

PRACE ORYGINALNE

Paweł Zostawa^{1(A,B,D,E,F)}, Natalia Uścińowicz^{1(B,D,F)}, Sebastian Klich^{2(B,C,E)}, Jacek Zostawa^{3(B,F)}

Kinematyczna analiza chodu kobiet chodzących w obuwiu na wysokim obcasie

Kinematic assessment of women's gait in high-heeledshoes

¹ Wydział Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego, Wrocław

² Wydział Nauk o Sporcie, Akademia Wychowania Fizycznego, Wrocław

³ Wydział Lekarski w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice

STRESZCZENIE

Wstęp. U 60% kobiet w wieku 20-23 lata statystycznie występują zaburzenia w obrębie narządu ruchu, a zwłaszcza stóp. Kobiety często chodzące w obuwiu na wysokim obcasie narażane są na dużo większe przeciążenia układu ruchu, niż kobiety noszące buty na płaskiej podeszwie. Celem pracy była ocena parametrów biokinematycznych stawów śródstopno-paliczkowych oraz stawu skokowego górnego kobiet poruszających się w obuwiu na wysokim obcasie.

Materiał i metody. Badania przeprowadzono u 43 kobiet w wieku (22±2,1 lat). W skład grupy badanej wchodziły kobiety, które deklarowały regularne chodzenie w obuwiu na wysokim obcasie. Grupę kontrolną tworzyły kobiety, które sporadycznie chodziły w tym rodzaju obuwia. Do przeprowadzenia badań wykorzystano system analizy ruchu BTS Smart-E oraz zmodyfikowany protokół (Heyes-Davis) uwzględniający kąt w stawach śródstopno-paliczkowych oraz stawie skokowym górnym. Próby pomiarowe były wykonywane bez obuwia.

Wyniki. Wartość kąta w stawach śródstopno-paliczkowych w badaniu statycznym (P1) wyniosła 153,3° (grupa A) oraz 152,3° (grupa B), natomiast w momencie pierwszego kontaktu pięty z podłożem (P2) 149,4° oraz 149,4° (p<0,05). Podczas kontaktu głowy kości śródstopia (P3) wartość kątowa wyniosła 176,1°, natomiast w grupie kontrolnej 168,6° (p<0,05). W momencie

ABSTRACT

Introduction. Statistically, among 60 percent of women of age between 20-23, a disorder in the locomotor system, especially in the case of feet, can be observed. Women who frequently walk in a high-heeled footwear are at a much higher risk of overstraining their locomotor systems, than women who wear flat-sole shoes. The aim of the work was the assessment of the biokinematic parameters of metatarsal and phalangeal joints, as well as of the top ankle joints among women who walk in a high-heeled footwear.

Material and methods. The research was carried out on 43 women being 22±2,1 years old. The examined group consisted of women who declared to regularly walk in a high-heeled footwear. The control group included women who sporadically walk in this type of shoes. In order to carry out the research, the motion analysis system BTS Smart-E and the modified protocol (Heyes-Davis), which took into account the angle in metatarsal and phalangeal joints and in the top ankle joint, were used. The measurements were conducted without the footwear.

Results. The angular value in the statistical examination (P1) in metatarsal and phalangeal joints amounted to 153,3° (group A) and 152,3° (group B), whereas at the moment of the first contact of a heel with the ground - (P2) 149,4° and

Udział współautorów / Participation of co-authors: A – przygotowanie projektu badawczego/ preparation of a research project; B – zbieranie danych / collection of data; C – analiza statystyczna / statistical analysis; D – interpretacja danych / interpretation of data; E – przygotowanie manuskryptu / preparation of a manuscript; F – opracowanie piśmiennictwa / working out the literature; G – pozyskanie funduszy / obtaining funds

Artykuł otrzymano / recived: 13.02.2014 | Zaakceptowano do publikacji / accepted: 1.08.2014

kontaktu palucha z podłożem (P4) kąt wyniósł 176,5° oraz 169,2 (p<0,05). Natomiast w chwili braku kontaktu z podłożem (P5) wartości wynosiły odpowiednio dla grupy A 150,5°, a dla grupy B 138,7° (p<0,05).

Wnioski. Długotrwałe chodzenie w obuwii na wysokim obcasie powoduje powstawanie utrwalaonych zmian kinematyki chodu, co ukazane zostało poprzez zmniejszenie się wartości kątowych wyprostu w stawach śródstopno-palczkowych oraz zwiększenie się w stawie skokowym górnym.

Słowa kluczowe: analiza ruchu, staw śródstopno-palczkowy, staw skokowy, stopa, obuwie

Wstęp

Kobiety często chodzące w obuwii na wysokim obcasie narażane są na dużo większe przeciążenia układu ruchu, niż kobiety noszące buty na płaskiej podeszwie [1, 2]. Co więcej, w tej grupie kobiet dochodzi do zmian struktury chodu oraz budowy stopy. Zaburzenia związane z noszeniem obuwia na wysokim obcasie uwidaczniają się również w innych segmentach ciała [3].

