibit any LL length discrepancies or dysfunctions (the healthy individuals). It is worth noting that, in the questions concerning QoL and health, the treatment groups did not attain the mean scores scored by the healthy control subjects. The statistically significant mean score values vary not only in relation to the control group, but also between the treatment groups. This demonstrates that, after LL equalization, even when only a slight limb length discrepancy remains (< 1 cm), subjects assess their QoL and their health less favorably than those in the control group.

The associations between domains of QoL by WHOQoL-BREF and time after surgery are shown in Table 1.

We observed significantly positive associations in physical and general lifestyle domains but only in patients with LL ≥ 1 cm ($P < 0.029$; $P < 0.010$ respectively). We did not observe any significant associations in patients with shorter differences. This shows that people without fully equalized LLDs only report improvement in these two domains of QoL in the long-term after Ilizarov treatment. The associations between LL and QoL in patient groups by sex are presented in Table 2. We observed significantly negative associations between LL and QoL for all domains, independent of sex.

Table 3 presents a logistic regression analysis, where the odds ratios (ORs) of reduced QoL are assessed by

Table 1 Spearman rank correlation coefficients for the association between domains of QoL and time after surgery [months] in the two patient groups differing in lower limb length inequality

QoL domain	LL shortness < 1 cm (N = 37)		LL shortness ≥ 1 cm (N = 21)	
	r	P	r	P
Self-assessment of QoL	0.079	0.640	0.382	0.086
Self-assessment of health	0.060	0.722	0.351	0.117
Physical	0.159	0.344	0.476	0.029*
Psychological	− 0.006	0.973	0.353	0.114
Social relations	0.252	0.131	0.409	0.0645
General lifestyle	0.059	0.728	0.552	0.010*

LL lower limb length, QoL quality of life, r correlation coefficient, P statistical significance

*indicates statistically significant increased odds ratio

greater inequality level (LL), overweight, and sex. Patients with inequality LLD ≥ 1 presented higher odds ratios of low self-assessment of QoL (3.28 times; $p = 0.043$), low self-assessment of health (4.09 times; $p = 0.047$), and low physical and psychological domains (respectively 6.23 times; $p = 0.005$ and 8.46 times, $p = 0.049$) than patients with inequality LLD < 1, after more than 24 months (meantime forty) of Ilizarov treatment (Table 3). We did not find a significant link between sex and any domain of QoL. Furthermore, we observed a significantly higher odds ratio of reduced self-assessment of quality of life in overweight patients than in those with normal BMI (3.05 times, $p = 0.05$). When we take into account patients with both LLD ≥ 1 cm and overweight, there is a significant relationship with the self-assessment of quality of life and physical domain. This means that LLD ≥ 1 and BMI ≥ 25 kg/m² reduced the self-assessment of quality of life by a factor of 4.4 ($p = 0.039$); and in the physical domain by 7.2 ($p = 0.016$).

Discussion

Among those individuals treated for LL length discrepancy with the Ilizarov method, there is a belief that the restoration of anatomical limb length and axis is

equivalent to the restoration of its function, which thus has an indirect effect on QoL. Most authors who have looked at functional outcomes of locomotor limb-length equalization point to the improvements in QoL in the four domains, and to the increments in self-assessment scores of QoL and health in all treated patients [9, 18, 19, 29, 30]. In the present study, however, we demonstrated that the mean QoL scores in particular areas in the two groups treated with the Ilizarov method are lower than in healthy individuals. We could not, however, establish statistically significant differences in the case of psychological, general lifestyle, or social functioning of people with limb shortness less than 1 cm, as compared to the control group, after more than 24 months (meantime forty month) of treatment with the Ilizarov method. Many authors have performed subjective assessments of health and QoL in patients following treatment with the Ilizarov method.

Prevalence of pain, subjective satisfaction with results, and appearance of the limb after Ilizarov treatment were described [18–23]. All studies, similarly to us, reported improvements in various aspects of QoL after treatment. However, most other studies only examined patients immediately after dismantling the Ilizarov apparatus. Little research has examined how the degree of limb-length equalization influenced the QoL in the long term after the surgical intervention. In our research, the mean time from the period of surgery was 40.11 months for the group with an LL shortness of less than 1 cm and 42.05 months for the group with an LL shortness of 1 cm or more. This is a sufficient period of time for patients to rationally evaluate the effects of their treatment and to assess the improvements to particular domains of their QoL.

