

Zaangażowanie Autorów

A – Przygotowanie projektu badawczego
B – Zbieranie danych
C – Analiza statystyczna
D – Interpretacja danych
E – Przygotowanie manuskryptu
F – Opracowanie piśmiennictwa
G – Pozyskanie funduszy

Author's Contribution

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

Wojciech Cieśla^{1(A,B,C,D,E)}, Krzysztof Gieremek^{1,2(A,C,D)}, Jarosław Drabik^{1(A,B)}, Michał Górny^{1(A,B)}

¹ Instytut Nauk Medycznych, Katedra Fizjoterapii GWSH, Katowice, Polska

² Zakład Fizykoterapii i Odnowy Biologicznej, Wydział Fizjoterapii AWF, Katowice, Polska

¹ Institute of Medical Sciences, Chair of Physiotherapy, Katowice School of Economics, Poland

² Department of Physical Therapy and Wellness, Faculty of Physiotherapy, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Poland

ANALIZA PEDOBAROGRAFICZNA OBCIĄŻENIA STOPY W CZASIE CHODU Z UŻYCIEM KIJÓW NORDIC WALKING

PEDOBAROGRAPHIC ANALYSIS OF THE FOOT LOAD DURING NORDIC WALKING MARCH

Słowa kluczowe: stopa, analiza pedobarograficzna, obciążenie stawów

Key words: foot, pedobarographic analysis, joint load

Streszczenie

Wstęp. Nordic Walking (NW) jest formą aktywności fizycznej przynoszącą wymierne korzyści profilaktyczno-zdrowotne. Ogólna poprawa wydolności organizmu wynikająca z treningu marszowego, uzyskiwana jest przy ograniczeniu obciążeń aparatu kostno-stawowego, zwłaszcza w obrębie stopy. Celem pracy była ocena i porównanie obciążeń stopy w trakcie marszu bez kijów i z kijami, wykonywanego z różną prędkością.

Materiał i metody. Badaniem objęto osoby systematycznie uprawiające NW – 22 mężczyzn i 18 kobiet. W badaniu wykorzystano platformę tensometryczną „Mat Scan”. Próby przeprowadzono w trakcie marszu bez obuwia.

Wyniki. Całkowite obciążenie stopy zmienia się istotnie w zależności od tempa marszu ($p < 0,001$) oraz w zależności od braku kijów lub ich stosowania w trakcie marszu ($p < 0,00$). Niezależnie od tempa marszu, marsz z kijami powoduje odciążenie przodostopia ($p < 0,00$). Średnie szczytowe wartości nacisku w obrębie pięty były nieznacznie wyższe podczas próby marszowej z kijami, w tym wypadku zmienne tj. tempo marszu ($p < 0,23$), użycie kijów ($p < 0,14$) nie były istotne statystycznie.

Wnioski. Stosowanie treningu NW powoduje zwiększenie sił reakcji podłoża przypadających w fazie wyroku na piętę, co rejestruje się szczególnie wyraźnie dla marszu w szybkim tempie. Uzyskane wyniki skłaniają do zweryfikowania opinii o mniejszym obciążeniu poszczególnych części stopy w trakcie tego rodzaju aktywności fizycznej.

Summary

Background. Nordic Walking (NW) is a form of motor activity having measurable preventive and health-related benefits. General improvement of body capacity, resulting from marching training is obtained with limited loads exerted on the osteoarticular apparatus, particularly in the foot area. The aim of this study was an assessment and comparison of foot loading during walking without poles and with sticks with different velocities.

Material and methods. The sample comprised 22 males and 18 females regularly involved in NW. A tensometric platform, Mat Scan, was used for the study. The trials were conducted during marching barefoot.

Results. The total loading of the foot changes significantly depending on marching pace ($p < 0.001$) and on using or not using poles ($p < 0.00$). Regardless the pace, marching with poles results in unloading of the forefoot ($p < 0.00$). The mean maximal values of pressure in the heel area were slightly higher during the marching trial with poles. In this case, such variables as walking speed ($p < 0.23$) and using poles ($p < 0.14$) were statistically insignificant.

Conclusions. NW training results in the increase in ground reaction forces in the phase involving step forward on the heel, which is particularly visible during quick marching. The obtained results make us verify the opinion concerning lower loads exerted on each part of the foot during this kind of physical activity.