Przybranie przez człowieka dwunożnej postawy ciała spowodowało, iż człowiek wykształcił łuki podłużne i poprzeczne w stopach. Ich zadaniem jest amortyzacja i przejmowanie drgań ciężaru ciała podczas stania i chodu. W związku z tym należy wnioskować, że człowiek jest fizjologicznie przystosowany do chodzenia w obuwii o płaskiej podeszwie, gdyż regularne noszenie wysokich obcasów powoduje zaburzenie funkcji łuków i może przyczynić się do różnego rodzaju dolegliwości i deformacji w obrębie stóp [4].

Do najczęściej występujących zmian w obrębie narządu ruchu zaliczyć można: powstawanie palca koślawego – związanego ze zwiększonym naciskiem stóp w obrębie przyśrodkowej części przodostopia, ostrogi piętowej – wywołanej zwiększoną dystrybucją sił nacisku w obrębie pięty, bóle odcinka lędźwiowego, ból w obrębie podeszwowej strony stóp, męczliwość mięśni oraz poczucie dyskomfortu [5]. Obecnie przyjmuje się, że noszenie obuwia o wysokości obcasa ok. 3,5 cm nie wpływa negatywnie na strukturę oraz funkcję stopy. Natomiast obuwie posiadające obcas powyżej 5 cm jest przyczyną powstawania dolegliwości bólowych oraz zmian przeciążeniowych narządu ruchu [7, 8]. Należy także zwrócić uwagę, że niewłaściwe ukształtowanie stopy nie jest związane tylko z noszeniem nieprawidłowego obuwia, takiego jak „szpilki” czy buty na „koturnach”, ale istotny wpływ mają również zły styl życia, na który składa się dieta, współczesna moda, czy brak aktywności fizycznej [8].

Analiza ruchu polega na wykorzystaniu systemów rejestracji filmowej [9]. U kobiet chodzących w obuwii na obcasie, za pomocą techniki „slow-motion”, można

149,4° (p<0,05). Upon the contact of the head of metatarsal (P3), the angle value amounted to 176,1°, whereas in the control group – 168,6° (p<0,05). Upon the toe's contact with the ground (P4), the angle amounted to 176,5° and 169,2 (p<0,05). At the moment when there was no contact with the ground (P5), the values amounted respectively to: group A – 150,5°, and for group B – 138,7° (p<0,05).

Conclusions. Walking in a high-heeled footwear for an extended amount of time results in permanent changes in gait kinetics, which was demonstrated through the decrease in the extension angle values in metatarsal and phalangeal joints, as well as through the increase in the top ankle joints. **Słowa kluczowe:** analiza ruchu, staw śródstopno-palczkowy, staw skokowy, stopa, obuwie

Introduction

Women who frequently walk in a high-heeled footwear are at a much higher risk of overstraining their locomotor systems, than women who wear flat-sole footwear [1, 2]. Moreover, it can be observed that in this particular group of women there is a change in the structure of the gait and the foot's build. The disorders connected with wearing a high-heeled footwear manifests itself also in other body segments [3].

Assuming the bipedal posture by a human resulted in the development of longitudinal and transverse arches of the foot. Their purpose is to absorb and take over vibrations of the body weight while standing or walking. Due to that fact, it should be concluded that a human is physiologically adaptable to walking in flat-sole footwear, as regularly wearing a high-heeled shoes causes disorders in the functioning of arches and could eventually contribute to various kinds of feet ailments and deformities [4].

The following can be described as the most commonly seen deviations in the locomotor system: the development of hallux abducto valgus (commonly called a “bunion”) – connected to the increase in the feet strain in the medial forefoot area, heel spur – caused by the increased distribution of the pressure forces in the area of the heel, pains in the lumbar area, pain around the sole part of a foot, muscle fatigability and the feeling of discomfort [5]. Currently it is believed that wearing footwear with the heel height at around 3,5 centimeters does not have negative effects on the structure and functioning of a foot. However, a footwear with heels over 5 centimeters in height is the cause of the development of pain ailments and deviations linked to overstraining of the locomotor system [7, 8]. It is also worth noticing that the incorrect foot shape is connected not only with wearing the unsuitable footwear, such as “stiletto heels” or “wedge-heeled” shoes, but also with an improper lifestyle, consisting of a diet, modern fashion, or the absence of physical activity [8].

The movement analysis bases on the usage of video recording systems [9]. Among women walking in

zaobserwować zaburzenie funkcji stopy podczas fazy podporu. Dotychczas możliwe było zbadanie strategii ruchu pięta-podeszwa powierzchnia stóp-palce za pomocą badania pedobaroskopowego. Uzyskana wzorcowa linia „M” odzwierciedla siły reakcji podłoża w czasie lokomocji [10].

