

*Original research papers***THE IMPACT OF ANKLE JOINT STIFFENING BY SKI EQUIPMENT
ON MAINTENANCE OF BODY BALANCE***The impact of ski equipment on body balance*

MIROŚLAW GUSTYN

*The Josef Pilsudski University of Physical Education in Warsaw, doctoral studies*Mailing address: Mirosław Gustyn, Al. Jana Pawła II 80/D27, 00-175 Warsaw, tel.: +48 691524581,
e-mail: miroslaw.gustyn@gmail.com**Abstract**

Introduction. In the initial phase of ski lessons, the skier encounters a completely new situation. The maintenance of body stability, which is influenced by various factors, attracts his entire attention. The aim of this study was to define the impact of ankle joint stiffening by ski equipment on the maintenance of body balance. **Material and methods.** The research was conducted on 13-member group aged 20 to 24. All the subjects were male students at the Faculty of Physical Education and Sport in Białą Podlaska (graduates of the ski instructor course). Each participant carried out three postural exercises on the KISTLER dynamometric platform. Then the same exercises were performed with ski boots and skis. Two parameters were used for the analysis of body balance, namely the COP path length and the surface area of the stabilogram. **Results.** It was stated in the study that ankle joint stiffening while standing on both skis did not have a negative impact on the postural stability. In majority of the tested subjects while standing on one ski, a considerable increase in the both analysed parameters occurred in relation to the same exercises performed without ski boots. That being so, it can be inferred that ski equipment causes deterioration of body stability. Moreover, it was noticed as a result of putting on ski boots and skis that body fluctuations increased slightly in relation to the growth of the base of support defined by the ski length and ski width setting. **Conclusions.** On this basis, it was concluded that ski equipment does not have a negative influence on the maintaining body balance. The growth of body fluctuations during exercises is insignificant in relation to the increase of body base area. It is necessary to find new ways of compensating for body fluctuations in order to maintain body balance with ski equipment on.

Key words: body balance, skiing, postural stability**Introduction**

Skiing requires one to maintain body balance in difficult conditions. For some people it is an easy task to master this art, whereas a more difficult one for others. However, initially all of them share the same goal, namely how to maintain body balance and avoid falling. In theory of sport, balance is understood as a motor coordination ability that enables one to maintain sustainable body posture (static balance) as well as its retention or recovery (dynamic balance) during motor activity or directly thereafter [1]. In biomechanics, balance is defined as an ability to maintain the projection of body's centre of mass (COM) within the supporting surface area [2, 3]. In the light of the above-mentioned definition, even considerable postural sways, but such during which the projection of the body centre of mass is within the area of the base, do not cause the loss of body balance. That is why Kuczyński uses a more precise term, such as stability of the balance system or body or postural stability [3]. According to the author, it is a more complex term connected with abilities, dynamic features and characterisation of all systems involved in maintaining body balance. Stability is a broader term than balance, which stands for the ability to recover the state of equilibrium, as Błaszczuk claims [4].

While standing still one imitates a single segment inverted

pendulum [2, 3, 5, 6]. In order to justify the use of such simplification, the authors emphasise that while standing still on both feet, the body sways occur around one axis crossing the ankle joints. All body segments (excluding feet) are in fragile balance towards the ground and towards themselves. Separate body segments connected by joints, enabling only rotational motion, are balanced by the muscular system. Without stimuli disturbing still standing on both feet, the sways are so insignificant that one stabilises movements in all joints (excluding ankle joints) and imitates a stiff body. Such a body cannot stand vertically without a suitable stabiliser, and that is why the model should be expanded with a control variable e.g. the force changing the bottom end of pendulum relative to the supporting surface or a stabiliser in the form of a moment of force applied at the ankle joint. As a result of using the stabiliser, Morawski named this model as the controlled inverted pendulum [5]. The role of stabilisers in human body is fulfilled by the ankle joint flexor and extensor muscles. Undoubtedly, the model presented above is simplified and can be applied to standing still on both feet. During more complicated postural exercises it is necessary to involve more joints in order to compensate for the sways caused by any disturbances. Then the human body is no longer stiff and turns into several inverted pendulums, one on top of another. A specific situation appears when the ankle joint is blocked by

stiff ski boots and makes it impossible for the ankle joint to compensate for the body sways. Such restriction implies the necessity of compensating for COM sways by other joints. The skier's centre of body mass is constantly exposed to different external forces such as gravity, centrifugal force and overexertion while turning on the slope. That being so, body balance must be constantly corrected [7]. It is possible to maintain body balance, when the resultant of gravity and centrifugal forces is turned towards the supporting surface set by the area between ski edges. On the one hand it is limited by the ski length, on the other by the ski width setting. In contrast to the ski length, the ski width setting can be corrected while skiing [8].