In the study of Ramaker et al. on a group of 26 patients treated with the distraction osteogenesis method, no effect on QoL was observed as a result of the LL inequality remaining after treatment, as examined by a Dutch questionnaire on mental health and depression in children. QoL was nonetheless evaluated 16–67 months after the first surgery [22]. Different conclusions were

Table 2 Spearman rank correlation coefficients for the association between domains of QoL and lower limb length inequality (LL) in patient groups, by sex

QoL domain	Women N = 25		Men N = 33	
	r	P	r	P
Self-assessment of QoL	− 0.440	0.027*	− 0.568	< 0.001*
Self-assessment of health	− 0.598	0.002*	− 0.497	0.003*
Physical	− 0.613	0.001*	− 0.647	< 0.001*
Psychological	− 0.512	0.009*	− 0.592	< 0.001*
Social relations	− 0.489	0.013*	− 0.481	0.005*
General lifestyle	− 0.550	0.005*	− 0.439	0.011*

QoL quality of life, r correlation coefficient, P statistical significance

*indicates statistically significant increased odds ratio

Table 3 Odds ratios for reduced quality of life as estimated by WHOQoL-BREF in patients with different grades of limb length inequality who underwent Ilizarov treatment

	Odds ratios (95% CI), <i>p</i>	
	Self-assessment of quality of life (scores < 4)	Self-assessment of health (scores < 4)
Limb length inequality (≥ 1 cm)	3.28 (1.04–10.35) 0.043^a	4.09 (1.02–16.38) 0.047^a
Sex	0.68 (0.24–1.93) 0.470	0.67 (0.22–2.04) 0.478
Overweight ^b (BMI ≥ 25 kg/m ²)	3.05 (1.00–9.27) 0.050^a	3.17 (0.89–11.30) 0.076
Limb inequality ≥ 1 cm + overweight	4.40 (1.08–7.98) 0.039^a	8.18 (0.18–68.4) 0.052
	Physical domain (scores < 75)	Psychological domain (scores < 75)
Limb length inequality (≥ 1 cm)	6.23 (1.75–22.23) 0.005^a	8.46 (1.00–71.10) 0.049^a
Sex	1.06 (0.37–3.02) 0.912	1.08 (0.30–3.90) 0.910
Overweight ^b (BMI ≥ 25 kg/m ²)	1.47 (0.51–4.27) 0.480	2.31 (0.55–9.65) 0.252
Limb inequality ≥ 1 cm + overweight	7.20 (1.44–36.03) 0.016^a	4.33 (0.51–37.03) 0.180
	Social relations (scores < 75)	General lifestyle (scores < 75)
Limb length inequality (≥ 1 cm)	2.59 (0.72–9.27) 0.144	0.96 (0.30–3.10) 0.951
Sex	1.29 (0.41–4.00) 0.664	1.10 (0.59–2.05) 0.760
Overweight ^b (BMI ≥ 25 kg/m ²)	1.48 (0.46–4.73) 0.510	1.13 (0.35–3.71) 0.836
Limb inequality ≥ 1 cm + overweight	1.90 (0.46–7.85) 0.377	2.80 (0.55–14.23) 0.215

Reference coding: limb length inequality ≥ 1 cm, 1; sex: female, 1; overweight, 1
CI confidence intervals

^aBold typeface indicates statistically significant increased odds ratio

^bNone of the treated patients was obese

reached by Vitale et al., who studied a group of 76 people with LL length asymmetry [17]. The aim of their study was to determine the effects of equalization of limb length discrepancy on the QoL of patients using the Child Health Questionnaire. In line with their expectations, patients with a limb shortness of up to 2 cm had far better results for QoL, especially in the psychosocial domain, than did patients in the group with length asymmetry over 2 cm. In explaining these results, the authors concluded that it resulted from different levels of self-esteem. Individuals with locomotive limb length shortness greater than 2 cm often face limitations in their daily lives, which principally relate to physical activity.

Similar conclusions were reached by Moraal et al., who examined the long-term results of treating patients with the Ilizarov method [29]. Assessing a group of 37 patients before surgery and for an average period of 7 years after surgery, they found improvements in their health and in their everyday life functioning. In patients where unequal LL length remained and was greater than 2 cm, lower scores were observed, particularly in the areas of pain, sleep disorders, and psychosocial functioning and relations. Limb shortness greater than 2 cm was found to significantly lower the QoL of patients treated with Ilizarov method.