W związku z powyższym, autorzy postanowili sprawdzić za pomocą obiektywnych metod badawczych występowanie zmian we wzorcu chodu, ukazanego za pomocą systemu do trójwymiarowej analizy ruchu. W tym celu postanowiono skupić się na ruchu w najbardziej istotnych stawach, tj. śródstopno-palczkowych oraz skokowym górnym. Aby przeprowadzić opisane doświadczenie postanowiono stworzyć modyfikację modelu Hayes-Davisa, który posłużyłby do szczegółowej oceny kinematyki w obrębie stopy.

Celem pracy była ocena parametrów biokinematycznych stawów śródstopno-palczkowych oraz stawu skokowego górnego kobiet poruszających się w obuwiu na wysokim obcasie.

Materiał i metody

Materiał badawczy

Badania przeprowadzono u 43 kobiet w wieku od 19 do 25 lat ($x=22$; $SD\pm 2,1$). W skład grupy badanej (A) wchodziły kobiety, które deklarowały regularne chodzenie w obuwiu na wysokim obcasie. Regularność tę zdefiniowano przynajmniej trzykrotnie w ciągu tygodnia, co najmniej przez 5 godzin, od dwóch lat. Grupę kontrolną (B) tworzyły kobiety, które w ogóle nie chodziły w obuwiu na wysokim obcasie albo rzadziej niż raz w tygodniu. U żadnej z badanych osób nie występowały urazy lub dolegliwości bólowe w trakcie badań ani w ciągu ostatnich 6 miesięcy.

Stanowisko pomiarowe

Do przeprowadzenia prób wykorzystano system analizy ruchu BTS Smart-E, który składał się z sześciu kamer cyfrowych pracujących w zakresie podczerwieni (1,1 nm, $f=60$ Hz), dwóch kamer NetworkCam AXIS 210A pracujących w zakresie widzialnym ($f=20$ Hz) oraz dwóch platform dynamometrycznych Kistler 9286A ($f=1000$ Hz). Rejestracja danych przez wszystkie urządzenia była zsynchronizowana przez jednostkę centralną komputera zawierającą wideokontroler (System VIX) oraz trzy koncentratory sieciowe (jeden Hub analogowy 32-kanalowy i dwa Huby cyfrowe, każdy posiadający 4 porty komunikacyjne). Kamery zostały umocowane na sztywno za pomocą stelaży.

Na ciele osoby badanej rozmieszczonych zostało 8 fotorefleksyjnych znaczników filmowania według zmodyfikowanego protokołu Heyes-Davisa dla stopy zbudowanej z dwóch segmentów (kości stępu i śródstopia oraz kości palców). Znaczniki zostały umieszczone w następujących punktach: głowa strzałki, środkowa długość kości strzałkowej, guz piętowy, kostka boczna, przestrzeń

high-heeled shoes, due to the slow-motion technique, a deviation in foot's function during the support phase can be noticeable. Until now, it was possible to examine the strategy of the heel-toes movement with the use of pedobaroscopic examination. The model line “M” reflects the forces of how the ground reacts during the time of locomotion [10].

Due to the aforementioned, the authors decided to examine, using the objective research methods, changes appearing in the standard gait pattern, shown with the use of a system for a three-dimensional movement analysis. To achieve such results, the focus was put on the movement in the most essential joints, that is, in metatarsal and phalangeal, as well as in the ankle joints. In order to conduct the described experiment, a modified version of Heyes-Davis model was created, which would enable a detailed assessment of kinematics in the foot area.

The aim of the work was the assessment of the biokinematic parameters of metatarsal and phalangeal joints, as well as of the ankle joints among women who walk in high-heeled shoes.

Material and Methods

Experimental methods

The research was conducted among 43 women, being between 19 and 25 years old ($x=22$; $SD\pm 2,1$). The examined group (A) consisted of women who declared to regularly walk in a high-heeled footwear. The regularity was defined as – at least three times a week, for at least 5 hours, over the course of two years. The control group (B) constituted women who did not walk in a high-heeled footwear at all, or less often than once a week. None of the examined individuals had suffered any injuries or pain-related ailments during the experiment or during the last six months.

Measurement

To carry out the tests, the system of motion analysis BTS Smart-E, was used, consisting of six digital cameras operating within the infrared range of (1,1 nm, $f=60$ Hz), two cameras NetworkCam AXIS 210A operating within the visible range of ($f=20$ Hz), as well as two dynamometric platforms Kistler 9286A ($f=1000$ Hz). The data registration of the whole equipment was synchronized by the computer's central processing unit, which included video-controller (System VIX) and three Hubs (one analogue, 32-channel Hub and two digital Hubs equipped with 4 communication ports). The cameras were firmly fastened with the use of stands.

Eight photo-reflective filming markers – with the accordance to the modified Heyes-Davis protocol for a foot build from two segments (tarsal and metatarsal bones, as well as finger bones) - were put on an examined person's body. Markers were put at the following places: the head of a calf bone, the central length of the calf bone, tuber calcanei,



Ryc.1 Rozmieszczenie znaczników filmowania według zmodyfikowanego protokołu Hayes-Davisa
Fig. 1 Placement of filming markers according to the modified protocol Hayes-Davis

między II i III głową kości śródstopia oraz głową V kości śródstopia (Ryc. 1). Aby zminimalizować błędy rozmieszczenia znaczników, omarkerowania dokonywała jedna, doświadczona osoba.