Word count: 4806

Tables: 4

Figures: 0

References: 16

Adres do korespondencji / Address for correspondence

dr n. med. Wojciech Cieśla

Katedra Fizjoterapii GWSH, Katowice

ul. Kostki Napierskiego 38, 40-659 Katowice, Poland, tel/fax: +48 (32) 252 05 54, e-mail: wojtek.ciesla@op.pl

Otrzymano / Received

xx.xx.200x r.

Zaakceptowano / Accepted

xx.xx.200x r.

Wstęp

Od kilku lat obserwuje się stale wzrastającą liczbę osób uprawiających Nordic Walking (NW). W doniesieniach naukowych zajmujących się tematyką sportową i rekreacyjną podkreśla się, że NW przynosi wymierne korzyści profilaktyczno-zdrowotne. Porównując wykonywany w tym samym tempie marsz bez kijów i z kijami, w przypadku tego drugiego można spodziewać się bardziej efektywnych reakcji ze strony układu krążeniowo-oddechowego, naczyniowego, zwiększonego wydatku energetycznego [1,2]. Dla osób mających problemy z równowagą ciała, które ułatwiają poruszanie się w terenie, chroniąc przed upadkami.

W przypadku takich form lokomocji, w których występuje faza lotu, a więc truchtu lub biegu, dodatkowo wykonywanego bez obuwia, uwidacznia się naturalny mechanizm ochraniający piętę. Kontakt stopy z podłożem rozpoczyna się od przodostopia, następnie dochodzi do niewielkiej pronacji w stawie skokowym dolnym, a pięta dotyka podłoża jako ostatnia [3,4,5,6]. W przypadku marszu na dłuższym dystansie, wykonywanego w szybkim tempie po twardej nawierzchni, dodatkowo bez obuwia, człowiek automatycznie rozpoczyna krok od pięty, ale wraz ze zwiększeniem przebytego dystansu i tempa marszu opuszcza ją na podłoże „delikatniej”. W sytuacji marszu z kijami takie „oszczędzanie” pięty zaburza prawidłową technikę NW, w której oprócz innych elementów, dużą uwagę zwraca się na końcową fazę przetaczania stopy. Odpowiednie użycie kija w tej fazie ma na celu efektywniejsze odbicie z przodostopia i palców stopy, jednocześnie nadając dodatkowy impet całemu cyklowi chodu. Innymi słowy, idąc poprawnie technicznie trudno jest „oszczędzać” piętę. Można zatem postawić pytanie: czy wprowadzenie do marszu dodatkowego elementu w postaci kijów nie zaburza naturalnej amortyzacji stopy, doprowadzając w konsekwencji do przeciążeń w obrębie pięty? Czy NW można bezpiecznie uprawiać idąc boso i czy w przypadku obuwia używanego do NW zasadne jest stosowanie systemów amortyzacyjnych w obrębie pięty?

Materiał i metody

Badaniem objęto osoby systematycznie uprawiające NW. W ocenianej grupie było 22 mężczyzn w wieku 19-54 lata i 18 kobiet w wieku 20-40 lat. Wśród badanych dwie osoby były instruktorami NW. Kryterium wykluczenia z badań: stwierdzone znaczne strukturalne i czynnościowe deformacje stopy, znaczące błędy w technice NW. W badaniu wykorzystano platformę tensometryczną „Mat Scan” firmy „Tekscan” wraz z oprogramowaniem, rejestrując wartości sił reakcji pomiędzy poszczególnymi rejonami stopy a podłożem. Próby przeprowadzono w trakcie marszu bez obuwia, w różnym tempie, z kijami i bez kijów. Tempo marszu ustalano za pomocą metronomu na dystansie 20 metrów. Marsz wolny (MW) odpowiadał 70 kr/min, marsz szybki (MS) – 140 kr/min. Zarówno w przypadku marszu szybkiego, jak i marszu wolnego obliczano liczbę kroków przypadających na odcinek 10 m. Dla każdego badanego indywidualnie obliczano długość pojedynczego kroku odpowiadającego marszowi w wolnym, a następnie w szybkim tempie. Punktem znacznikowym była środkowa część

Background

The number of people practicing Nordic Walking (NW) has been continuously increasing in recent years. Scientific reports dealing with sports and recreation issues emphasize that NW has preventive and health-related benefits. Comparing marching with and without poles at the same pace we can say that the expected responses from the circulatory-respiratory and vascular system are more effective and energy expenditure is greater in the latter case [1,2]. Besides, poles make it easier for the individuals having problems with balance to move in the field, protecting them against falls.