In our study, the mean scores for particular QoL domains were higher in patients with a limb shortness of up to 1 cm than in those with an unequal limb length

greater than 1 cm. This means that the equalization of limb length discrepancy has a significant effect on the QoL of patients treated with the Ilizarov method. Comparing the individual QoL domains, it was found that patients whose limb length discrepancy after correction was less than 1 cm assessed their mental and social functioning and life satisfaction in a similar way to people who had never had an inequality or LL dysfunction. We can thus assume that equalization of LL brings not only improvements to limb functioning, but also to psychosocial and general aspects of lifestyle.

It is also worth noting that the only exception was patients' subjective assessment of QoL and health. In this case, all patients treated with the distraction osteogenesis method had lower scores than those in the control group.

QoL has a multifactorial ground. In our work, we take into account not only the LL inequality but also overweight. A study of a few European countries has shown an association between the level of obesity and individual quality of life, mainly related to the concomitant reduction in physical and mental well-being [31]. In our work, overweight significantly reduced self-assessed QoL by a factor of over 3 for overweight patient, compared to normal BMI (body mass index). We found that greater inequality and additional overweight were associated with lower QoL, particularly in the self-assessment quality of life and physical domains. Other researchers noted that congenital LL length discrepancy and greater

difference in limb length contributed to greater number of complications and longer healing process [32]. Both those factors in addition to obesity may reduce QoL as well. The result from our study and data from the literature can serve as a basis for promoting the maintenance of proper BMI in such people through a health-promoting lifestyle, particularly one including regular physical activity. We might suspect that patients with a low level of physical activity as a result of the dysfunction and of the limitations they have experience in developing health-promoting behaviors related to physically active leisure time, prior to the elimination of LLD. Regular leisure-time physical activity tailored to each patient is a beneficial factor for somatic health and prevents lifestyle diseases [33], and also improves QoL [34, 35].

Summarizing our results, we concluded that treatment using the Ilizarov apparatus is complex and does not always give full equalization of limb length. Despite improvements in surgical techniques, the external fixators, and the individualized rehabilitations, the negative impact of being left with a locomotor limb length shortness of more than 1 cm after surgery evidently affects the assessment of QoL. Despite the fact that, such result is satisfactory from a medical point of view, it should be noted that such asymmetry of limb length significantly affects the QoL of patients, particularly with regard to mental functioning and social relationships. This fact speaks to the need for therapy and treatment of the patient as a whole.

When assessing and analyzing the QoL of patients in each treatment group, it should be stated that any remaining discrepancy should be less than 1 cm. This makes it possible to minimize the risk of complications and, over the longer term, to normalize the individual domains of patients' QoL.

This research was planned and executed as a retrospective study. We envisage that future research will consider the situation before and after the lengthening of the shorter extremity with the Ilizarov method. This would allow us to more accurately determine the impact of limb-length equalization on individual QoL domains of patients treated with the Ilizarov apparatus. Our results here should be treated as preliminary, given the small size of the group. We wish to stress that reaching a wider group of subjects within a period that is some distance in time from end treatment is difficult, due to the limited participation of patients and small number of patients treated with the Ilizarov method. On the other hand, the study group was ethnically and culturally homogeneous, eliminating the additional factors that might affect QoL.

Limitations

This study has several limitations. Possible errors in limb length measurement may have occurred during

radiological evaluation of the patients, especially when measuring inequalities below 1 cm (the measurement error was 2 mm). Patient groups were also relatively small, and the intensity of pain and the range of joint movement were not evaluated. Furthermore, due to the specific nature of the treatment, patients were not randomly assigned to the study groups, and the researchers were not blinded. However, as the conclusions of the study were interesting, so we plan to address the limitations in our future research by evaluating QoL in a larger group of patients and considering the intensity of pain and range of joint motion.

Conclusions

1. Patients with limb length discrepancies below 1 cm, after meantime 40 months of Ilizarov treatment, did not differ significantly from healthy individuals in the WHO-QoL self-assessment of mental functioning, social, or life satisfaction.
2. Higher grades of inequality were associated with lower QoL, particularly in the domains of low self-assessment, self-assessment of health, or physical and psychological domains in patients treated with the Ilizarov method.

Abbreviations

BMI: Body mass index; LL: Lower limb; QoL: Quality of life; WHOQoL-BREF: World Health Organization Quality of Life Test short version

Acknowledgements

Not applicable.

