

ROHAN ANNA¹, *NYC MAŁGORZATA², ROGÓZ ANNA³, FUGIEL JAROSŁAW⁴

Changes in plantar pressure distribution after long-distance running

Ocena zmian rozkładu nacisku stóp pod wpływem biegu długodystansowego

¹Department of Human Anatomy, Wrocław Medical University, Poland

Head of Department: Professor Bohdan Gworys, MD, PhD

²Faculty of Technology and Natural Science, Karkonoska State College, Jelenia Góra, Poland

Dean of Faculty: Wioletta Palczewska, MD, PhD

³Vertex, Rehabilitation Unit, Wrocław, Poland

⁴Department of Biostructure, University School of Physical Education, Wrocław, Poland

Head of Department: Professor Teresa Sławińska-Ochla, MD, PhD

KEYWORDS

foot arch, long-distance running, plantar pressure

SUMMARY

Long-distance running is a huge effort for the organism. During the run, a significant load is put on the movement system, especially on feet, which, due to their distal location and direct contact with the ground, are subject to significant pressure. Prolonged exercise causes fatigue of the soft tissues that stabilize the arches of the foot, which, in turn, influences the distribution of the weight between the foot zones. Prolonged activity of muscles and tendons causes an overload in certain fields and lowers the load in other zones.

The aim of this paper was to analyze and assess the changes of pressure in the individual foot zones after long-distance running.

The study involved 36 men who participated in the 8th Ślęza Half Marathon and was conducted in two stages: the measurements were taken before and after the race.

The analysis was conducted with pedobarometry with the Platform E.P.S./R1 apparatus. It was observed that more weight was put on the left foot. Before the race, the load was not evenly distributed between the feet in a standing position. In the majority of the runners, left foot was more loaded. Left foot has a supportive role, which may be caused by a functional asymmetry. The results indicated that the changes in plantar pressure varied between feet. Plantar pressure distribution did not significantly change in the right foot, while in the left foot, the pressure increased on the forefoot and hindfoot, and decreased on the midfoot. The change influenced foot typology – after the run, the number of runners with high-arched feet increased.

SŁOWA KLUCZOWE

wysklepienie stopy, bieg długodystansowy, zmiany obciążeń stopy

STRESZCZENIE

Bieg długodystansowy to ogromny wysiłek dla organizmu. W jego trakcie dochodzi między innymi do znacznych obciążeń układu ruchu, a w szczególności stóp, które ze względu na swoje dystalne położenie i bezpośredni kontakt z podłożem podlegają znacznym naciskom. Długotrwała wysiłek powoduje zmęczenie tkanek miękkich stabilizujących sklepienie podszwowe stopy, co z kolei wpływa na rozkład ciężaru ciała na poszczególne strefy w obrębie stopy. Długotrwała praca mięśni i więzadeł wywołuje przeciążenie pewnych pól oraz odciążenie innych.

Celem pracy była analiza i ocena tych zmian zachodzących pod wpływem biegu długodystansowego w obrębie poszczególnych stref w stopie. Badaniom poddano 36 mężczyzn, którzy byli uczestnikami VIII Półmaratonu Ślęzańskiego. Badanie przeprowadzono w dwóch etapach: przed i po biegu. Ocena stóp została wykonana metodą pedobarometryczną. Pomiarów dokonano za pomocą Platformy E.P.S./R1. Na podstawie badania przeprowadzonego przed biegiem i analizy dotyczącej obciążeń stóp w pozycji stojącej zaobserwowano, że w badanej grupie biegaczy w większym stopniu obciążana jest stopa lewa. Przed biegiem masa ciała w pozycji stojącej nie była rozłożona równomiernie na obie stopy. U większości biegaczy bardziej obciążona była lewa kończyna, która częściej pełni funkcję podporową, co może wynikać z asymetrii funkcjonalnej. Wyniki badań wykazały, że obraz zmian po biegu był różny w stopie prawej i lewej. Rozkład obciążeń w stopie prawej nie zmienił się istotnie, natomiast w stopie lewej nastąpił wzrost obciążenia przodostopia i tylostopia oraz zmalało obciążenie śródstopia. Zmiana ta wpłynęła na typologię stopy; po biegu zwiększyła się liczba biegaczy, u których sklepienie podłużne tej stopy uległo uniesieniu.

INTRODUCTION

Running is one of the most natural exercise for human, and from ancient times, it has been one of the Olympic sports. Its popularity has been constantly growing, as evidenced by the growing number of joggers, as well as the number of runners participating in mass events. Running owes its popularity to its simplicity, as it requires no special skills, training space nor equipment (1, 2). This type of exercise has a positive influence on the general health status, inducing several positive changes in the organism, which may protect against the diseases of civilization (3).

Properly dosed exercise induces the lowering of the blood pressure and heart rate, as well as improves metabolism and immune system function. Jogging also has a huge impact on the psyche: in runners, a high-spirited state, known as "runner's high" is observed after the prolonged and intense exercise (4, 5). It has also been proven that certain substances released to the bloodstream during running cause the so-called conditioned pain modulation, i.e. reduce the pain sensation (6).

However, it must be noted that long-distance running is a huge effort for the body. During the run, a significant load is put on the movement system, especially on the feet, which, due to their distal location and direct contact with the ground, are subject to significant pressure. Prolonged exercise causes fatigue of the soft tissues that stabilize the arches of the foot, which, in turn, influences the plantar pressure distribution. Prolonged activity of muscles and tendons causes an overload in certain foot zones and lowers the load in other. The influence of the long-distance running on the plantar pressure has been studied repeatedly (7-12).