Procedura badawcza

Osoba badana miała za zadanie przejść swobodnie dobranym tempem (self-selected Speer) bez obuwia odcinek ok. 5 metrów, co pozwoli na zarejestrowanie ok. 4 pełnych cykli chodu w zależności od prędkości chodu. Zarejestrowano trzy powtórzenia celem wyliczenia przebiegów średnich oraz wydobycia przebiegów reprezentatywnych, w których tylko jedna kończyna miała kontakt z platformą tensometryczną (warunek istotny z punktu widzenia obliczeń dynamiki ruchu).

Do oceny zmian stereotypu chodu wykorzystano kąt w stawach śródstopno-paliczkowych. Został on obliczony jako kąt zawarty pomiędzy paliczkiem dalszym palucha

malleolus lateralis (ankle area), space between II and III head of a metatarsal bone and the head of V metatarsal bone (Fig. 1). In order to minimize the marker placement errors, they were put by one, experienced person.

Experimental protocol

The examined person had to naturally walk, at a self-selected pace, through a section of about 5 meters without footwear, which would enable to record about four gait cycles, depending on the pace of walking. Three repeated attempts were recorded to calculate the average courses, and to extract the representative courses, where only one limb had a contact with the strain-gauge platform (an important prerequisite as far as calculating the motion dynamics is concerned).

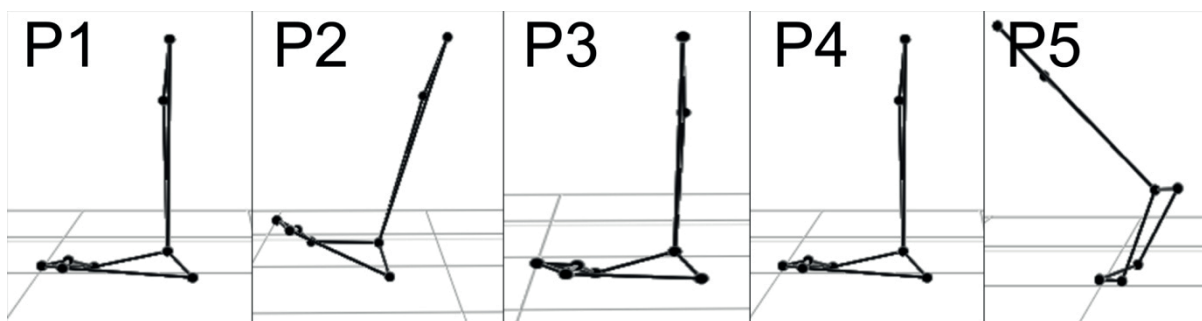
The angle in metatarsal and phalangeal joints was used for the assessment of changes in the stereotypical gait. It was calculated as an angle contained between the toe's distal phalanx and I and V head of metatarsal from the dorsal side of a foot. Furthermore, an angle in the ankle was determined between the following points: the head of a calf bone, tuber calcanei and II and III head of metatarsal bone.

All of the angular indicators were recorded during P1) resting, P2) at the moment of a heel's contact with the ground, P3) head of metatarsal's contact with the ground, P4) toe's contact with the ground, and P5) distal toe phalanx's detachment from the ground (Fig. 2).

Statistical analysis

Software BTS SmartCapture was used to record the data, while Smart Tracker was used to track the filming markers.

The raw data received as a result of tracking the markers underwent a filtering procedure, as well as refining the highlighted fragment with the method of moving average, and filling in gaps in the data through the anticipation (numerical interpolation) of data, basing on the earlier and later tendencies in SmartAnalizator program.



Ryc. 2 Model chodu uwzględniający 2-segmentową budowę stopy podczas: P1) badania statycznego; P2) kontaktu pięty z podłożem; P3) kontaktu głów kości śródstopia); P4) kontaktu I palca P5), oderwania paliczka dalszego I palca.

Fig. 2 A model of a gait which takes into account the 2-segment build of a foot during: P1) statistical examination; P2) at the moment of a heel's contact with the ground; P3) metatarsal heads' contact; P4) I toe's contact; P5) detachment of the distal phalanx of I toe.

oraz I i V głową kości śródstopia od strony grzbietowej stopy. Natomiast kąt w stawie skokowym górnym został wyznaczony pomiędzy punktami: głową strzałki, guzem piętowym oraz 2 i 3 głową kości śródstopia.

Wszystkie wskaźniki kątowe były rejestrowane podczas: P1) spoczynku, P2) w momencie kontaktu pięty z podłożem, P3) kontaktu głów kości śródstopia z podłożem oraz P4) kontaktu palucha z podłożem i P5) oderwania paliczka dalszego palucha od podłoża (Ryc. 2).