From the author's observations and reflections made during ski training courses, it appears that the first efforts to walk in ski boots often end in balance instability or even in a fall. Stability disorders increase to a greater extent after putting on skis, even during first basic exercises on the slope.

The aim of this study is to examine the impact of ankle joint stiffening by ski equipment on the maintenance of body balance. Attempts were made to find answers to the following questions: Are there any differences in parameters values describing body balance during postural exercises without ski boots in comparison to the same parameters registered during exercises with ski equipment?

Material and methods

The research was carried out on a 13-member group (participants of ski instructor course) aged 20-24. All the subjects were male students of the Faculty of Physical Education and Sport in Biała Podlaska. The research was conducted directly after their return from a ten-day ski training course. KISTLER dynamometric platform 9281C was used for measurement of stabilographic parameters. The research consisted of the following six exercises: 1. Standing on both legs without ski boots on, 2. Standing on one leg without ski boots, 3. Standing on one leg with the other one frontally crossed 4. Standing on both skis, 5. Standing on one ski, 6. Standing on one ski with the other one frontally crossed (Fig. 1).

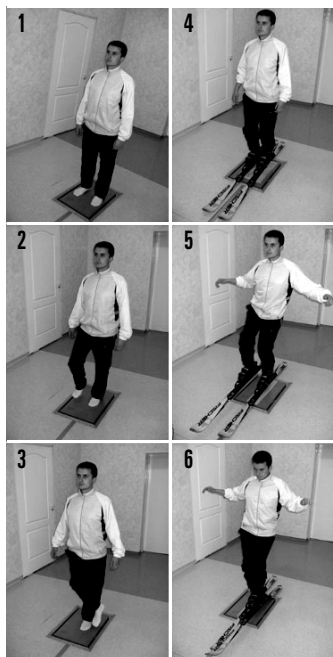


Figure 1. A subject during particular postural exercises

Each trial was recorded at the sampling frequency of 500 Hz and lasted 30 seconds. The main task of the subject was to maintain possibly maximum postural stability in the indicated positions. The platform surface was at the same level as the ground, and that is why a 25 mm wide board was used in order to increase its height.

Two parameters were used for the analysis of body balance, namely the surface area of the stabilogram and the path length of the projection of pressure centre on the supporting surface. The former is the area along which the projection of the point of application of the ground reaction force moves. The size of this area defines the extent of postural stability. The smaller the surface area of the stabilogram, the more precise it is to adjust the body balance. The latter describes the distance that the projection of the point of application of the ground reaction force covers within the supporting surface area during each trial [2, 3].

The analysis of the surface area of the stabilogram was conducted by means of Corel PHOTO-PAINT 12 on the basis of selected graphic files. The stabilogram charts were saved in different scales depending on the size of fluctuations. As a consequence, it was necessary to create a scheme in order to scale all charts homogeneously. To select the surface area of the stabilogram Lasso instrument was used, which enabled its precise separation from the background. Then the Histogram option was used to define the number of pixels of the distinguished figure (Fig. 2). The value obtained was compared with the number of pixels per square cm on the chart. During the analysis of particular charts, some of their parts indicating the obvious randomness were omitted in order to optimize the value of the examined parameter.

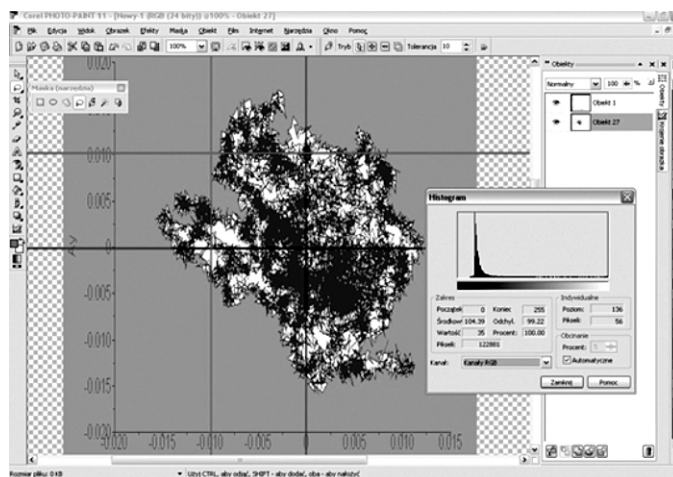


Figure 2. Corel PHOTO-PAINT 12 interface while measuring the surface area of the stabilogram