In the forms of locomotion with flight phase, such as trot or running, additionally without shoes, the natural heel-protecting mechanism can be observed. The contact between the foot and the ground starts with forefoot involvement followed by a slight pronation in the lower ankle joint, and the heel is the last to strike the ground [3,4,5,6]. In the case of long distance quick marches barefoot on a hard surface, we automatically start with the heel, but with more distance covered and at a quicker pace we strike the ground with the heel more "gently". When marching with poles, such "heel saving" disturbs the correct NW technique involving, apart from other elements, a lot of attention paid to foot rolling. A proper usage of the pole in this phase is aimed to bring the forefoot off the ground more effectively, adding an impetus to the whole gait cycle. In other words, it is difficult to "save" the heel during a technically correct walking. Therefore, a question can be posed whether an additional element (poles) in marching would disturb a correct amortization of the foot leading to overload in the heel area. Can NW be safely practiced barefoot? Is it justifiable to use amortization systems protecting the heel area in NW shoes?

Material and methods

The sample comprised 22 males aged 19-54 years and 18 females aged 20-40 years. Two of the study participants were NW instructors. The exclusion criteria were the following: diagnosed significant structural and functional foot deformities and substantial errors in NW technique performance. A tensometric platform, "Mat Scan" by Tekscan with software was used for the study. The device recorded the values of reaction forces between individual areas of the foot and the ground. The trials were carried out during marching barefoot at different paces with and without poles. The marching pace was set using a metronome at a 20 m distance. Slow marching (MW) corresponded with 70 steps/min while quick marching (MS) corresponded with 140 steps/min. Both during the quick and slow marching, the number of steps in 10 m segments was calculated. For each subject the length of a single step corresponding with walking at a low, and next at a quick pace, was calculated. The central part of the foot at the level of the base of the fifth metatarsal bone was the marking point. The

stopy na wysokości podstawy V kości śródstopia. Tor pomiarowy składał się ze ścieżki marszowej zakończonej platformą tensometryczną. Na ścieżce, za pomocą znaczników określano indywidualnie dla każdego badanego długość kroków, odpowiadającą marszowi wolnemu, a następnie szybkiemu. Wykonano następujące próby: MW bez kijów (MW b.k.), MW z odepchnięciem kijami (MW k.), MS bez kijów (MS b.k.), MS z odepchnięciem kijami (MS k.). Analizie statystycznej poddano maksymalny szczytowy nacisk styczny w momencie kontaktu z podłożem: pięty, całej stopy – stopa płasko, przodostopia.

W opracowaniu wyników wykorzystano: testy normalności Kałmogorowa-Smirnowa, analizę wariancji dla powtarzanych pomiarów, analizę post-hoc. Przyjęto poziom istotności statystycznej $p < 0,05$.

Wyniki

Przeprowadzona analiza wariancji dla powtarzalnych pomiarów wykazała, że we wszystkich próbach pomiarowych dla całkowitego obciążania stopy istotna jest szybkość/tempo marszu ($p < 0,001$). Obciążenie zmienia się również istotnie w zależności od tego czy idziemy z kijami, czy bez ($p < 0,00$). Analiza „post hoc” pokazała wyraźne zróżnicowanie obciążenia stopy pomiędzy wszystkimi próbami, z wyjątkiem marszu z kijami w tempie wolnym i szybkim (Tab. 1). Niezależnie od tempa marszu, w momencie użycia kijów uzyskujemy odciążenie przodostopia ($p < 0,00$). Szczegółowe wyniki analizy post hoc przedstawia Tab. 2.

Zmiennymi, które miały wpływ na czas kontaktu stopy z podłożem, były: szybkość marszu ($p < 0,00$) oraz użycie kijów ($p < 0,00$). Wraz ze wzrostem tempa marszu w momencie używania kijów, czas kontaktu stopy z podłożem ulegał skróceniu ($p < 0,047$). Szczegółowe porównanie wpływu tempa marszu i użycia kijów na czas kontaktu stopy z podłożem przedstawia Tab. 3.