Authors' contributions

ŁP, MP, ZW, FFL, and PM conceived and designed the experiment. ŁP, PM, and FFL performed the experiment. ŁP, PM, FFL, and MP analyzed and interpreted the data. ŁP and FFL supervised the study and provided administrative support. ŁP, MP, ZW, FFL, and PM wrote the paper. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

No funding was received for this study.

Availability of data and materials

The datasets used and analyzed in this study are available from the corresponding author on reasonable request.

Ethics approval and consent to participate

The study was approved by the local bioethics commission (case no. KB-585/2011). All subjects gave their informed consent to participate in the study and to answer the questionnaire. The study was conducted in accordance with the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki) for experiments involving humans.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Author details

¹Department of Physiotherapy of Motor Disorders and Dysfunctions, University School of Physical Education, al. Paderewskiego 35, 51-612

Wrocław, Poland. ²Health Promotion, Faculty of Physiotherapy, University School of Physical Education, Wrocław, Poland. ³Department of Orthopaedic and Trauma Surgery, University Hospital in Opole, Institute of Medical Sciences, University of Opole, Opole, Poland. ⁴Department and Clinic of Orthopedic and Traumatological Surgery, Wrocław Medical University, Wrocław, Poland.

Received: 13 September 2020 Accepted: 4 January 2021

Published online: 19 January 2021

References

- Alagha D, Gotia D. Anatomical and biomechanical considerations in axial deviations of lower limb. *J Pediatr*. 2009;12(45):3–6.
- Altinel L, Kose KC, Aksoy Y, Isik C, Ergun V, Ozdemir A. Hip rotation degrees, intoeing problem, and sitting habits in nursery school children: an analysis of 1,134 cases. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2007;41(3):190–4.
- Morasiewicz P, Filipiak J, Krysztowski K, Dragan S. Clinical factors affecting lower limb torsional deformities treatment with the Ilizarov method. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2014;100(6):631–6.
- Nakase T, Kitano M, Kawai H, et al. Distraction osteogenesis for correction of three-dimensional deformities with shortening of lower limbs by Taylor Spatial Frame. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2009;129(9):1197–201.
- Panjavi B, Mortazavi J. Rotational deformities of the lower limb in children. *Iran J Pediatr*. 2007;17:393–7.
- Piper K, Chia M, Graham E. Correcting rotational deformity following femoral nailing. *Injury*. 2009;40(6):660–2.
- Probe R. Correction of lower extremity angular malunion. *Oper Tech Orthop*. 2003;13(120):129.
- Staheli LT. Rotational problems in children. *Instr Course Lect*. 1994;43:199–209.
- Wrzosek Z, Pawik Ł. Psycho-physical aspects of treating unequal length in lower limbs. *Pol Manual Med*. 2009;8:32–6.
- Bor N, Rubin G, Rozen N. Ilizarov method for gradual deformity correction. *Oper Tech Orthop*. 2011;21:1004–12.
- Morasiewicz P, Morasiewicz L, Stepniowski M, et al. Results and biomechanical consideration of treatment of congenital lower limb shortening and deformity using the Ilizarov method. *Acta Bioeng Biomech*. 2014;16(1):133–40.
- Dolganov D, Makushin K, Kufyrev L. Restoration of loading in patient's lower limb during reconstructive-restorative treatment of femoral and tibial defects after Ilizarov. *Ortop Travnmatol Profitez*. 1986;38:8–96.
- Knutson GA. Anatomic and functional leg-length inequality: a review and recommendation for clinical decision-making. Part I, anatomic leg-length inequality: prevalence, magnitude, effects and clinical significance. *Chiropr Osteopat*. 2005;13:11.
- Morasiewicz M, Koprowski P, Wrzosek Z, Dragan S. Gait analysis in patients after lengthening and correction of tibia with Ilizarov technique. *Fizioter*. 2010;18:9–18.
- Morasiewicz P, Dragan S. Pedobarographic evaluation of body weight distribution on the lower limbs and balance after derotation corticotomies using the Ilizarov method. *Acta Bioeng Biomech*. 2013;15(2):91–6.