The path length of the COP projection was computed using every 25th sample, which made it possible to decrease the frequency from 500 Hz to 20 Hz recommended for this parameter. The total path length of the projection of COP was computed according to the following formula:

$$S = \sum_{n=1}^{3000} \sqrt{(X_{n+1} - X_n)^2 + (Y_{n+1} - Y_n)^2}$$

where:

s – total path length of the COP projection

(X_n, Y_n) – coordinates of the COP projection points

n – coordinates number of the COP projection (1-3000)

The differences between average results in particular postural exercises were statistically verified by means of the Shapiro-Wilk test for normality of data distribution and the t-Student test [9].

Results

The results of the laboratory measurements were analysed, paying special attention to two parameters that describe the ability to maintain body balance, namely the path length of the COP projection on the supporting surface and the surface area of the stabilogram.

Table no. 1 presents average lengths of the COP projection and average surface areas of the stabilogram, along which the projection of the point of application of the ground reaction force moved during the six different postural exercises.

Table 1. Average lengths of the COP projection and average surface areas of the stabilogram defining body balance maintenance in particular exercises

	COP path length (m) and surface area of the stabilogram [cm ²]											
	Standing on both legs		Standing on both skis		Standing on one leg		Standing on one ski		Standing on one leg with the other one frontally crossed		Standing on one ski with the other one frontally crossed	
	Path	Area	Path	Area	Path	Area	Path	Area	Path	Area	Path	Area
Average	0,545	1,12	0,492	0,78 *	1,141	3,60	1,340	4,42 *	1,173	4,92	1,492	6,16 *
DS	0,152	0,42	0,086	0,32	0,163	0,83	0,288	0,98	0,191	1,20	0,426	1,90

*statistically, there is a difference between the average value of the parameter obtained in the exercises with ski equipment and that obtained without one ($\alpha=0,05$)

The trial with the standing position on both skis is characterised by the lowest average length of the COP projection and the average surface area of the stabilogram. Among the four exercises that required maintaining body balance on one leg or ski, the lowest result of the average path length of the COP projection and the average surface area of the stabilogram was obtained in standing position on one leg without ski equipment.

The charts (Figure 3-8) present the lengths of the COP projection on the supporting surface and the surface areas of stabilogram obtained by individuals while performing postural exercises.

Path length of the COP projection [m]

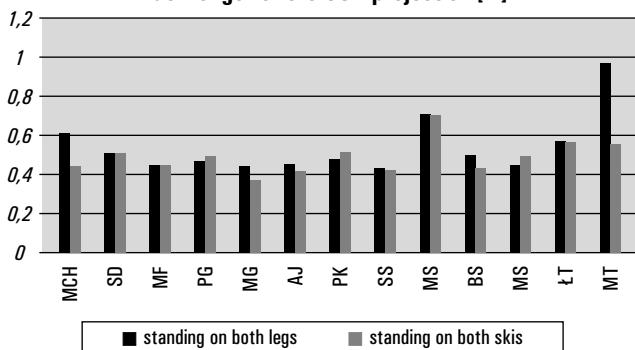


Figure 3. Path length of the COP projection while standing on both legs and while standing on both skis

Surface area of the stabilogram [cm²]

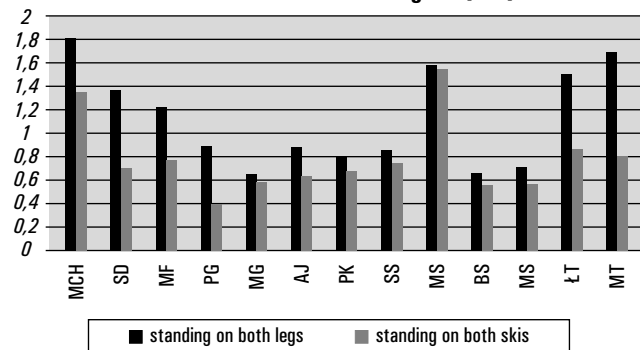


Figure 4. Surface area of the stabilogram while standing on both legs and while standing on both skis