Zmienne, tj. tempo marszu ($p < 0,23$) i użycie kijów ($p < 0,14$), nie wpływały istotnie statystycznie na zmiany obciążenia w obrębie samej pięty (Tab. 4). Średnie wartości szczytowego maksymalnego nacisku w obrębie pięty wynosiły: marsz wolny (bez kijów – 672,8 N; z kijami – 690,4 N); marsz w szybkim tem-

measurement track consisted of the marching path with the tensometric platform at the end. On this path, the length of steps, corresponding with slow and quick marching was determined individually for each marker. The following trials were conducted: slow marching without poles (MW b.k.), slow marching with poles (MW k.), quick marching without poles (MS b.k.) and quick marching with poles. The maximum peak contact pressure at the moment of contact between the ground and: the heel, the whole foot – the foot flat and the forefoot was subjected to statistical analysis.

The statistical analysis involved: Kałmogorow-Smirnow normality tests, variance analysis for repeated measurements and post hoc analysis. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results

The analysis of variance for repeated measurements showed that marching speed was significant ($p < 0.001$) in all the measurements of total foot loading. The loading is also subject to changes, depending on using or not using poles ($p < 0.00$). The “post hoc” analysis showed a clear differentiation of foot loading between all the trials except these involving slow and quick marching with poles (Table 1). Regardless the marching pace, the forefoot is unloaded at the moment when poles are used ($p < 0.00$). The detailed results of the post hoc analysis are presented in Table 2.

The variables affecting the foot-ground contact time included marching pace ($p < 0.00$) and using poles ($p < 0.00$). With the increase in marching pace, using poles resulted in the reduction of the foot-ground contact time ($p < 0.047$). Table 3 presents a detailed comparison of the effects of marching pace and using poles at the moment of foot-ground contact.

The variables including marching pace ($p < 0.23$) and using poles ($p < 0.14$) did not significantly affect any changes in loading within the heel area itself (Table 4). The mean values of the peak maximal pressure in the heel area were the following: slow marching (without poles – 672.8 N; with poles – 690,4

Tab. 1. Analiza post hoc – porównania szczegółowe: tempo marszu i użycie kijów – na obciążenie całej stopy

Tab. 1. Post hoc analysis – detailed comparisons: the marching pace and the use of poles – and the load on the whole foot

		MW b.k.	MW k.	MS b.k.	MS k.
1	MW b.k.	-	0,000	0,001	0,000
2	MW k.	0,000	-	0,001	0,329
3	MS b.k.	0,001	0,001	-	0,000
4	MS k.	0,000	0,329	0,000	-

Tab. 2. Analiza post hoc – porównania szczegółowe: tempo marszu i użycie kijów – na obciążenie przodostopia

Tab. 2. Post hoc analysis – detailed comparisons: the marching pace and the use of poles – and the load on the forefoot

		MW b.k.	MW k.	MS b.k.	MS k.
1	MW b.k.	-	0,001	1,0	0,00
2	MW k.	0,001	-	0,002	1,0
3	MS b.k.	1,0	0,002	-	0,00
4	MS k.	0,000	1,0	0,002	-

Tab. 3. Analiza post hoc – porównania szczegółowe: tempo marszu i użycie kijów – na czas kontaktu stopy z podłożem
 Tab. 3. *Post hoc analysis – detailed comparisons: the marching pace and the use of poles – during the foot's contact with the ground*

		MW b.k.	MW k.	MS b.k.	MS k.
1	MW b.k.	-	0,0	0,0	0,0
2	MW k.	0,0	-	1,0	0,31
3	MS b.k.	0,0	1,0	-	1,0
4	MS k.	0,0	0,31	1,0	-

Tab. 4. Analiza wariancji – wpływ zmiennych niezależnych: tempa marszu, użycia kijów oraz ich interakcji na zmienną zależną – obciążenie pięty

Tab. 4. *Variance analysis – the influence of independent variables: the marching pace and the use of poles and their interaction with a dependent variable – the load on the heel*

	stopnie swobody	MS	F	p
tempo	1	319,288	1,47	0,233
kije	1	251,330	2,18	0,149
tempo/kije	1	7,624	0,11	0,734

- MS – średni kwadrat efektu wywołany przez poszczególne czynniki;
- F – średnie kwadraty MS (są to odchylenia od wartości średniej wywołane danym czynnikiem: pierwszym – tempem marszu, drugim – użyciem kijów)

pie: (bez kijów – 685,5 N; z kijami – 710,2 N). W trakcie marszu wolnego, w obrębie pięty szczytowy nacisk był o 2,62% wyższy podczas próby z kijami. W przypadku marszu w szybkim tempie użycie kijów zwiększało obciążenie w obrębie pięty średnio o 3,6%.