AIM

The aim of the study was to assess the changes in plantar pressure after long-distance running. Changes in plantar pressure, as well as in the pressure distribution between

WSTĘP

Bieganie jest jedną z najbardziej naturalnych form ruchu człowieka, a już od czasów starożytnych należy do dyscyplin sportowych przeprowadzanych w ramach Igrzysk Olimpijskich. Popularność tej formy aktywności fizycznej jest coraz większa, o czym świadczy rosnąca liczba osób uprawiających jogging oraz startujących w imprezach masowych. Swoją popularność bieganie zawdzięcza łatwości uprawiania tej formy sportu, ponieważ nie wymaga specjalnych umiejętności, miejsca do treningu czy sprzętu (1, 2). Bieganie jest formą aktywności fizycznej, która pozytywnie wpływa na zdrowie człowieka, wywołując w organizmie wiele pozytywnych zmian, które mogą chronić przed chorobami cywilizacyjnymi (3).

Odpowiednio dozowany wysiłek powoduje obniżenie ciśnienia krwi i częstości akcji serca oraz poprawia metabolizm i usprawnia system immunologiczny. Trening biegowy ma również ogromny wpływ na psychikę: u osób biegających obserwuje się tak zwany entuzjastyczny stan samopoczucia wywołany obniżonym poziomem stresu występującym po długotrwałym i intensywnym wysiłku, określanej jako „euforia biegacza” (4, 5). Udowodniono również, że wydzielające się substancje są powiązane z tak zwanym „warunkowanym modulowaniem bólu”, czyli zmniejszają poziom odczuwania bólu (6).

Należy jednak pamiętać, że bieg długodystansowy to ogromny wysiłek dla organizmu. W jego trakcie dochodzi między innymi do znacznych obciążeń układu ruchu, a w szczególności stóp, które, ze względu na swoje dystalne położenie i bezpośredni kontakt z podłożem, podlegają znacznym naciskom. Długotrwały wysiłek powoduje zmęczenie tkanek miękkich stabilizujących sklepienie podszwowe stopy, co z kolei wpływa na rozkład ciężaru ciała na poszczególne strefy w obrębie stopy. Długotrwała praca mięśni i więzadeł wywołuje przeciążenie pewnych pól oraz odciążenie innych. Tematykę tę podejmowano wielokrotnie, ukazując w jaki sposób biegi długodystansowe wpływają na zmianę obciążenia w obrębie stopy (7-12).

individual foot zones, were assessed. The results from before and after the race were compared.

The study sought to answer the following research questions:

- Will the half marathon influence the load distribution between the right foot and the left foot?
- Will long-distance run influence the load distribution between forefoot, hindfoot and midfoot of the left foot and the right foot?
- Will the long-distance run directly influence the foot type in runners?
- Will there be any differences in the load distribution in individual foot zones of the right foot and left foot before and after the long-distance run?

MATERIAL AND METHODS

The study was conducted, with the consent of the Organizer, during the 8th Ślęza Half Marathon, which took place on the 21st March 2015 in Sobótka. The study included 36 male volunteers participating in the race. All of the participants agreed to take part in the study according to the Declaration of Helsinki. The mean age of the participants was 35.3 ± 10.4 years.

The study was conducted in two stages: before and after the race.

The pedobarometrical analysis was conducted with the Platform E.P.S./R1 apparatus, measuring 700 x 500 x 5 mm, equipped with 2304 sensors distributed on the active surface.

The runner was to step on the pedobarometrical platform so that the feet were situated on two sides of a vertical line drawn on a mat. Then, the subject was asked to perform three slow steps in place in order to set the feet at ease on the mat. Subsequently, the participant stood erect with upper limbs along the body, looking straight ahead. At the signal, he remained motionless for 30 seconds. During the time, the measurements were taken.

In this paper, the following measurements were analyzed:

1. The load on the right foot and the left foot (expressed in %).
2. The load on the forefoot, midfoot and hindfoot (expressed in %). Based on the percentage of the load on the midfoot, the person's foot type was automatically determined by the program (tab. 1).
3. Mean pressure on individual anatomical foot zones (expressed in kPa). In the Biomech Studio software, the results were analyzed after having been divided to ten zones: hallux, toes 2 to 5, head of the 1st metatarsal bone, head of the 2nd metatarsal bone, head of the 3rd metatarsal bone, head of the 4th metatarsal bone, head of the 5th metatarsal bone, midfoot, medial heel, lateral heel.

CEL PRACY

Celem pracy była ocena zmian obciążeń stopy pod wpływem biegu długodystansowego. Analizie poddano ocenę zmian obciążeń w obrębie stóp oraz poszczególnych ich stref, zachodzących pod wpływem biegu na dystansie półmaratonu. Badania przeprowadzono, porównując stan stopy przed i po biegu.

W pracy szukano odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

- Czy po biegu półmaratońskim zmienia się rozkład ciężaru ciała pomiędzy stopą prawą i lewą?
- Czy bieg długodystansowy wpływa na zmiany obciążenia między przodostopiem, śródstopiem, a tyłostopiem stopy prawej i lewej?
- Czy bieg długodystansowy wpływa bezpośrednio po biegu na zmianę typu stopy u biegaczy?
- Czy istnieją różnice w obciążeniach poszczególnych stref stopy prawej i lewej przed i po biegu długodystansowym?

MATERIAŁ I METODY

Badania zostały przeprowadzone za zgodą Organizatora w czasie VIII Półmaratonu Ślęzańskiego, który odbył się dnia 21.03.2015 w Sobótce. Pomiaru wykonano u 36 mężczyzn uczestniczących w biegu, którzy wyrazili zgodę na udział w badaniach zgodnie z Deklaracją Helsińską. Średnia wieku badanych osób wyniosła $35,3 \pm 10,4$ lata.

Badanie zostało przeprowadzone w dwóch etapach. U każdego z uczestników wykonano badania statyczne: pierwsze przed, a drugie po biegu na dystansie półmaratonu.