Among the two parameters analysed, it is the surface area of the stabilogram rather than the path length of the COP projection which shows greater differences during exercises consisting in standing on both legs and on both skis (Fig. 3). All the subjects obtained lower surface areas of the stabilogram with ski equipment on. In case of the path lengths of the COP projection, three subjects obtained slightly lower parameter values in standing position without ski boots (Fig. 3). The remainder of them were characterised by more stable body posture after using ski equipment. However, the differences were less significant than in the standing position on one leg (Fig. 5, Fig. 7).

Path length of the COP projection [m]

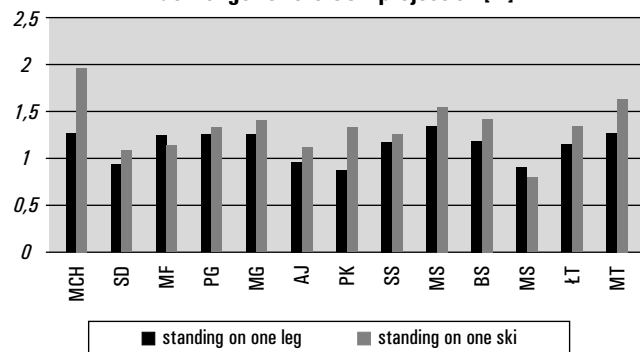


Figure 5. Path length of the COP projection while standing on one leg and while standing on one ski

Surface area of the stabilogram [cm²]

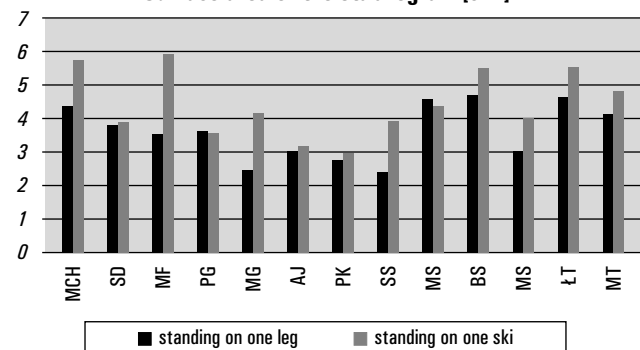


Figure 6. Surface area of stabilogram while standing on one leg and while standing on one ski

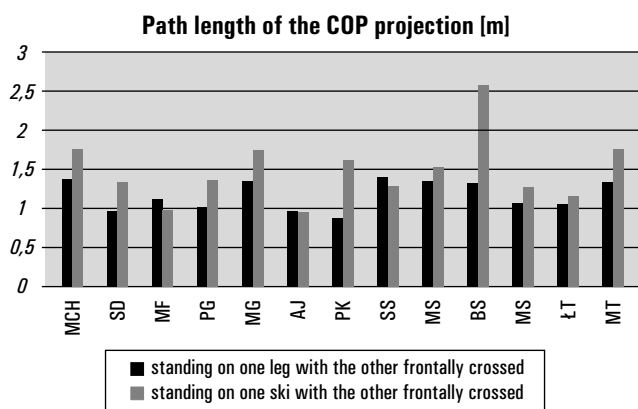


Figure 7. Path length of the COP projection while standing on one leg with the other one frontally crossed and while standing on one ski with the other one frontally crossed

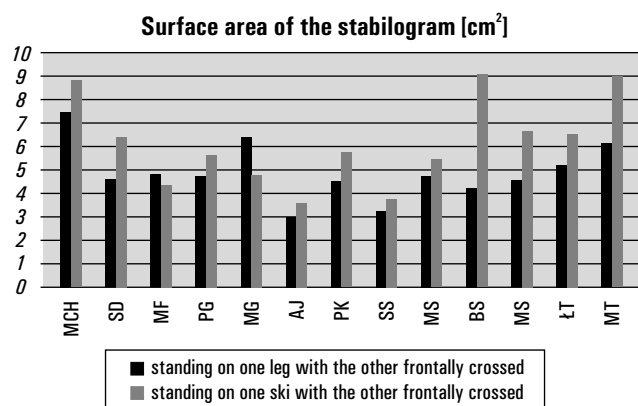


Figure 8. Surface area of stabilogram while standing on one leg with the other one frontally crossed and while standing on one ski with the other one frontally crossed