Analiza danych

W celu rejestracji danych wykorzystano oprogramowanie BTS SmartCapture, natomiast do śledzenia znaczników filmowania użyto SmartTracker.

Dane surowe otrzymane w wyniku śledzenia znaczników zostały poddane procedurze filtracji oraz wygładzania zaznaczonego fragmentu metodą średniej ruchomej oraz wypełnienia luki w danych poprzez przewidywanie (numeryczną interpolację) danych na podstawie wcześniejszych oraz późniejszych tendencji w programie SmartAnalizator.

Do obliczeń i prezentacji wyników wykorzystano MS Office Excel 2007 PL, pakiet Statistica. Różnice między wartościami średnimi przeprowadzono w oparciu o test t-Studenta dla prób zależnych. Oceniając różnice przyjęto, że były istotne na poziomie $p \leq 0,05$.

Wyniki

Kąt w stawach śródstopno-paliczkowych

Wartość kąta w stawach śródstopno-paliczkowych w badaniu statycznym (P1) wyniosła 153,3° (grupa A) oraz 152,3° (grupa B), natomiast w momencie pierwszego kontaktu pięty z podłożem (P2) 149,4° oraz 149,4° ($p < 0,05$). Podczas kontaktu głowy kości śródstopia (P3) wartość kątowa wyniosła 176,1°, natomiast w grupie kontrolnej 168,6° ($p < 0,05$). W momencie kontaktu pa-

MS Office Excel 2007 PL with Statistica pack was used to calculate and present the results. The differences between average values were carried out basing on student's t-distribution test for depended samples. During the assessment of the differences it was assumed that they were significant at the level $p \leq 0,05$.

Results

Angle of Metatarsophalangeal joints

The angle value in the statistical examination (P1) in metatarsal and phalangeal joints amounted to 153,3° (group A) and 152,3° (group B), whereas at the moment of the first contact of a heel with the ground - (P2) 149,4° and 149,4° ($p < 0,05$). Upon the contact of the head of metatarsal (P3), the angle value amounted to 176,1°, whereas in the control group - 168,6° ($p < 0,05$). Upon the toe's contact with the ground (P4), the angle amounted to 176,5° and 169,2° ($p < 0,05$). At the moment when there was no contact with the ground (P5), the values amounted respectively to: group A - 150,5°, and for group B - 138,7° ($p < 0,05$). (Tab. 1).

Angle of upper ankle degree

The angle value in the top ankle joint in the statistical examination (P1) amounted to 101,8° and 102,3° ($p < 0,05$), whereas at the moment of the heel's first contact with the ground (P2) 90,4° and 92,7° ($p < 0,05$). During the metatarsal's head contact (P3) – the angle value amounted to 89,9° and 91,2° ($p < 0,05$). The angle, at the moment of I toe's contact with the ground (P4), amounted to 89,7° and 93,0° ($p < 0,05$). Whereas at the moment of detachment from the ground (P5) – the values amounted to 90,5° and 92,2° ($p < 0,05$) respectively (Tab. 2).

Tab. 2. Average values of the angle in the top ankle joint obtained during the gait of women walking in high-heeled shoes (Group A) and in flat-sole shoes (Group B).

Tab. 1. Średnie wartości kąta w stawach śródstopno-paliczkowych uzyskane w trakcie chodu przez kobiety chodzące w obuwiu na wysokim obcasie (Group A) oraz na płaskiej podeszwie (Group B)

Tab. 1. Average values of the metatarsal and phalangeal joints obtained during the gait of women walking in a high-heeled shoes (Group A) and in flat-sole shoes (Group B)

| | P1 | P2 * | P3 * | P4 * | P5 * |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| Grupa A | 153,3° | 149,4° | 176,1° | 176,45° | 150,5° |
| Grupa B | 152,3° | 149,4° | 168,6° | 169,2 | 138,7° |

* wyniki istotne statystycznie na poziomie $p < 0,05$ / results statistically relevant at the level $p < 0,05$.

Tab. 2. Średnie wartości kąta w stawie skokowym górnym uzyskane w trakcie chodu przez kobiety chodzące w obuwiu na wysokim obcasie (Group A) oraz na płaskiej podeszwie (Group B)

Tab. 2. Average values of the ankle joint angle obtained during gait in women walking in high-heel shoes (Group A) and flat-sole shoes (Group B)

| | P1 * | P2 * | P3 * | P4 * | P5 * |
|---------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Grupa A | 101,8° | 90,4° | 89,9° | 89,7° | 90,5° |
| Grupa B | 102,3° | 92,7° | 91,2° | 93,0° | 92,2° |

* wyniki istotne statystycznie na poziomie $p < 0,05$ / results statistically relevant at the level $p < 0,05$.

lucha z podłożem (P4) kąt wyniósł $176,5^\circ$ oraz $169,2^\circ$ ($p < 0,05$). Natomiast w chwili braku kontaktu z podłożem (P5) wartości wynosiły odpowiednio dla grupy A $150,5^\circ$, a dla grupy B $138,7^\circ$ ($p < 0,05$) (Tab. 1).