Dyskusja

Chód, marsz czy bieg są od dawien dawna najprostszymi sposobami przemieszczania się człowieka, u którego w przebiegu złożonych i długotrwałych zmian ewolucyjnych wykształciły się optymalne mechanizmy umożliwiające pokonywanie, idąc czy biegnąc, znacznych odległości w różnych warunkach terenowych. Zdaniem Prof. D. Carrier'a z Utah University, „jako gatunek jesteśmy bardzo dobrymi piechurami i ewolucyjnie doprowadziliśmy tę czynność zarówno pod względem biomechanicznym, jak i ekonomii wydatku energetycznego niemalże do perfekcji” [7]. Wieloośrodkowe badania prowadzone przez Carrier'a i wsp. pokazują, że sama sekwencja stawiania poszczególnych części stopy na podłożu, a więc w sposób naturalny rozpoczynanie kroku od pięty, wywołuje szereg reakcji ze strony innych części układu ruchu, w efekcie optymalizując chód pod względem długości kroku i wydatkowanej energii. Jeżeli idący człowiek rozpoczyna krok od śródstopia lub palców, wyraźnie zwiększa to amplitudę wychwiał ogólnego środka ciężkości ciała, a tym samym zwiększa się zaangażowanie mięśni kontrolujących staw biodrowy, kolanowy i skokowy. Idąc „od palców”, zwiększony wydatek energetyczny związany jest również z mniej stabilnym układem ciała, a to z kolei wymusza stawianie krótszych kroków, z większą częstotliwością, a sam proces przemiany energii potencjalnej w energię kinetyczną, związany głównie z pracą kończyn dolnych, jest dużo mniej sprawny niż w przypadku chodu rozpoczynającego się od pięty [8].

N); quick walking: (without poles – 685.5 N; with poles – 710.2 N).

During the slow marching, the peak pressure exerted on the heel was 2.62% higher when poles were used. During the quick marching, using poles contributed to load increase in the heel area by 3.6% on average.

Discussion

For ages, walking, marching or running have been the simplest ways of moving for a humankind. In the course of complex and long term evolutionary changes, optimal mechanisms were formed, enabling covering long distances by means of walking or running in different field conditions. According to Prof. D. Carrier'a from Utah University, as a species, we are very good walkers and through evolution, the humankind has learned to do it almost perfectly, both in terms of biomechanics and the economy of energy expenditure [7]. Multicenter studies conducted by Carrier et al. show that the sole sequence of striking the ground with various parts of the foot, thus starting the step naturally with the heel, evokes a series of responses from other parts of the musculoskeletal system, which lead to optimization of gait in terms of step length and energy expenditure. If we start our steps with the metatarsus or the toes, we clearly increase the sway amplitude of the main center of body gravity, thus increasing the involvement of the muscles responsible for controlling the hip, knee and ankle joints. When we start walking with the "toes", the increased energy expenditure is also connected with a less stable body alignment, forcing more frequent and shorter steps and the process of potential energy transformation into kinetic energy, mainly connected with the activity of the lower limbs, is significantly less efficient than in the case of steps started with a heel [8].