Ocena stóp została wykonana metodą pedobarometryczną. Pomiaru zostały przeprowadzone za pomocą Platformy E.P.S./R1 o wymiarach 700 x 500 x 5 mm, wyposażoną w 2304 czujniki rozmieszczone na aktywnej powierzchni.

Badanie polegało na wejściu biegacza na platformę pedobarometryczną tak, aby stopy znajdowały się po dwóch stronach pionowej linii nakreślonej na macie. Wówczas proszono osobę badaną o wykonanie trzech spokojnych kroków w miejscu w celu swobodnego ustawienia stóp na macie. Następnie badany stawał wyprostowany z kończynami górnymi wzdłuż tułowia, patrząc na wprost przed siebie. Na sygnał pozostawał nieruchomo przez 30 sekund, w czasie których wykonywany był pomiar.

W pracy zostały wykorzystane następujące pomiary:

1. Obciążenie stopy prawej i lewej (wyrażone w %).
2. Obciążenie przodostopia, śródstopia i tyłostopia (wyrażone w %). Na podstawie procentowego udziału śródstopia w podporze stopy program automatycznie przypisał dane badanej osoby do typu stopy (tab. 1).
3. Średni nacisk na poszczególne anatomiczne strefy stopy (wyrażony w kPa). W programie Biomech Studio analizowano wyniki po dokonaniu podziału stopy na dziesięć obszarów: paluch, palce II-V, głowa I kości śródstopia, głowa II kości śródstopia, głowa III kości śródstopia, głowa IV kości śródstopia,

Tab. 1. Foot type based on the load distribution

Pressure on midfoot [%]	Foot type
0-7	very high foot arch
7-14	high foot arch
14-21	slightly high arch
21-28	normal foot
28-35	slightly flat foot
35-42	flat foot
42 and more	very flat foot

For every parameter analyzed, following statistical characteristics were calculated: mean (\bar{x}) and standard deviation (SD). The normal distribution of the variables was assessed with Shapiro-Wilk test. Results with $p < 0.05$ were considered statistically significant.

RESULTS

Before the race, the load was not evenly distributed between the feet in a standing position. In the majority of the runners, left foot was more loaded. The mean load put on the left foot before the race was 55.5%, and the mean load on the right foot – 44.5%. After the race, a change in the load distribution was observed. The load on the left foot decreased to 53.6%, and the load on the right foot increased by 1.9% to 46.4%. The differences of the load of the feet before and after the run were not statistically significant. In spite of the transfer of the part of the load from the left foot to the right foot, higher load was still put on the left limb, and the differences were statistically significant (tab. 2).

Furthermore, the weight distribution between forefoot, midfoot and hindfoot was assessed. Data were analyzed separately for each anatomical part of the right foot and left foot, comparing the measurements taken before and after the race.

Mean pressure on left forefoot was 43.0% before the race, and 45.2% after the race, and the difference was

Tab. 1. Typy stóp ze względu na obciążenie śródstopia

Obciążenie śródstopia [%]	Typ stopy
0-7	silne wysokie wysklepienie stopy
7-14	wysokie wysklepienie stopy
14-21	lekko wysokie wysklepienie stopy
21-28	normalna stopa
28-35	lekkie płaskostopie
35-42	stopa płaska
42 i więcej	silne płaskostopie

głowa V kości śródstopia, śródstopie, przyśrodkowa strona pięty, boczna strona pięty.

Dla każdej analizowanej cechy obliczono podstawowe charakterystyki statystyczne: średnią arytmetyczną (\bar{x}) i odchylenie standardowe (SD). Normalność rozkładu zmiennych sprawdzono testem Shapiro-Wilka. Za istotne statystycznie uznano wyniki, dla których otrzymano $p < 0,05$. Istotność różnic między pomiarami zależnymi sprawdzano testem Wilcoxon.

WYNIKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy dotyczącej obciążeń stóp w pozycji stojącej zaobserwowano, że w badanej grupie biegaczy w większym stopniu obciążana jest stopa lewa. Średni odsetek obciążenia dla tej stopy przed biegiem wynosił 55,5%, natomiast dla stopy prawej – 44,5%. Po biegu zaobserwowano zmianę wartości obciążeń stóp. Dla stopy lewej odsetek ten zmniejszył się do średniej wartości 53,6%, a dla stopy prawej wzrósł o średnio 1,9%, do wartości 46,4%. Różnice obciążenia stóp przed i po biegu półmaratońskim nie były jednak istotne statystycznie. Pomimo przeniesienia części ciężaru ze stopy lewej na stopę prawą, kończyna lewa wciąż była obciążana w większym stopniu, a różnice te były istotne statystycznie (tab. 2).

W dalszej części analizy oceniano rozkład ciężaru ciała w obrębie przodostopia, śródstopia i tyłostopia. Dane przeanalizowano osobno dla każdej części anatomicznej stopy prawej i lewej, biorąc pod uwagę pomiar przed i po biegu.

Tab. 2. Weight distribution between the right foot and the left foot before and after the half-marathon race and differences between feet

Foot	Time of the measurement	\bar{x}	SD	Z	p
Right [%]	before the race	44.5	5.8	3.25	0.03*
	after the race	46.4	6.4		
Left [%]	before the race	55.5	5.7	5.73	0.05*
	after the race	53.6	6.4		

*p-values of statistical significance $p < 0.05$

Tab. 2. Stosunek obciążenia stopy prawej i lewej przed i po biegu półmaratońskim oraz różnice między stopami

Stopa	Pomiar	\bar{x}	SD	Z	p
Prawa [%]	przed biegiem	44,5	5,8	3,25	0,03*
	po biegu	46,4	6,4		
Lewa [%]	przed biegiem	55,5	5,7	5,73	0,05*
	po biegu	53,6	6,4		

*Wartości prawdopodobieństwa $p < 0,05$ istotne statystycznie

statistically significant (tab. 3). Mean pressure on right forefoot was 43.0% before the race, and 44.4% after the race, but the difference was not statistically significant (tab. 3). Mean pressure on forefoot was similar for both feet, but more pressure was put on the left forefoot after the race when compared with the right forefoot.