Kąt w stawie skokowym górnym

Wartość kąta w stawie skokowym górnym w badaniu statycznym (P1) wyniosła $101,8^\circ$ oraz $102,3^\circ$ ($p < 0,05$), natomiast w momencie pierwszego kontaktu pięty z podłożem (P2) $90,4^\circ$ oraz $92,7^\circ$ ($p < 0,05$). Podczas kontaktu głowy kości śródstopia (P3) wartość kątowa wyniosła $89,9^\circ$ oraz $91,2^\circ$ ($p < 0,05$). W momencie kontaktu palucha z podłożem (P4) kąt wyniósł $89,7^\circ$ oraz $93,0^\circ$ ($p < 0,05$). Natomiast w chwili braku kontaktu z podłożem (P5) wartości wynosiły odpowiednio $90,5^\circ$ oraz $92,2^\circ$ ($p < 0,05$) (Tab. 2).

Dyskusja

Stopa ludzka przystosowała się do pionowej postawy ciała poprzez wykształcenie się łuku podłużnego i poprzecznego, co gwarantuje prawidłowe przetaczanie stopy od pięty poprzez brzeg zewnętrzny stopy, piątą głowę kości śródstopia w kierunku pierwszej głowy kości śródstopia i palucha [11]. Niestety, stosowanie nieprawidłowego obuwia może doprowadzić do zaburzenia tego mechanizmu i w efekcie skutkować uciążliwymi wadami stóp [12, 13].

W przeprowadzonych badaniach, porównując kobiety często chodzące w obuwii na wysokim obcasie do grupy kontrolnej można zaobserwować występowanie dużo mniejszego kąta zgięcia grzbietowego od 7° do 12° w fazie podporu, w stawach śródstopno-paliczkowych. Przyczyny powstawania utrwalonych zmian powinno się doszukiwać w nieprawidłowej pracy mięśnia piszczelowego przedniego, brzuchatego łydki oraz płaszczkowatego, które to wpływają na sztywność łuku podłużnego stopy. W konsekwencji zaburzeniom ukształtowania ulega wysklepienie łuku poprzecznego, co determinuje zaburzenie ruchomości w stawie śródstopno-paliczkowym [8, 10]. Jednakże, aby móc przyjąć taki pogląd powinno się w przyszłych badaniach wykorzystać metodę elektromiograficzną, aby wzmocnić wiarygodność podstawowych narzędzi biomechanicznych stosowanych w diagnostyce stóp [14].

Yu J i wsp., oceniając zakres zgięcia stopy podczas chodu w obuwii na wysokich obcasach wykazali dużo większe siły nacisku oraz wartości zgięcia grzbietowego w stawach śródstopno-paliczkowych w porównaniu do chodu w obuwii na płaskiej podeszwie [12, 15]. Zdaniem autorów, ciekawym aspektem tej mechaniki jest związek zwiększonego obciążenia na przodostopie ze zwiększonym zakresem kątowym w stawie śródstopno-paliczkowym.

Publikacja Hansena i wsp. ukazuje niezaburzony wzorzec kolebowania stopy oceniany jednorazowo podczas chodzenia w obuwii na wysokim obcasie [16]. Warto jednak dodać, że badania własne przedstawiają zaburzenia długotrwałe, przyczyniające się do zmiany stereotypu chodu.

Discussion

A human foot had become more adapted to the vertical body postures through the development of longitudinal and transverse arches, which guarantees an economical functioning of the mechanism of foot movement [11]. Unfortunately, due to the incorrect usage of the footwear, it is possible to cause anomalies in this pattern [12, 13].

In the conducted research it can be observed that, when comparing women who frequently walk in high-heeled shoes to the control group, there is a much lower angle of dorsiflexion (from 7° to 12°) at the support phase in metatarsal and phalangeal joints. As for the reason behind the development of the permanent changes, the improper functioning of the tibialis anterior muscle, gastrocnemius muscle, and soleus should be considered, which, in turn, affect the stiffness of the longitudinal arch of the foot.

The consequences are as following - the transverse arch suffers a shape disorder and becomes bended, which determines a movement disorder in metatarsal and phalangeal joint [8, 10]. However, in order to be able to assume such a view, and for the sake of solidifying the credibility of the basic biomechanical tools utilized in feet diagnostics [14], an electromyography-related method should be used in the future experiments.

Yu J and co-workers, through the assessment of the extent to which the foot is bended while walking in high-heeled shoes, were able to display much stronger forces and values of dorsiflexion in metatarsal and phalangeal joints with comparison to walking in flat-sole shoes [12, 15]. The authors claim that an interesting part of this mechanics is the relation of the greater weight put on the forefoot with a greater angle range in metatarsal and phalangeal joint.

Hansen and co-workers' publication demonstrates the undisturbed shape model of a foot, assessed in a single-timed manner while walking in high-heeled shoes [16]. It is worth adding, however, that the own research show permanent disorders, resulting in changes in the gait stereotype.