Od milionów lat nasi przodkowie poruszali się głównie boso, co prawdopodobnie miało znaczący wpływ na przystosowanie się stopy (odpowiednia siła mięśniowa, ruchomość, amortyzacja, czucie eksteroceptywne i propioceptywne) do pełnionej funkcji [9,10]. Na drodze ewolucji doskonalenie chodu odbywało się bez używania dodatkowych przyrządów wspomagających pracę stopy czy ułatwiających utrzymanie równowagi ciała. Według wielu opinii naukowych, zabezpieczenie stopy w postaci prostego, a później coraz bardziej udoskonalanego obuwia, spowodowało niewątpliwą korzyść w postaci jej ochrony przed zranieniem, doprowadzając jednocześnie do zmian w biomechanice funkcjonowania samej stopy. W przypadku biegu w obuwiu, zwłaszcza sportowym, wyposażonym w dobre systemy amortyzacji, główny impet kontaktu stopy z podłożem przypada najczęściej na piętę, powodując przeniesienie działających sił na ścięgno Achillesa, staw kolanowy i wyższe piętra całego łańcucha kinematycznego. Biegając bez obuwia, jeżeli pierwszą częścią stopy atakującą podłoże jest pięta, generowane siły wynikające z jej kontaktu z podłożem są znacznie większe. Aby unikać niekomfortowej sytuacji związanej z obciążaniem pięty, biegający boso człowiek automatycznie uruchamia naturalny mechanizm amortyzacji, stawiając na podłożu jako pierwszą zewnętrzną część przodostopia, następnie delikatnie pronuje śródstopie i dopiero w końcowej fazie dochodzi do kontaktu pięty z podłożem [5,9,10,11]. Opisany mechanizm doskonale się sprawdza w sytuacji, gdy występuje tzw. faza lotu, charakterystyczna dla biegu, ale nie w przypadku marszu, w którym idąc w sposób naturalny, krok zawsze rozpoczynamy od pięty i dzieje się tak niezależnie od tempa marszu. W przypadku marszu na dłuższym dystansie, wykonywanego w szybkim tempie i dodatkowo bez obuwia, pojawia się – porównując z biegiem – bardziej dyskretny sposób ochrony pięty polegający na tym, że idący zaczyna automatycznie opuszczać ją na podłoże bardziej delikatnie, skracając fazę wyroku, jednocześnie nie zmienia kolejności kontaktu poszczególnych części stopy z podłożem. W przypadku NW, a więc mając dodatkowe punkty podparcia i możliwość odepchnięcia się kończynami górnymi, również powinniśmy spodziewać się zmniejszenia sił działających na stopę, w tym na piętę, czyli jej dość mocno eksploatowaną pod kątem nacisku część. Pojawia się jednak dodatkowy czynnik – idąc z kijami wykonujemy dłuższe kroki. Zastosowanie w trakcie marszu kijów powoduje u idącego tendencję do wydłużania kroku, co jest w dużej mierze efektem dodatkowego impetu wywołanego użyciem kija w fazie odbicia nogi zakrocznej – w tej fazie kij pełni swoją funkcję, wspomaga odbicie z jednoczesnym odciążeniem przodostopia. Wydłużenie kroku ma swoje dalsze konsekwencje – kontakt pięty z podłożem odbywa się wyraźnie przed środkiem ciężkości ciała, zwiększając wartość pionowej siły nacisku w obrębie pięty [12,13,14,15]. W pierwszej fazie obciążania kończyny, odpowiadającej kontaktowi pięty z podłożem, zastosowanie kijów jest bardzo mało efektywne i nie przynosi spodziewanego odciążenia, a często wręcz przeciwnie.

W technice NW, podobnie jak w trakcie normalnego, codziennego marszu, wykorzystujemy naturalny mechanizm stawiania stopy na podłożu. W porównaniu z marszem bez kijów, w przypadku NW sekwen-

For millions of years our predecessors moved mainly barefoot which probably had a significant impact on foot adjustment (a proper muscle strength, mobility, amortization as well as exteroceptive and proprioceptive sensibility) to the performed function [9,10]. Through evolution, gait development did not involve using additional support of foot activity or body balance. According to many researchers' opinions, foot protection in the form of simple shoes first, and later, shoes with more and more adjustments, was beyond doubts beneficial as the shoes protected the foot against injuries, leading at the same time to changes in biomechanics of the foot itself. As for running in shoes, especially sports shoes which are adequately amortized, the main impetus of the contact between the foot and the ground affects most often the heel, causing the shift of exerted forces on the Achilles tendon, the knee joint and the higher levels of the entire kinematic chain. If during running barefoot the heel strikes the ground first, the generated forces resulting from the contact between the heel and the ground are significantly greater. In order to avoid discomfort connected with exerting load on the foot, men running barefoot automatically activate the natural amortizing mechanism, placing first the external part of the forefoot on the ground and next, gently pronating the metatarsus. Only during the final stage the heel touches the ground [5,9,10,11]. The above described mechanism is effective during the so called flight phase which is typical for running, but not during walking. While marching, we naturally start our steps with the heel, regardless the pace. In the case of quick long distance barefoot marching, heels can be more discreetly protected than during running. While marching, we start dropping heels automatically and more gently on the ground, reducing the stance phase without changing the sequence of striking the ground with each part of the foot. In the case of NW, with additional points of support and the possibility of push-off action with the upper limbs, we should also expect reduction of the forces exerted on the foot including the heel which is especially prone to pressure. There is, however, an additional factor. When we walk with poles, our steps are longer. Using poles during marching lengthens of our steps which is to a large extent due to an additional impetus resulting from using a pole when the rear leg is off the ground. In this phase a pole supports taking off the leg, unloading at the same time the forefoot. Lengthening of steps entails further consequences – the contact between the heel and the ground clearly takes place before the center of gravity is reached, increasing the value of the vertical pressure force in the heel area [12,13,14,15]. In the first phase of limb loading, corresponding to the contact between the heel and the ground, using poles is not very effective and does not guarantee the expected unloading, frequently resulting in quite an opposite effect.