The analysis of the pressure on left midfoot indicated that mean pressure decreased by 6%. Before the race the pressure was 22.1%, and after the race – 16.1%. The difference was statistically significant (tab. 3). Mean pressure on left midfoot was 21.8% before the race, and 21.0% after the race. The difference was not statistically significant (tab. 3). As with the forefoot, mean pressure was similar for both feet before the race, and after the race, the pressure on the right foot increased.

The mean pressure on left hindfoot was 36.9% before the race and 38.9% after the race. The difference was statisti-

W przypadku stopy lewej średnia wartość nacisku na przodostopie wynosiła 43,0% przed biegiem, a po biegu wzrosła do 45,2%. Różnica ta była istotna statystycznie (tab. 3). Średni nacisk na przodostopie stopy prawej przed biegiem wynosił 43,0%, a po biegu wzrósł do 44,0%, jednak różnica ta nie była istotna statystycznie (tab. 3). Porównując obie stopy, zaobserwowano, że średni nacisk na przodostopie stopy prawej i lewej przed biegiem przyjmuje podobne wartości, jednak po biegu bardziej obciążone było przodostopie stopy lewej.

Analiza obciążeń śródstopia stopy lewej wykazała, że średni nacisk zmniejszył się o 6%. Przed biegiem odsetek ten wynosił 22,1%, a po biegu zmniejszył się do 16,1%. Różnica ta była istotna statystycznie (tab. 3). Średni nacisk na śródstopie stopy prawej wynosił przed biegiem 21,8%, a po biegu zmalał do 21,0%. Różnica pomiędzy pomiarami nie była statystycznie istotna (tab. 3). Średni nacisk na śródstopie obu

Tab. 3. Load on forefoot, midfoot and hindfoot of the right foot and left foot before and after the long-distance race

Foot	Time of measurement	\bar{x}	SD	Z	p	
Right	Forefoot	before the race	43.01	5.75	1.00	0.32
		after the race	44.02	4.99		
	Midfoot	before the race	21.76	7.95	1.37	0.17
		after the race	20.69	7.38		
Left	Forefoot	before the race	43.02	5.0	3.07	0.002*
		after the race	45.22	5.4		
	Midfoot	before the race	20.12	6.56	3.29	0.001*
		po biegu	16.12	8.55		
Hindfoot	before the race	36.86	2.70	2.72	0.006*	
	after the race	38.68	4.05			

*p-values of statistical significance $p < 0.05$

Tab. 3. Obciążenie przodo-, śród- i tyłostopia stopy prawej i lewej przed i po biegu długodystansowym

Stopa	Pomiar	\bar{x}	SD	Z	p	
Prawa	Przodostopie	przed biegiem	43,01	5,75	1,00	0,32
		po biegu	44,02	4,99		
	Śródstopie	przed biegiem	21,76	7,95	1,37	0,17
		po biegu	20,69	7,38		
	Tyłostopie	przed biegiem	35,23	4,61	0,41	0,68
		po biegu	35,29	4,64		
Lewa	Przodostopie	przed biegiem	43,02	5,0	3,07	0,002*
		po biegu	45,22	5,4		
	Śródstopie	przed biegiem	20,12	6,56	3,29	0,001*
		po biegu	16,12	8,55		
	Tyłostopie	przed biegiem	36,86	2,70	2,72	0,006*
		po biegu	38,68	4,05		

*Wartości prawdopodobieństwa $p < 0,05$ istotne statystycznie

cally significant (tab. 3). Mean pressure on right foot was 35.2% and did not change after the race – 35.3%. The pressure on hindfoot was higher for left foot, and the difference increased after the race.

The analysis of the results indicated that in the case of the left foot, the pressure on the forefoot and hindfoot increased, and the pressure on the midfoot decreased. In the case of the right foot, the differences in pressure before and after the race were not statistically significant. Therefore, it has been concluded that the typology of the left foot had changed – the longitudinal arch had raised.

In the subsequent part of the analysis, the changes in pressure in 10 anatomical zones of the foot were observed. It was observed that in the right foot, the pressure on the head of the 1st metatarsal bone had decreased (tab. 4). In the left foot, changes in the pressure were observed in the midfoot and in the medial and lateral heel. In each of these zones, the pressure decreased after the race. Mean pressure on the midfoot decreased by 1.61 kPa (11.9%), on the medial heel – by 3.34 kPa (8.6%), and on the lateral heel – by 3.61 kPa (9.9%) (tab. 5).

The change of the type of arching of the feet confirmed the observations of pressure change. The change of the type of arching was assessed based on the load on the midfoot before and after the race. It was found that after the race, the percentage of persons with high and very high arch was higher than before the race (fig. 1).

stóp był zbliżony przed biegiem, natomiast po biegu bardziej obciążona była ta część stopy prawej kończyny.

W przypadku tyłostopia średni nacisk stopy lewej wynosił przed biegiem 36,9%, a po biegu wzrósł do 38,9%. Różnica między pomiarami również była istotna statystycznie (tab. 3). Średnie obciążenie stopy prawej wynosiło przed biegiem 35,2% i nie uległo zmianie po jego zakończeniu – 35,3%. Porównując nacisk na tyłostopie, zaobserwowano, że jest ono większe w stopie lewej, a po biegu różnica ta ulega zwiększeniu.

Analiza nacisku poszczególnych części stopy wykazała, że w przypadku stopy lewej obciążenie po biegu wzrosło pod przodo- i tyłostopem, a zmalało pod śródstopiem. W przypadku stopy prawej stwierdzono, że różnice przed i po biegu nie są istotne statystycznie. Z tego względu stwierdzono, że zmianie uległa typologia stopy lewej, polegająca na uniesieniu łuku podłużnego stopy.