Discussion

In this study we compared the laboratory results of postural stability parameters obtained in particular postural exercises with and without ski equipment. The surface area of the stabilogram and the total path length of the COP projection were the examined parameters. The lower values of the aforementioned parameters provide evidence of smaller fluctuations and greater precision in the maintenance of body balance [3]. The average values of both, the surface area of the stabilogram and the path length of the COP projection for exercises on both legs were lower in the case of standing on the platform with ski equipment on. The situation looks opposite when we compared the values of parameters for exercises performed on one leg. In such cases, the subjects achieved higher values with ski equipment than without it. Moreover, it was observed that the path length of the COP projection showed smaller differences between the exercises with and without skis compared to the surface area of stabilogram. It can be explained with different ways of compensation for fluctuations in the case of particular exercises. According to the assumptions of the inverted pendulum model described in the study, the compensation for fluctuations appears mainly at the level of the ankle joint while standing on one leg without ski boots. With ski boots, the ankle joint is stiffened to a large extent, so that any movements are limited, especially in the frontal plane. That is why it is nec-

essary to find other methods of compensating for body fluctuations. During the test it was observed that movements restoring postural stability while standing on one leg were performed in the frontal plane in the hip joint, whereas in the sagittal plane, these movements were primarily performed in the hip and in the knee joints. Furthermore, the motions were larger but slower than in the exercises without ski equipment. The path length of the COP projection depends on such factors as the velocity and the frequency of fluctuations. However, it does not have any impact on the surface area of the stabilogram, subject mainly to their scope. That is why the surface area of the stabilogram seems to be a more suitable parameter that can be used to compare particular exercises.

To maintain body balance while standing on both legs it is necessary to compensate for fluctuations mainly in the sagittal plane, because in the frontal one the body is supported in two points. Compensating motions are insignificant enough to be restricted by joint-stiffening ski boots enabling certain motions in the sagittal plane. According to the above-mentioned assumptions, lower values of area while standing on both legs in comparison to standing on both legs but without ski boots could be explained by the fact that a stiff ski boot constitutes a point of reference for a part of the shank located in its interior. Thus, it enabled to receive information on the direction of fluctuations coming from sensory receptors located in the region of the shank. Such an increased amount of information can influence early application of appropriate compensating motions, which are minimal in case of standing on both legs.

A totally different situation occurs during exercises performed on one leg. In this case, higher postural instability is characteristic for exercises with ski equipment, due to the ankle joint stiffening by ski boots. In a standing position on one leg without ski boots, compensating motions occur mainly in the ankle joint as a result of body stiffening and also its similarity to the inverted pendulum. They are substantially more significant than during standing on both legs. Because of that ankle joint stiffening requires new ways of compensating for fluctuations. As it was mentioned before, compensating motions occur in this case mainly in the hip ankle, whereas in the sagittal plane also in the knee joint. Probably, it is the necessity of applying a new compensating method against the one used in everyday life which causes difficulties for beginners. Another reason for stability deterioration during exercises performed on one leg can be both an increase of mass and a moment of inertia of the raised limb with a ski boot and a ski in relation to the corresponding trial but without ski equipment. Even minimal motions of a ski weighting few kilograms can influence the growth of the parameters registered by the platform.

The lower values of the surface area in exercises that involved standing on both legs with ski equipment can prove its positive impact on the maintenance of body balance. However, one can assume that fluctuations while skiing at higher speeds and on irregular slopes, constantly changing body position during turning rather are bigger than during relatively motionless standing. Because of that minimal compensating motions in the hip ankle are insufficient, as it is in this case. The exercises performed on one leg seem to be more representative ones in this case, because body fluctuations are big enough to apply other ways of their compensation. During standing on one leg with the other raised freely the value of the surface area of the stabilogram increases on average by 23%, whereas by 25% in a standing position on one leg with the other crossed in relation to the average values describing the same standing positions but without ski equipment. At the first moment, a conclusion arises that ski equipment makes it difficult to maintain body balance, because trials with it are characterized by substantially higher values of stabilographic parameters. Despite the increase of the surface area of the stabilogram with ski equipment, the COP

projection remains within the figure formed by feet outline during standing on both legs and foot outline during standing on one leg. Human being with ski boots and skis increases also several times the body base set by ski length on the one hand and ski width setting on the other hand. According to the above-mentioned remarks, it can be stated that ski equipment has a positive impact on maintenance of body balance.