Using NW technique we take advantage of the natural mechanism of striking the ground with the feet, like during our normal, everyday walking. As compared with walking without poles, in NW the sequence of striking the ground with each part of the foot is unchanged. Moreover, we can notice that during walking with poles any attempt to change the mechanism of foot work, aimed to protect the heel, clearly disturbs the rhythm of walking and makes it

cja stawiania poszczególnych części stopy na podłożu nie ulega żadnym zmianom. Co więcej, można zauważyć, że idąc z kijami, jakkolwiek próba zmiany mechanizmu pracy stopy, mająca na celu ochronę pięty, wyraźnie zaburza rytm samego marszu i utrudnia moment efektywnego odepchnięcia się kijem. Sytuacja ta dotyczy przede wszystkim marszu wykonywanego w szybkim tempie, niezależnie od tego czy idziemy w obuwiu, czy bez.

Korzystając z wkładek tensometrycznych, umieszczonych w butach osób maszerujących z kijami i bez, Jöllebeck i wsp. wykazali, że w przypadku pięty, kije nie przynoszą korzyści w postaci odciążenia, a wręcz przeciwnie – wraz ze wzrostem tempa marszu obciążenia te są coraz większe. Wyraźne różnice dotyczyły obciążenia przodostopia i palców (głównie palucha) i były istotnie mniejsze w przypadku wspomagania marszu kijami [16].

Stief i wsp. podają, że w przypadku NW wydłużenie kroku i większy kąt pod jakim podeszwa stopy znajduje się w momencie kontaktu z podłożem, powodują większe obciążenie pięty, a w konsekwencji przeciążenia w obrębie stawu kolanowego [12]. Wyniki tych badań w znacznej części pokrywają się z wynikami naszych prób. We wnioskach wielu badań dotyczących NW pojawiają się stwierdzenia, że marsz z kijami nie powoduje redukcji obciążeń działających na stawy obwodowe kończyny dolnej, z wyłączeniem przodostopia i palców [12,13,16]. Osoby uprawiające NW, które preferują marsz w szybkim tempie po nawierzchniach twardych, betonowych i asfaltowych, powinny zadbać o obuwie wyposażone w dobre systemy amortyzujące obciążenia pięty. Zmiany techniki marszu zmniejszają efektywność odepchnięcia się kijem, a ten element w NW odgrywa znaczącą rolę, szczególnie w trakcie marszu w szybkim tempie.

Wnioski

1. Zarówno w przypadku NW, jak i chodzenia bez kijów, wraz ze wzrostem tempa marszu nieznacznie zwiększa się obciążenie pięty; wzrost ten jest większy w przypadku marszu z kijami NW.
2. Maszerując z kijami, w momencie gdy kończyna zakroczna znajduje się w środkowej i końcowej fazie przetaczania, obserwuje się mniejsze wartości sił działających na przodostopie. Wraz ze wzrostem tempa marszu, w momencie używania kijów czas kontaktu stopy z podłożem ulega skróceniu.
3. Uzyskane wyniki wskazują na potrzebę stosowania obuwia sportowego z dobrą amortyzacją pięty u osób używających kijów NW. Zalecenie to będzie miało szczególne znaczenie w przypadku marszu w szybkim tempie.

difficult for a walker to effectively push-off using a pole. This mainly concerns quick walking, no matter we are wearing shoes or not.

Using tensometric insoles in shoes among the subjects who walked with and without poles, Jöllebeck et al. have shown that poles do not unload the heel, but with the increase in walking speed they exert additional load on it. Clear differences were found in loads exerted on the forefoot and the toes (mainly the big toe) and they were significantly smaller in the case of marching supported with poles [16].