W dalszej części analizy oceniano zmiany nacisku pod wpływem biegu na 10 anatomicznych stref stopy. Zaobserwowano, że w stopie prawej po biegu zmianie uległ nacisk na pierwszą głowę śródstopia. Obciążenie tej części stopy uległo istotnemu zmniejszeniu (tab. 4). Zmiany obciążenia stopy lewej zaobserwowano w śródstopiu oraz po przyśrodkowej i bocznej stronie pięty. W każdej z tych stref po biegu półmaratońskim nastąpiło odciążenie. Wartość nacisku w śródstopiu zmniejszyła się średnio o 1,61 kPa (11,9%), po przyśrodkowej stronie pięty o 3,34 kPa (8,6%), a po bocznej stronie pięty obciążenie zmniejszyło się średnio o 3,61 kPa (9,9%) (tab. 5).

Potwierdzeniem zaobserwowanych różnic dotyczących wielkości obciążeń poszczególnych części stóp była zmiana typów ich wysklepienia, którą oceniano na podstawie

Tab. 4. Changes in load distribution in the right foot

Foot zone	Before the race [kPa]		After the race [kPa]		Difference	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	Z	p
Big toe	10.06	7.64	8.17	7.12	1.24	0.21
Toes 2 to 5	4.44	4.27	4.39	4.60	0.2746	0.78
Head of the 1 st metatarsal bone	15.44	4.74	13.61	4.26	2.0616	0.04*
Head of the 2 nd metatarsal bone	26.17	6.44	27.17	7.43	0.5947	0.55
Head of the 3 rd metatarsal bone	29.33	7.50	31.94	6.58	1.3186	0.19
Head of the 4 th metatarsal bone	29.00	9.32	30.44	7.16	0.6097	0.54
Head of the 5 th metatarsal bone	24.56	10.58	25.33	10.30	0.1293	0.90
Midfoot	14.94	4.56	13.56	4.76	1.3065	0.19
Medial heel	25.33	6.63	26.94	5.23	0.879	0.38
Lateral heel	26.39	6.82	26.89	5.02	0.5917	0.55

*p-values of statistical significance $p < 0.05$

Tab. 4. Zmiany wielkości obciążenia stref w stopie prawej

Strefa stopy	Przed biegiem [kPa]		Po biegu [kPa]		Różnice	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	Z	p
Paluch	10,06	7,64	8,17	7,12	1,24	0,21
Palce II-V	4,44	4,27	4,39	4,60	0,2746	0,78
Głowa I kości śródstopia	15,44	4,74	13,61	4,26	2,0616	0,04*
Głowa II kości śródstopia	26,17	6,44	27,17	7,43	0,5947	0,55
Głowa III kości śródstopia	29,33	7,50	31,94	6,58	1,3186	0,19
Głowa IV kości śródstopia	29,00	9,32	30,44	7,16	0,6097	0,54
Głowa V kości śródstopia	24,56	10,58	25,33	10,30	0,1293	0,90
Śródstopie	14,94	4,56	13,56	4,76	1,3065	0,19
Przyśrodkowa strona pięty	25,33	6,63	26,94	5,23	0,879	0,38
Boczna strona pięty	26,39	6,82	26,89	5,02	0,5917	0,55

*Wartości prawdopodobieństwa $p < 0,05$ istotne statystycznie

DISCUSSION

During the long-distance run, there is a significant load put on feet. This leads to the passive and active overload of the motor system, which manifests by a change in the foot support pattern, which can result in the lowering of the foot arch. In a study by Kuraś (13) on athletes, a decrease in the Clarke angle has been observed. Similarly, Stawczyk (14) reported lowering of the foot arch of the launching leg in high jump athletes and long jump athletes when compared to the opposite leg of the athletes. This

obciążen śródstopia przed biegiem długodystansowym i po nim. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że po biegu odsetek osób, z wysokim i silnie wysokim wysklepieniem stopy w wyniku zmniejszenia obciążenia śródstopia, zwiększył się w porównaniu do wyników zanotowanych przed biegiem półmaratońskim (ryc. 1).

DYSKUSJA

W trakcie biegu długodystansowego dochodzi do znacznego obciążenia stóp. Doprowadza to do przeciążeń biernego i czynnego układu ruchu oraz objawia się zmianą wzorca

Tab. 5. Changes in load distribution in the left foot

Foot zone	Before the race [kPa]		After the race [kPa]		Differences	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	Z	p
Big toe	10.33	8.11	10.06	7.23	0.53	0.59
Toes II to V	3.56	3.57	3.67	4.01	0.04	0.97
Head of the I metatarsal bone	15.00	5.29	15.06	4.92	0.28	0.98
Head of the II metatarsal bone	25.89	5.20	25.89	7.79	0.26	0.80
Head of the III metatarsal bone	27.83	5.35	28.78	8.63	0.49	0.62
Head of the IV metatarsal bone	25.67	9.75	26.17	10.55	0.15	0.88
Head of the V metatarsal bone	19.89	9.76	19.89	8.57	0.12	0.91
Midfoot	13.56	5.86	11.95	5.60	2.41	0.02*
Medial heel	38.67	6.83	35.33	7.27	2.58	0.01*
Lateral heel	36.33	5.47	32.72	4.81	2.96	0.00*