- Morasiewicz P, Dragan S, Dragan SL, Wrzosek Z, Pawik Ł. Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after Ilizarov corticotomies. *Clin Biomech*. 2016;31:2–6.
- Vitale MA, Choe JC, Sesko AM, et al. The effect of limb length discrepancy on health-related quality of life: is the '2 cm rule' appropriate? *J Pediatr Orthop B*. 2006;15(1):1–5.
- Ghoneem HF, Wright JG, Cole WG, Rang M. The Ilizarov method for correction of complex deformities: Psychological and functional outcomes. *J Bone Joint Surg Am*. 1996;78(10):1480–5.
- McKee MD, Yoo D, Schemitsch EH. Health status after Ilizarov reconstruction of post-traumatic lower-limb deformity. *J Bone Joint Surg Br*. 1998;80(2):360–4.
- Martin L, Farrell M, Lambrenos K, Nayagam D. Living with the Ilizarov frame: Adolescent perceptions. *J Adv Nurs*. 2003;43(5):478–87.
- Modin M, Ramos T, Stomberg MW. Postoperative impact of daily life after primary treatment of proximal/distal tibiafracture with Ilizarov external fixation. *J Clin Nurs*. 2009;18(24):3498–506.
- Ramaker RR, Lagro SW, van Roermond PM, Sinnema G. The psychological and social functioning of 14 children and 12 adolescents after Ilizarov leg lengthening. *Acta Orthop Scand*. 2000;71(1):55–9.
- Young N, Bell DF, Anthony A. Pediatric pain patterns during Ilizarov treatment of limb length discrepancy and angular deformity. *J Pediatr Orthop*. 1994;14(3):352–7.
- Kogutt M. Computed radiographic imaging: use in low-dose leg length radiography. *Am J Roentgenol*. 1987;148:1205–6.
- Sabharwal S, Zhao C, McKeon J, Melaghari T, Blacksin M, Wenekor C. Reliability analysis for radiographic measurement of limb length discrepancy: full-length standing anteroposterior radiograph versus Scanogram. *J Pediatr Orthop*. 2007;27:46–50.
- Sabharwal S, Kumar A. Methods for assessing leg length discrepancy. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466(12):2910–22.
- Wolowicka L, Jaracz K. Polish version of WHOQoL-100 and WHOQoL-Bref. In: Quality of life in medical sciences. Poznań: Dział Wydawnictw Uczelnianych Akademii Medycznej; 2011. p. 235–80.
- Skevington SM, Lotfy M, O'Connell KA. The World Health Organization's WHOQOL-BREF quality of life assessment: psychometric properties and results of the international field trial. A report from the WHOQOL group. *Qual Life Res*. 2004;13(2):299–310.
- Moraal JM, Elzinga-Plomp A, Jongmans MJ. Long-term psychosocial functioning after Ilizarov limb lengthening during childhood. *Acta Orthop*. 2009;80(6):704–10.
- Napiontek N. Psychologiczne aspekty leczenia metodą Ilizarowa. *Ortop Traumatol Rehabil*. 2002;4(4):473–6.
- Slagter SN, van Vliet-Ostapchouk JV, van Beek AP, et al. Health-related quality of life in relation to obesity grade, type 2 diabetes, metabolic syndrome and inflammation. *PLoS One*. 2015;10(10):e0140599.
- Maffulli N, Lombardi C, Matarazzo L, et al. A review of 240 patients undergoing distraction osteogenesis for congenital post-traumatic or postinfective lower limb length discrepancy. *J Am Coll Surg*. 1996;182(5):394–402.
- Janiszewski P, Ross R. The utility of physical activity in the management of global cardiometabolic risk. *Obesity*. 2009;17(3):3–14.
- Warburton DE, Bredin SS. Health benefits of physical activity: a strengths-based approach. *J Clin Med*. 2019;8(12):2044.
- Dheensa S, Thomas S. Investigating the relationship between coping, quality of life and depression/anxiety in patients with external fixation devices. *Int J Orthop Trauma Nurs*. 2012;1(16):30–8.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Signed by /
Podpisano przez:



Łukasz Michał
Pawik

Date / Data:
2023-09-22 12:42

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions




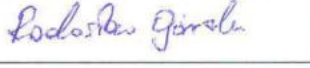
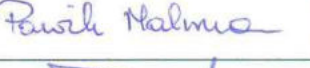

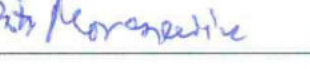


OŚWIADCZENIE WSPÓLAUTORÓW PUBLIKACJI

Pawik Łukasz, Fink-Lwow Felicja, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Szelerski Łukasz, Górski Radosław, Pawik Malwina, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr. Kinematic parameters after tibial nonunion treatment using the Ilizarov method. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2022, 23 (1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05683-1>.