The angle values of dorsiflexion in the top ankle joint during the walk are greater among women walking in a high-heeled footwear [17, 18]. One of the reasons behind such occurrence is probably the fact that the individuals selected for the examined group walked in a high-heeled footwear for a short amount of time. It is possible that the obtained results suggest that shin muscles could become shortened when the period of time of walking in a high-heeled footwear will be longer than two years. On the other hand, it seems plausible to assume that the decrease in dorsiflexion value in metatarsal and phalangeal joints could have been the cause of the compensatory increase of the bending in the top ankle joint [19, 20].

While comparing the obtained results to the works of other authors, it is worth noticing that walking in a

Wartości kątowne zgięcia grzbietowego w stawie skokowym górnym podczas chodu są większe u kobiet chodzących w obuwiu na obcasie [17, 18]. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest prawdopodobnie krótki okres chodzenia w obuwiu na wysokim obcasie przez osoby dobrane do grupy badawczej. Być może, uzyskane wyniki sugerują, że do skrócenia mięśni podudzia może dojść, kiedy okres chodzenia w obuwiu na wysokim obcasie będzie dłuższy niż 2 lata. Z drugiej strony, wydaje się możliwe, że obniżenie się wartości zgięcia grzbietowego w stawach śródstopno-paliczkowych mogło być przyczyną kompensacyjnego zwiększenia zgięcia w stawie skokowym górnym [19, 20].

Porównując uzyskane wyniki do prac innych autorów, należy zwrócić uwagę, że chodzenie w obuwiu na wysokim obcasie było dotychczas badane w obuwiu [7, 21]. Jedynie bardzo nieliczne prace opisują porównanie kobiet chodzących w obuwiu bez obcasa i z obcasem [1], jednakże autorzy nie odnaleźli żadnej pracy ukazującej utrwalone zmiany u porównywanej grupy.

Analizując przeprowadzone dotąd badania, można oczekiwać zaburzeń w funkcjonowaniu stóp u coraz młodszych kobiet [22, 23]. W przedstawionym doniesieniu, średni wiek osób badanych wyniósł 22 lata, z czego średni okres chodzenia na obcasie 2 lata. Oczywiście dzięki uzyskanym wynikom można zaobserwować utrwalone zmiany w stereotypie chodu, które objawiają się w obniżonej ekonomice chodu bez obuwia. Jednakże należy podkreślić fakt, że powyższe wyniki badań stanowią pilotaż, który należy poszerzyć o kolejne wskaźniki oraz rozszerzyć grupę badanych. Co więcej, porównanie uzyskanych wyników pomiędzy tymi grupami byłoby ciekawym zobrazowaniem skutków znacznie dłuższego noszenia obuwia na wysokim obcasie [24, 25].

Wnioski

1. Długotrwałe chodzenie w obuwiu na wysokim obcasie powoduje powstawanie utrwalonych zmian kinematyki chodu, co ukazane zostało poprzez zmniejszenie się wartości kątowych wyprostu w stawach śródstopno-paliczkowych oraz zwiększenie się w stawie skokowym górnym.
2. Potrzebne są dalsze badania z wykorzystaniem dodatkowej aparatury pomiarowej w celu lepszego zrozumienia i zanalizowania utrwalonych zmian chodu kobiet często poruszających się w obuwiu na wysokim obcasie.

high-heeled footwear until now have been examined while wearing footwear [7, 21]. Only a very sparse number of works describe the comparison of women walking in footwear without and with heels [1]. However, the authors did not find a single work displaying the permanent changes in the assessed group.

By analyzing the research conducted until now, disorders in feet functioning can be expected to occur among increasingly younger women [22, 23]. In the featured report, the average age of the examined people was 22 years, whereas the average amount of time spend on walking in a high-heeled footwear was 2 years. Obviously, due to the obtained results, permanent changes in the gait stereotype, which manifest themselves in less economical way of walking without footwear, can be observed. Nonetheless, it is worth mentioning that the above research constitutes only an introduction, which should be expanded by adding more markers and selecting more people for the experiment. Moreover, the comparison of the obtained results between these groups would be an interesting depiction of the outcome of a much longer period of wearing a high-heeled footwear [24, 25].

Conclusions

1. A long-lasting walking in a high-heeled footwear causes the development of permanent changes in gait kinematics, which was demonstrated through the decrease in extension angle values in metatarsal and phalangeal joints, as well as the increase in the top ankle joint.
2. Further research, with the use of an additional measuring equipment is needed to improve the understanding and analyze the permanent changes in the gait among women who are frequently walking in a high-heeled footwear.