*p-values of statistical significance $p < 0.05$

Tab. 5. Zmiany wielkości obciążenia stref w stopie lewej

Strefa stopy	Przed biegiem [kPa]		Po biegu [kPa]		Różnice	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	Z	p
Paluch	10,33	8,11	10,06	7,23	0,53	0,59
Palce II-V	3,56	3,57	3,67	4,01	0,04	0,97
Głowa I kości śródstopia	15,00	5,29	15,06	4,92	0,28	0,98
Głowa II kości śródstopia	25,89	5,20	25,89	7,79	0,26	0,80
Głowa III kości śródstopia	27,83	5,35	28,78	8,63	0,49	0,62
Głowa IV kości śródstopia	25,67	9,75	26,17	10,55	0,15	0,88
Głowa V kości śródstopia	19,89	9,76	19,89	8,57	0,12	0,91
Śródstopie	13,56	5,86	11,95	5,60	2,41	0,02*
Przyśrodkowa strona pięty	38,67	6,83	35,33	7,27	2,58	0,01*
Boczna strona pięty	36,33	5,47	32,72	4,81	2,96	0,00*

*Wartości prawdopodobieństwa $p < 0,05$ istotne statystycznie

was explained by a greater load on the launching foot. However, this observation was not confirmed by Gradek et al. (15). Greater load on feet was also observed in obese and overweight persons (16-18). The described increased load during locomotion may affect the lowering of the feet arch and therefore, lead to a decrease in their fitness (19).

Our research revealed that the load on anatomical structures during the race results in different weight distribution

podporu w stopach. Z tego względu może dojść do obniżenia wysklepienia stopy. W badaniach Kurasia (13), który ocenił lekkoatletów, odnotowano obniżenie wielkości kąta Clarka. Również Stawczyk (14) stwierdził zmniejszenie wysklepienia stopy odbijającej u skoczków wzwyż i w dal w porównaniu do stopy przeciwnej, tłumacząc to jako wynik większego obciążenia tej stopy. Natomiast Gradek i wsp. (15) takiej zależności nie zanotowali. Większe obciążenie stóp stwierdzono również u osób z nadwagą i otyłością (16-18). Opisane zwiększone obciążenie w czasie lokomocji może wpływać na obniżenie

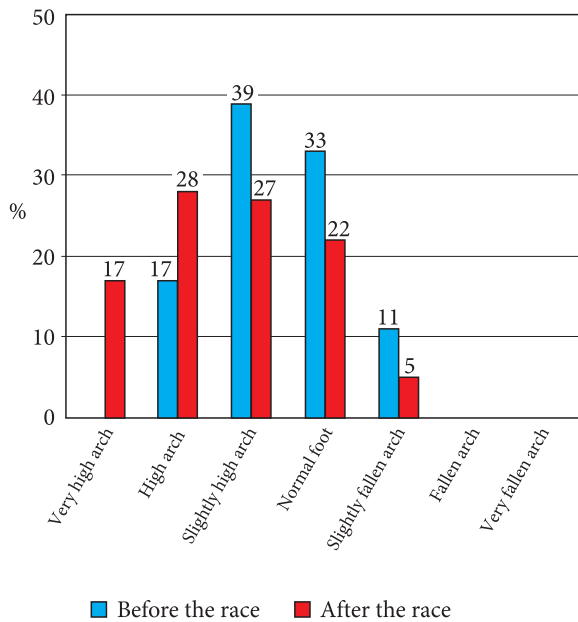
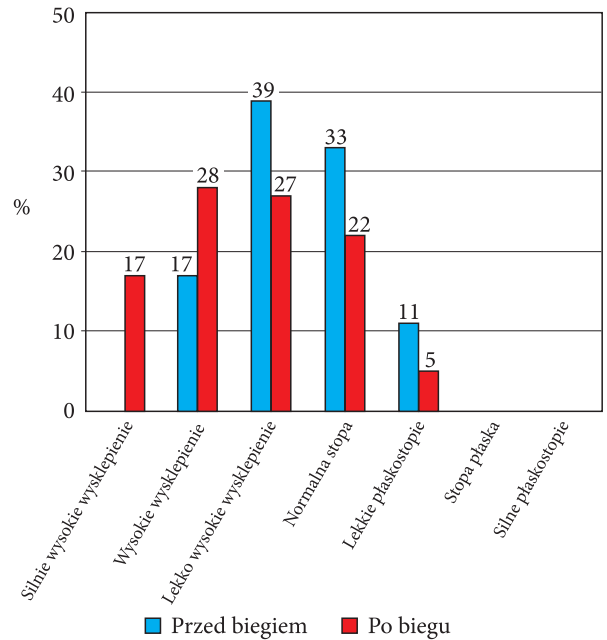


Fig. 1. Typology of feet before and after the race

on the feet after the race. The change in load was also manifested in their arching. Before the race, body mass in a standing position was not distributed evenly between the two feet. In most of the runners, the left foot was more loaded than the right one. The left foot is more likely to have a supportive function, which may be due to a functional asymmetry. It is assumed that the adoption of the stance posture and the functional privilege of the right upper extremity provide the basis for preferring the left lower extremity for supportive functions. The extremity is also more frequent to be used as a launching extremity at the jumps, as it performs supportive-launching functions (20). After a long-distance race, in which the movements are symmetrical, part of the load has been transferred to the right foot, although a difference in the load between the feet remained.

After analyzing the load of the forefoot, midfoot and hindfoot, it was found that the character of changes differed between the right foot and the left foot. The distribution of weight in the right foot did not change significantly, while in the left foot, an increase in the load in the forefoot and hindfoot, as well as a decrease in the load on the midfoot, were observed. The change influenced the foot typology; after the race, a higher number of runners had a high or a very high arch of the foot. This complies with the views of Skarżyński (21), who has stated that long-distance runners land on their heel during the run, rolling over on their foot and only then launching, making the foot arch less loaded. Classical technique, in which



Ryc. 1. Odsetek osób w kategoriach wysklepienia stopy przed i po biegu

wysklepienia stóp u tych osób i w konsekwencji prowadzi również do zmniejszenia ich poziomu sprawności fizycznej (19).