Stief et al. report that in the case of NW, step lengthening and a bigger angle of contact between the sole of the foot and the ground exert more load on the heel and, in consequence, overload the knee joint area [12]. The results of this study are very similar to the results of our other trials. Conclusions from many studies on NW include the statements that marching with poles does not cause reduction of the load exerted on the peripheral joints of the lower limb, except for the forefoot and the toes [12,13,16]. The persons involved in NW, who prefer quick marching on hard concrete and asphalt surfaces should wear shoes with good amortizing systems, assuring amortization of heel load. Changes in walking techniques decrease the effectiveness of pushing off with poles and this NW element plays a significant role, especially in quick marching.

Conclusions

1. Both in NW and marching without poles, the increase in marching pace causes a slight increase of the load exerted on the heel; such an increase is greater while marching with poles, like in NW.
2. During marching with poles, when the rear leg is in the median and final phase of rolling, lower values of forces affecting the forefoot are noted. With the increase in marching pace, the time of contact between the foot and the ground is reduced when poles are used.
3. The obtained results indicate the need of wearing sports shoes with good amortization of the heel by persons practicing NW. This recommendation is especially important in case of quick marching.

Piśmiennictwo / References

1. Tschentscher M, Niederseer D, Niebauer J. Health benefits of Nordic walking: a systematic review. *Am J Prev Med* 2013; 44 (1): 76-84.
2. Schiffer T, Knicker A, Hoffman U, Harwig B, Hollmann W, Strüder HK. Physiological responses to nordic walking, walking and jogging. *Eur J Appl Physiol* 2006; 98 (1): 56-61.
3. Miller EE, Whitcome KK, Lieberman DE, Norton HL, Dyer RE. The effect of minimal shoes on arch structure and intrinsic foot muscle strength. *J Sport Health Sci* 2014; 3: 74-85.
4. Lieberman DE, Davis IS, Nigg B. The past, present, and future of research on running barefoot and in minimal shoes. *J Sport Health Sci* 2014; 3: 65-6.

5. Richards CE, Magin PJ, Calliste R. Is your prescription of distance running shoes evidence-based? *Br J Sports Med* 2009; 43: 159-62.
6. Hopkin M. Distance running „shaped human evolution”. URL: [http:// Nature.com](http://Nature.com). 2004 041115/full/041115-9/html.
7. Carrier DR. The energetic paradox of human running and hominid evolution. 1984; *Cur. Anthro* 1984; 25: 483-495.
8. Cunningham CB, Shilling N, Anders C, Carrier DR. The influence of foot posture on the cost of transport in humans. *J Exp Biol* 2010; 213: 790-7.
9. Liebermann DE. What we can learn about running from barefoot running: an evolutionary medical perspective. *Exercise and Sport Science Reviews* 2012; 40 (2): 63-72.
10. Willems TM, Witvrouw E, De Cock A, De Clercq D. Gait – related risk factors for exercise – related lower – leg pain during shod running. *Med Sci Sport Exerc* 2007; 39: 330-339.
11. Jenkins DW, Cauthon DJ. Barefoot running claims and controversies: a review of the literature. *J Am Podiatr Med Assoc* 2011; 101: 231-46.
12. Stief F, Kleindienst FI, Wiemeyer J, Wedel F, Campe S, Krabbe B. Inverse dynamic analysis of the lower extremities during nordic walking, walking, and running. *J Appl Biomech* 2008; 24 (4): 351-9.
13. Kleindienst FI, Michel KJ, Schwarz J, Krabbe B. Comparison of kinematic and kinetic parameters between the locomotion patterns in nordic walking, walking and running. *Sportverletz Sportschaden* 2006; 20 (1): 25-30.
14. Rooney BD, Derrick TR. Joint contact loading in forefoot and rearfoot strike patterns during running. *J Biomech* 2013; 46: 2201-6.
15. Bonacci J, Saunders P, Hicks A, Rantalainen T, Vicenzino B, Spratford W. Running in a minimalist and lightweight shoe is not the same as running barefoot: a biomechanical study. *Br J Sports Med* 2013; 47: 387-92.
16. Jöllenbeck T, Leyser D, Grüneberg C. Nordic walking – a field study of biomechanical loading of the lower extremities. 4th Congress of the European Interdisciplinary Society of Clinical and Sport Application; 2006.