Impact Factor: **2.300**, Punktacja MEiN: **100.00**

Wyrażam zgodę na wykorzystanie artykułu do cyklu publikacji będących podstawą do ubiegania się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego przez Pana dr Łukasza Pawika i oświadczam, że indywidualny wkład w powstanie ww. publikacji jest następujący:

AUTOR	WKŁAD %	OPIS*	PODPIS
Łukasz Pawik	52%	ABCDEFGHI	
Felicja Fink-Lwow	10%	ADEFHI	
Andżelika Pajchert-Kozłowska	8%	BCDGH	
Łukasz Szelerski	5%	BCH	
Radosław Górski	5%	BCH	
Malwina Pawik	5%	CDEGH	
Paweł Reichert	5%	FH	
Piotr Morasiewicz	10%	ABCDFHI	

***OPIS:**

- A- koncepcja eksperymentu i metodologii badań
- B- kwalifikacja uczestników do badań
- C- organizacja i realizacja badań
- D- analiza i opracowanie danych
- E- obliczenia statystyczne, interpretacja i wizualizacja wyników
- F- dyskusja i formułowanie wniosków
- G- opracowanie piśmiennictwa
- H- przygotowanie wstępnej wersji manuskryptu
- I- przygotowanie i korekta ostatecznej wersji manuskryptu do publikacji zgodnie z wymogami redakcji czasopisma

Signed by /
Podpisano przez:

Łukasz Michał
Pawik

Date / Data:
2023-09-22 12:43



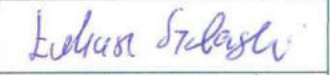
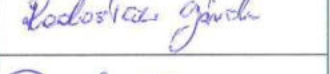

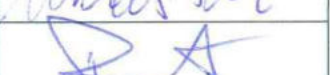
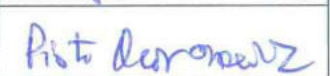



OŚWIADCZENIE WSPÓLAUTORÓW PUBLIKACJI

Pawik Łukasz, Fink-Lwow Felicja, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Szelerski Łukasz, Górski Radosław, Pawik Malwina, Urbański Wiktor, Reichert Paweł, Morasiewicz Piotr. Assessment of gait after treatment of tibial nonunion with the Ilizarov method. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18 (8), 1-12. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084217>.

Impact Factor: **4.614**, Punktacja MEiN: **140.00**

Wyrażam zgodę na wykorzystanie artykułu do cyklu publikacji będących podstawą do ubiegania się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego przez Pana dr Łukasza Pawika i oświadczam, że indywidualny wkład w powstanie ww. publikacji jest następujący:

AUTOR	WKŁAD %	OPIS*	PODPIS
Łukasz Pawik	55%	ABCDEFGHI	
Felicja Fink-Lwow	9%	ADEFHI	
Andżelika Pajchert-Kozłowska	5%	BCGH	
Łukasz Szelerski	5%	ABCH	
Radosław Górski	5%	ABCH	
Malwina Pawik	5%	ACDEGH	
Wiktor Urbański	4%	FH	
Paweł Reichert	4%	FH	
Piotr Morasiewicz	8%	ABCEFHI	

***OPIS:**

- A- koncepcja eksperymentu i metodologii badań
- B- kwalifikacja uczestników do badań
- C- organizacja i realizacja badań
- D- analiza i opracowanie danych
- E- obliczenia statystyczne, interpretacja i wizualizacja wyników
- F- dyskusja i formułowanie wniosków
- G- opracowanie piśmiennictwa
- H- przygotowanie wstępnej wersji manuskryptu
- I- przygotowanie i korekta ostatecznej wersji manuskryptu do publikacji zgodnie z wymogami redakcji czasopisma

Signed by /
Podpisano przez:



Łukasz Michał
Pawik

Date / Data:
2023-09-22 12:44

OŚWIADCZENIE WSPÓLAUTORÓW PUBLIKACJI

Pawik Łukasz, Wietecki Paweł, Leśkow Artur, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Urbański Wiktor, Morasiewicz Piotr. Gait symmetry analysis in patients after treatment of pilon fractures by the Ilizarov method. *Symmetry (Basel)*. 2021, 13 (2), 1–11. <https://doi.org/10.3390/sym13020349>. Impact Factor: **2.940**, Punktacja MEiN: **70.00**