Badania własne wykonane bezpośrednio po biegu wykazały, że obciążenie struktur anatomicznych ma swoje rezultaty w rozłożeniu nacisku w obrębie stóp. Zmiana obciążenia przejawiała się także w obrazie ich wysklepienia. Przed biegiem masa ciała w pozycji stojącej nie była rozłożona równomiernie na obie stopy. U większości biegaczy bardziej obciążona była lewa kończyna, która częściej pełni funkcję podporową, co może wynikać z asymetrii funkcjonalnej. Przyjmuje się, że przyjęcie postawy spionizowanej i uprzywilejowanie funkcjonalne prawej kończyny górnej stwarza podstawę do częstszego preferowania w funkcjach podporowych lewej kończyny dolnej. Kończyna ta częściej niż prawa pełni również funkcje odbijające przy skokach, ona bowiem pełni funkcje podporowo-odbijające (20). Po biegu długodystansowym, w którym ruchy mają charakter symetrycznych czynności, część obciążenia została przeniesiona na stopę prawą, choć różnica obciążeń między stopami pozostała.

Analizując obciążenia w obrębie przodostopia, śródstopia i tyłostopia zaobserwowano, że obraz zmian po biegu był różny w stopie prawej i lewej. Rozkład obciążeń w stopie prawej nie zmienił się istotnie, natomiast w stopie lewej nastąpił wzrost obciążenia przodostopia i tyłostopia oraz zmalało obciążenie śródstopia. Zmiana ta wpłynęła na typologię stopy; po biegu zwiększyła się liczba biegaczy, u których sklepienie podłużne tej stopy uległo uniesieniu. Jest to zgodne z poglądami Skarżyńskiego (21), który twierdzi, że biegacze długodystansowi w czasie biegu lądują na piętę, przetaczając stopę i dopiero wtedy następuje odbicie, przez co mniej obciążone jest wysklepienie stopy. Technika

a runner lands on the midfoot, is only used by the best marathoners (22). The study subjects did not belong to this group of athletes, therefore, they may have increased their load on left hindfoot after the race, as the left side was more loaded in them during the race. At the same time, a significant increase in pressure on the left median and lateral heel has been observed in the analysis of the load on 10 foot zones. In a study concerning foot load after a 60-minute race, Escamilla-Martinez et al. (9) have also observed changes in foot pressure – changes leading a tendency for pronation and a pressure increase of the medial heel and II metatarsal head. A tendency for pronation has also been noted by Cowley and Marsden in runners after a half-marathon (7). However, Masłoń and Golec (23) have reported that an increase in pressure on lateral metatarsal heads in some of the participants. The authors explain this phenomenon by the adaptation to the training, resulting from the change in proportion of the support phase to the swing phase in the course of the race.

It is believed that physical activity is associated with a correct foot arching (18, 19, 24-28). However, too much stress may be detrimental to foot structure and functioning.

CONCLUSIONS

1. Long-distance run affects the weight distribution between the feet. In our participants, the left foot was more loaded, but the differences in weight distribution were reduced after the race.
2. In both feet after the long-distance run, pressure distribution pattern has changed. In the left foot, pressure is increased on forefoot and midfoot, and decreased on midfoot, resulting in a higher arch. In the right foot, the changes in pressure distribution before and after the race have not been relevant.
3. After the long-distance run, the load on feet changes, and the typology of the feet changes accordingly.

CONFLICT OF INTEREST KONFLIKT INTERESÓW

None
Brak konfliktu interesów

klasyczną, w której ląduje się na śródstopiu, biegają tylko najlepsi maratończycy (22). Badane osoby nie należały do tej grupy zawodników, dlatego mogło u nich zwiększyć się obciążenie tyłostopia lewej kończyny, która w większym stopniu była obciążana w czasie biegu. Równocześnie w obrębie 10 stref stopy lewej w badaniu statycznym zaobserwowano istotne zwiększenie ciśnienia po bocznej i przyśrodkowej stronie pięty. W badaniach dotyczących obciążenia stopy po biegu trwającym 60 minut zmianę obciążeń stopy stwierdzili także Escamilla-Martinez i wsp. (9). Zaobserwowali oni zmiany prowadzące do jej pronacyjnego ustawienia oraz zwiększenie się nacisku po stronie przyśrodkowej pięty i pod głową II kości śródstopia. Pronacyjne ustawienie stopy po biegu na dystansie półmaratonu stwierdzili również Cowley i Marsden (7). Natomiast Masłoń i Golec (23) zaobserwowali u części badanych zwiększenie częstości obciążeń głów kości śródstopia po stronie bocznej. Autorzy tłumaczą taką sytuację adaptacją do treningu biegowego, wynikającą ze zmiany proporcji czasu fazy podparcia do fazy wymachu, które zmieniają się w czasie biegu.

Przyjmuje się, że aktywność fizyczna wiąże się z prawidłowym wysklepieniem stóp (18, 19, 24-28). Jednak zbyt duże obciążenia mogą być niekorzystne dla jej struktury i prawidłowego funkcjonowania.

WNIOSKI

1. Bieg długodystansowy wpływa na zmianę rozłożenia ciężaru ciała pomiędzy stopami. U badanych osób bardziej obciążona była stopa lewa, jednak po ukończeniu biegu różnice w obciążeniu stóp uległy zmniejszeniu.
2. W obu stopach po biegu długodystansowym zmienia się obciążenie strony podeszwowej. W stopie lewej zwiększa się obciążenie przodo- i tyłostopia, a zmniejsza śródstopia, zwiększa się zatem stopień wysklepienia. W stopie prawej różnice przed i po biegu nie są istotne.
3. Po biegu długodystansowym ulegają zmianie obciążenia działające na stopy, z tego względu następuje zmiana typologii.