Moreover, similarly to other authors' research [2, 3, 10, 11] substantially higher values of the balance parameters were observed while standing on one leg in comparison with standing on both legs with and without ski boots.

Conclusions

- Ski equipment does not have a negative impact on the maintenance of body balance. The growth of body fluctuations during exercises is insignificant in relation to the increase of body base field.
- It is necessary to find new ways of compensating for body fluctuations in order to maintain body balance with ski equipment on. In such cases, compensating movements appear mainly in the hip and knee joints and not in the ankle joints, just as it is the case of standing still.
- Exercises familiarizing a skier with ski equipment are recommended during first ski lessons. When practising such exercises a future skier learns new ways of compensating for balance fluctuations. Different kinds of games and activities, which include elements of keeping appropriate positions, or walking with ski boots on one ski and with the whole ski equipment, seems to be especially helpful.

Literature

1. Raczek, J. (1991). Coordination motor abilities (theoretical and empirical background and their meaning in sport). *Sport Wyczynowy*, 5-6: 7-19. [in Polish]
2. Golema, M. (2002). *Characteristics of the process of maintaining human body balance in a stabilographic picture*. Studia i Monografie, 64. Wrocław: AWF. [in Polish]
3. Kuczyński, M. (2003). *The viscoelastic model of quiet standing*. Studia i Monografie 65. Wrocław: AWF. [in Polish]
4. Błaszczak, J.W. (2004). *Clinical biomechanics: Textbook for medicine and physiotherapy students*. Warszawa: PZWL. [in Polish]
5. Morawski, J. (1978). A Simple Model of Step Control in Bipedal Locomotion. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 6: 544-549.
6. Winter, D.A (1995). Human Balance and Postural Control During Standing and Walking. *Gait posture*, 3.
7. Kemmler, J. (2003). *Go skiing! the newest techniques and equipment*. Warszawa: Grupa Wydawnicza Bertelsmann Media. [in Polish]
8. Zatoń, M. (Ed.) (1996): *Fundamentals of downhill skiing*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza SIGNUM. [in Polish]
9. Krywicki, W., Bartos J., Dyczka W., Królikowska K., Wasilewski M. (1986). *Probability theory and mathematical statistics in training*, part I. Warszawa: PWN. [in Polish]
10. Sobera, M. (2003). The influence of feet base area on the stability indicators of one-legged body position. In Cz. Urbanik (Ed.), *Issues of sports biomechanics – motion technique*. Warszawa: AWF. [in Polish]
11. Golema, M. (1987). *Stability of the standing position*. Studia i Monografie 17. Wrocław: AWF. [in Polish]

Submitted: August 14, 2012

Accepted: September 17, 2012

WPŁYW USZTYWNIENIA STAWU SKOKOWEGO PRZEZ SPRZĘT NARCIARSKI NA UTRZYMYWANIE RÓWNOWAGI

Wpływ sprzętu narciarskiego na równowagę

MIROSŁAW GUSTYN

Akademia Wychowania Fizycznego J. Piłsudskiego w Warszawie, studia doktoranckie

Adres do korespondencji: Mirosław Gustyn, Al. Jana Pawła II 80/D27, 00-175 Warszawa, tel.: 691524581, e-mail: miroslaw.gustyn@gmail.com