Wyrażam zgodę na wykorzystanie artykułu do cyklu publikacji będących podstawą do ubiegania się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego przez Pana dr Łukasza Pawika i oświadczam, że indywidualny wkład w powstanie ww. publikacji jest następujący:

AUTOR	WKŁAD %	OPIS*	PODPIS
Łukasz Pawik	52%	ABCDEFGH I	Łukasz Pawik
Paweł Wietecki	7%	ABC FGH I	Wietecki Paweł
Artur Leśkow	4%	BGH	Artur Leśkow
Andżelika Pajchert -Kozłowska	4%	BCH	
Sławomir Żarek	5%	BCH	Sławomir Żarek
Radosław Górski	5%	BCH	Radosław Górski
Malwina Pawik	5%	DFHI	Malwina Pawik
Felicja Fink-Lwow	7%	DFHI	F. Fink-Lwow
Wiktor Urbański	4%	BFH	Wiktor Urbański
Piotr Morasiewicz	7%	ABCDFHI	Piotr Morasiewicz

*OPIS:

- A- koncepcja eksperymentu i metodologii badań
- B- kwalifikacja uczestników do badań
- C- organizacja i realizacja badań
- D- analiza i opracowanie danych
- E- obliczenia statystyczne, interpretacja i wizualizacja wyników
- F- dyskusja i formułowanie wniosków
- G- opracowanie piśmiennictwa
- H- przygotowanie wstępnej wersji manuskryptu
- I- przygotowanie i korekta ostatecznej wersji manuskryptu do publikacji zgodnie z wymogami redakcji czasopisma

Signed by /
Podpisano przez:

Łukasz Michał
Pawik

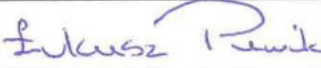
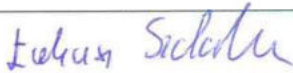

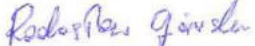



Date / Data:
2023-09-22 12:44

ÓSWIADCZENIE WSPÓŁAUTORÓW PUBLIKACJI

Pawik Łukasz, Pajchert-Kozłowska Andżelika, Szellerski Łukasz, Żarek Sławomir, Górski Radosław, Pawik Malwina, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr. Assessment of lower limb load distribution in patients treated with the Ilizarov method for tibial nonunion. *Med. Sci. Monit.* 2021, 27, e930849-1–e930849-8. <https://doi.org/10.12659/MSM.930849>.

Impact Factor: **3.386**, Punktacja MEiN: **140.00**

Wyrażam zgodę na wykorzystanie artykułu do cyklu publikacji będących podstawą do ubiegania się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego przez Pana dr Łukasza Pawika i oświadczam, że indywidualny wkład w powstanie ww. publikacji jest następujący:

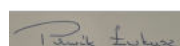
AUTOR	WKŁAD %	OPIS*	PODPIS
Łukasz Pawik	56%	ABCDEFGHI	
Andżelika Pajchert-Kozłowska	7%	ADEFH	
Łukasz Szellerski	5%	BCDH	
Sławomir Żarek	5%	BCDH	
Radosław Górski	5%	BCDH	
Malwina Pawik	7%	DEGH	
Felicja Fink-Lwow	7%	DEFHI	
Piotr Morasiewicz	8%	ABCDFHI	

*OPIS:

- A- koncepcja eksperymentu i metodologii badań
- B- kwalifikacja uczestników do badań
- C- organizacja i realizacja badań
- D- analiza i opracowanie danych
- E- obliczenia statystyczne, interpretacja i wizualizacja wyników
- F- dyskusja i formułowanie wniosków
- G- opracowanie piśmiennictwa
- H- przygotowanie wstępnej wersji manuskryptu
- I- przygotowanie i korekta ostatecznej wersji manuskryptu do publikacji zgodnie z wymogami redakcji czasopisma

Signed by /
Podpisano przez:

Łukasz Michał
Pawik

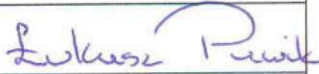






Date / Data:
2023-09-22 12:46

OŚWIADCZENIE WSPÓLAUTORÓW PUBLIKACJI

Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Wrzosek Zdzisława, Fink-Lwow Felicja, Morasiewicz Piotr.
Assessment of the quality of life in patients with varying degrees of equalization of lower limb length discrepancy treated with Ilizarov method. *J. Orthop. Surg. Res.* 2021, 16 (1), 1-9.
<https://doi.org/10.1186/s13018-021-02202-1>.
Impact Factor: **2.677**, Punktacja MEiN: **70.00**