REFERENCES/PIŚMIENNICTWO

1. Nowak PF: Poziom zaangażowania polskich biegaczy w ich sportową pasję. In: Siwiński W, Pluta B (ed.): Teoria i metodyka rekreacji ruchowej w świetle aktualnych badań. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań 2012: 290-301.
2. Nowak PF, Supiński J: Uczestnictwo w biegach maratońskich, a zdrowotność polskich biegaczy. *Rozprawy Naukowe Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu* 2014; 45: 41-47.
3. Maciantowicz J: Ruch fizyczny o charakterze wytrzymałościowym (bieg) zapobiega starzeniu się, lecz z patologicznych chorób społecznych. *Polish J Sport Med* 2003; 19(4): 133-138.
4. Galdino G, Romero TR, Silva JF et al.: The endocannabinoid system mediates aerobic exercise-induced antinociception in rats. *Neuropharmacology* 2014; 77: 313-324.

CORRESPONDENCE
ADRES DO KORESPONDENCJI

*Małgorzata Nyc
ul. Karpacka 99A,
58-533 Kostrzyca, Polska
tel.: + 48 668 151 753
e-mail: fibichmag@wp.pl

5. Raichlen DA, Foster AD, Gerdeman GL et al: Wired to run: exercise-induced endocannabinoid signaling in humans and cursorial mammals with implications for the 'runner's high'. *J Exp Biol* 2012; 215: 1331-1336.
6. Masataka U, Wanseok L, Courtney AM, Shelby CH: Influence of Moderate Intensity Physical Activity Levels and Gender on Conditioned Pain Modulation. *J Sport Sci* 2016; 34.5: 467-476.
7. Cowley E, Marsden J: The effects of prolonged running on foot posture: a repeated measures study of half marathon runners using the foot posture index and navicular height. *J Foot Ankle Res* 2013; 6(1): 20.
8. Deleu PA, Matricau G, Leemruse T: Impact of 90 minutes running exercise on plantar loading of the forefoot: a prospective study on symptom-free athletes. *J Foot Ankle Res* 2008; 1(1): O18.
9. Escamilla-Martinez E, Martinez-Nova A, Gómez-Martin B et al.: The Effect of Moderate Running on Foot Posture Index and Plantar Pressure Distribution in Male Recreational Runners. *J Am Podiat Med Assn* 2013; 103(2): 121-125.
10. Griffin NL, Richmond BG: Cross-sectional geometry of the human forefoot. *Bone* 2005; 37(2): 253-260.
11. Karagounis P, Prionas G, Armenis E et al.: The impact of the Spartathlon ultramarathon race on athletes' plantar pressure patterns. *J Foot Ankle Res* 2009; 2(4): 173-178.
12. Nagel A, Fernholz F, Kibele C, Rosenbaum D: Long distance running increases plantar pressures beneath the metatarsal heads: a barefoot walking investigation of 200 marathon runners. *Gait Post* 2008; 27: 152-155.
13. Kuraś Z: Czynnościowe badania stopy u średnio i długodystansowców. *AZS Warszawa. Kultura Fizyczna* 1958; 8: 567-574.
14. Stawczyk Z: Skoczność dosiężna a wysklepienie stopy. *Roczniki Naukowe WSWF Poznań* 1965; 10: 229-240.
15. Gradek J, Mleczo M, Bora P: Wysklepienie stóp młodych lekkoatletek. *JPES* 2004; 6-7: 11-14.
16. Ślężyński J, Rottermund J: Cechy plantograficzne stóp kobiet w średnim i starszym wieku w zależności od charakteru pracy oraz czynników środowiskowych i osobniczych. *JPES* 1999; 4: 41-68.
17. Furgał W, Adamczyk A: Ukształtowanie sklepienia stopy u dzieci w zależności od wskaźnika masy ciała. *Polish J Sport Med* 2009; 25(3): 189-199.
18. Trocińska A: Charakterystyka wybranych parametrów budowy stóp kobiet i mężczyzn uprawiających karate. In: Marecki B (ed.): *Sport i turystyka we współczesnym stylu życia*. AWF. Poznań 2009: 89-95.
19. Lichota M, Plandowska M, Mil P: Wysklepienie stóp zawodników wybranych dyscyplin sportowych. *Pol J Sport Tourism* 2013; 20: 135-146.
20. Malinowski A: *Auksologia: rozwój osobniczy człowieka w ujęciu biomedycznym*. Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2004.
21. Skarżyński J: *Biegiem przez życie*. Mega Sport, Szczecin 2012.
22. Thurgood G, Sepstead G, Stankiewicz C: *Bieganie od rekreacji do maratonu*. Solis, Warszawa 2014.
23. Masłoń A, Golec E: Ocena wpływu biegów rekreacyjnych na wzorec obciążenia przodostopia w fazie odbicia. *Med Rehabil* 2013; 17(3): 13-22.
24. Abshire D, Metzler B: *Bieganie naturalne*. Buk Rower. Warszawa 2013.
25. Furgał W, Adamczyk A: Ukształtowanie sklepienia stopy u dzieci w zależności od poziomu aktywności fizycznej. *Med Sport* 2008; 24, 5(6) 311-317.
26. Lizis P, Puszczalowska-Lizis E: Charakterystyka zmian podszwowej powierzchni stóp oraz związek z wybranymi cechami budowy ciała koszykarzy I ligi polskiej. *Physiother* 2006; 14(1): 43-52.
27. Trzcinińska D, Tabor P, Olszewska E: Plantograficzna analiza wybranych parametrów budowy stóp młodych siatkarki. *JPES* 2008; 52(4): 207-212.
28. Zieliński JR, Ilnicka L: Stopy ciężarowców w świetle badań ciągłych. *JPES* 1992; 35(3): 43-52.

submitted/nadesłano:

24.02.2017

accepted/zaakceptowano do druku:

10.04.2017