Piśmiennictwo / References

1. Cronin NJ, Barrett RS, Carty CP. Long-term use of high-heeled shoes alters the neuromechanics of human walking. *J Appl Physiol* 2012;112(6): 1054-1058.
2. Simonsen EB, Svendsen MB, Norreslet A, Baldwinson HK, Heilskov-Hansen T, Larsen PK, Alkjaer T, Henriksen M. Walking on High Heels Changes Muscle Activity and the Dynamics of Human Walking Significantly. *J Appl Biomech* 2012; 28(1): 8-20.
3. Ho KY, Blanchette MG, Powers CM. The influence of heel height on patellofemoral joint kinetics during walking. *Gait Posture* 2012;36(2):271-275.

4. Klich S, Zostawa P, Uściłowicz N. Analiza parametrów antropometrycznych u kobiet często chodzących w obuwiu na wysokim obcasie. W: Przyjemska L, Rajchel-Chyla B, Obuwie, bezpieczeństwo i funkcjonalność, Kraków, Instytut Przemysłu Skórzanego, 2012: 238-248.
5. Stefanyshyn DJ, Nigg BM, Fisher V, O'Flynn B, Liu W. The Influence of High Heeled Shoes on Kinematics, Kinetics, and Muscle EMG of Normal Female Gait. *J ApplBiomech* 2000; 16: 309-319.
6. Tedeschi FW, Dezzotti NR, Joviliano EE, Moriya T, Piccinato CE. Influence of high-heeled shoes on venous function in young women. *J VascSurg* 2012; 56(4): 1039-1044.
7. Ebbeling CJ, Hamill J, Crusemeyer JA. Lower extremity mechanics and energy cost of walking in high-heeled shoes. *J Orthop Sports PhysTher* 1994; 19: 190-196.
8. Sheree N, Smith M, Vicenzino B. Prevalence of hallux valgus in the general population: a systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Res* 2010; 3:21.
9. Medved V, Kasovic M. Biomechanicka analiza ljudskogkretanja u funkcijisportske traumatologie. *HrvatŠportskomed-Vjesn.* 2007; 22: 40-47.
10. Usherwood JR, Channon AJ, Myatt JP, Rankin JW, Hubel TY. The human foot and heel-sole-toe walking strategy: a mechanism enabling an inverted pendular gait with low isometric muscle force? *J R Soc Interface* 2012; 9: 2396-2402.
11. Ward CV, Kimbel WH, Johnanson DC. Complete fourth metatarsal and arches in the foot of *Australopithecus afarensis*. *Science* 2011; 331: 750-753.
12. Yu J, Cheung JT, Fan Y, Zhang Y, Leung AK, Zhang M. Development of a finite element model of female foot for high-heeled shoe design. *ClinBiomech* 2008; 23(1): 31-38.
13. Yung-Hui L, Wei-Hsien H. Effects of shoe inserts and heel height on foot pressure, impact force, and perceived comfort during walking. *ApplErgon* 2005; 36(3): 355-362.
14. Klich S, Uściłowicz N, Zostawa P. Przegląd metod diagnostycznych w ocenie biomechanicznych oraz strukturalnych zmian w obrębie stop. *Reh Praktyce* 2013; 4: 73-78.
15. Yu J, Cheung JT, Wong DW, Cong Y, Zhang M. Biomechanical simulation of high-heeled shoe donning and walking. *J Biomech* 2013; 46(12): 2067-2074.
16. Hansen AH, Childress DS. Effects of shoe heel height on biologic rollover characteristics during walking. *JRRD* 2004; 41(4): 547-554.
17. Cong Y, Cheung JT, Leung AK, Zhang M. Effect of heel height on in-shoe localized triaxial stresses. *J Biomech* 2011; 44(12):2267-2272.
18. Yu J, Cheung JT, Fan Y, Zhang Y, Leung AK, Zhang M. Development of a finite element model of female foot for high-heeled shoe design. *Clinical Biomechanics* 2008; 23(1): 31-38.
19. Cheung JT, Zhang M, Leung AK, Fan YB. Three-dimensional finite element analysis of the foot during standing—a material sensitivity study. *J Biomech* 2005; 38(5): 1045-1054.
20. Kerrigan DC, Todd MK, Riley PO. Knee osteoarthritis and high heeled shoes. *Lancet* 1998, 351: 1399-1401.
21. Won-Ho K, Eun-Young, P. Effects of the high-heeled shoes on the sensory system and balance in women. *PhysTher Korea* 1997; 4(2): 10-17.
22. Pleiffer M, Kotz R, Ledl T, Hanser G, Sluga M. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. *Pediatr.* 2006; 118: 634.
23. Sangha B, Grebenyuk J, Fisher T, Forster BB. 22-year-old woman with acute-on-chronic ankle pain. *Br J Sports Med* 2011; 45(1): 68-69.
24. Lee CM, Jeong EH, Freivalds A. Biomechanical effects of wearing high-heeled shoes. *Int J IndustErgonom* 2001; 28: 321-326.
25. Bird A, Payne CB. Foot function and low back pain. *Foot* 1999; 9: 175-180.

Adres do korespondencji / Mailing address:

Paweł Zostawa
ul. Krupińskiego 28b, 44-206 Rybnik
Tel. 507 179 142
Email. pawelzostawa@gmail.com