Wyrażam zgodę na wykorzystanie artykułu do cyklu publikacji będących podstawą do ubiegania się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego przez Pana dr Łukasza Pawika i oświadczam, że indywidualny wkład w powstanie ww. publikacji jest następujący:

AUTOR	WKŁAD %	OPIS*	PODPIS
Lukasz Pawik	68%	ABCDEFGHI	
Malwina Pawik	8%	ACDGH	
Zdzisława Wrzosek	8%	ADGH	
Felicja Fink-Lwow	8%	ADEFH	
Piotr Morasiewicz	8%	ABCDFH	

***OPIS:**

- A- koncepcja eksperymentu i metodologii badań
- B- kwalifikacja uczestników do badań
- C- organizacja i realizacja badań
- D- analiza i opracowanie danych
- E- obliczenia statystyczne, interpretacja i wizualizacja wyników
- F- dyskusja i formułowanie wniosków
- G- opracowanie piśmiennictwa
- H- przygotowanie wstępnej wersji manuskryptu
- I- przygotowanie i korekta ostatecznej wersji manuskryptu do publikacji zgodnie z wymogami redakcji czasopisma

Signed by /
Podpisano przez:



Łukasz Michał
Pawik

Date / Data:
2023-09-22 12:48

Wrocław, 11.08.2023 r.

SPINETIME Sp. z o.o.
Ul. Macedońska 3
51-113 Wrocław
NIP: 6342935487

Zaświadczenie

Niniejszym zaświadcza się, że Pan dr **Łukasz Pawik**, zamieszkały w [REDAKTOWANE] zaangażowany jest w realizację projektu w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju pt. „**SPINETIME - Przyszłość w fizjoterapii na odległość**”, pełniąc rolę **Kierownika B+R**.

Nr projektu: **POIR.01.01.01-00-1796/20**,

Całkowity koszt realizacji Projektu: **4 024 791,91 zł**,

Całkowite dofinansowanie Projektu: **3 150 978,97 zł**.

Projekt badawczo-rozwojowy realizowany jest od 01.06.2021 do 30.09.2023, a w wyniku jego realizacji powstanie innowacyjna metoda analityczno-terapeutyczna bólu kręgosłupa pochodzenia mechanicznego. W oparciu o autorski algorytm diagnostyczno-terapeutyczny użytkownik telefonu komórkowego, bez konieczności osobistego kontaktu ze specjalistą, uzyska spersonalizowaną ocenę stanu kręgosłupa oraz spersonalizowany zestaw zalecanych technik autoterapii wraz z ćwiczeniami stabilizującymi stan zdrowia w postaci filmów informacyjno-instruktażowych. Algorytm decyzyjności, wspomagany przez sztuczną inteligencję (SI) pozwala, wyłącznie poprzez aplikację mobilną, na zautomatyzowaną analizę stanu kręgosłupa i uzyskanie pomocy w postaci technik autoterapeutycznych, eliminując przy tym personalne czynniki ryzyka. Otrzymywany od użytkowników aplikacji feedback pozwala na rozbudowę i trening sieci neuronowej poprzez zbierane na bieżąco dane i dynamiczną modyfikację protokołu terapeutycznego adekwatną do ewolucji stanu użytkownika.

Aktualnie projekt znajduje się w ostatnim etapie realizacji (etapie przedwdrożeniowym), a jego realizacja przebiega zgodnie z Harmonogramem Rzeczowo-Finansowym. Do tego momentu wszystkie zaplanowane w projekcie cele zostały osiągnięte, a skuteczność diagnostyczno-terapeutyczna metody i narzędzia (aplikacji mobilnej, cyfrowego terapeutyka – DTx – Digital Therapeutic) zostały udowodnione naukowo.

Zaświadczenie wydaje się na prośbę Kierownika B+R, dr Łukasza Pawika.



SPINETIME Sp. z o.o.
ul. Macedońska 3 51-113 Wrocław
NIP: 6342935487 REGON: 381100568
www.spinetime.eu, office@spinetime.eu

.....
Z poważaniem,
Andrzej Studziński
Członek zarządu spółki
Kierownik zarządzający projektem