Streszczenie

Wprowadzenie. W początkowej fazie nauki jazdy na nartach uczeń ma do czynienia z całkowicie nową sytuacją. Jego uwaga skupia się głównie na utrzymaniu równowagi, na którą oddziałuje wiele czynników. Celem pracy było określenie wpływu usztywnienia stawu skokowego przez sprzęt narciarski na utrzymywanie równowagi. **Materiał i metody.** Badaniom poddano 13 mężczyzn w wieku od 20 do 24 lat, studentów Wydziału Wychowania Fizycznego i Sportu w Białej Podlaskiej, absolwentów specjalizacji instruktorskiej z narciarstwa zjazdowego. Każdy z badanych wykonał po trzy zadania posturalne na platformie KISTLERA. Następnie wykonywał te same zadania po założeniu butów i nart zjazdowych. Do analizy równowagi wykorzystano dwa parametry: długość drogi rzutu COP oraz wielkość pola powierzchni stabilogramu. **Wyniki.** Stwierdzono, że usztywnienie stawów skokowych podczas stania na dwóch nartach nie wpływa negatywnie na stabilność postawy. W przypadku stania na jednej nartce u większości badanych odnotowano znaczny wzrost obu analizowanych parametrów w stosunku do tych samych zadań bez butów, co świadczy o pogorszeniu stabilności postawy przez sprzęt narciarski. Ponadto zauważono, że po nałożeniu butów i nart, wzrost wahań ciała jest nieznaczny w stosunku do powiększenia powierzchni podparcia ciała, stanowiącej przez długość nart i stopień ich rozstawienia. **Wnioski.** Na tej podstawie stwierdzono, że sprzęt narciarski nie wywiera negatywnego wpływu na utrzymywanie równowagi. Wzrost wielkości wahań podczas zadań w sprzęcie narciarskim jest nieznaczny w porównaniu z powiększeniem pola podstawy ciała, jakie umożliwia ten sprzęt. W celu utrzymywania równowagi w sprzęcie narciarskim konieczne jest wykształcenie nowych sposobów kompensowania wahań ciała.

Słowa kluczowe: równowaga, narciarstwo, stabilność postawy

Wstęp

Jazda na nartach wymaga utrzymywania równowagi w utrudnionych warunkach. Jednym opanowanie tej sztuki przychodzi łatwiej, innym trudniej, ale początkowo wszyscy mają ten sam cel, którym jest utrzymanie równowagi i uniknięcie upadku. W teorii sportu równowaga rozumiana jest jako koordynacyjna zdolność motoryczna, umożliwiająca utrzymanie zrównoważonej pozycji ciała oraz zachowanie lub odzyskanie tego stanu w trakcie oddziaływania czynnika destabilizującego lub bezpośrednio po ustaniu jego działania [1]. W biomechanice równowagę człowieka definiuje się jako zdolność utrzymywania rzutu środka masy ciała (center of mass, COM) wewnątrz powierzchni podparcia [2, 3]. W świetle przytoczonej definicji nawet znaczne wychylenia, ale takie, w trakcie których rzut środka ciężkości ciała (OSC) znajduje się wewnątrz obrysu pola podstawy nie powodują utraty równowagi. Dlatego Kuczynski używa bardziej precyzyjnego pojęcia, którym jest stabilność układu równowagi lub stabilność ciała czy postawy [3]. Jest to według autora pojęcie bardziej złożone, związane z możliwościami oraz własnościami dynamicznymi i charakterystyką wszystkich układów biorących udział w utrzymaniu równowagi. Błaszczyk twierdzi, że stabilność jest pojęciem bardziej obszernym niż równowaga i oznacza zdolność do odzyskiwania stanu równowagi [4].

Podczas stania swobodnego człowiek upodabnia się do jednosegmentowego wahadła odwróconego [2, 3, 5, 6]. Uzasadnia-

jąc możliwość zastosowania takiego uproszczenia autorzy podkreślają, iż podczas stania swobodnego na dwóch nogach wachania ciała odbywają się wokół jednej osi przebiegającej przez stawy skokowe. Wszystkie segmenty ciała oprócz stóp znajdują się w równowadze chwiejnej względem podłoża jak również względem siebie. Poszczególne segmenty połączone stawami, w których możliwymi ruchami są jedynie ruchy obrotowe, stabilizowane są przez aparat mięśniowy. W trakcie stania swobodnego, bez działania bodźców zakłócających, wychylenia są na tyle nieznaczne, że człowiek stabilizuje ruchy we wszystkich stawach, z wyjątkiem stawów skokowo – gołeniowych upodabniając się do bryły sztywnej. Taka bryła nie może stać pionowo bez odpowiedniego stabilizatora, gdyż znajduje się w równowadze chwiejnej, dlatego należy wzbogacić model o zmienną sterującą. Jednym z wariantów takiego sterownika może być siła zmieniająca położenie dolnego końca wahadła względem płaszczyzny podparcia. Innym rodzajem może być sterownik w postaci momentu siły przyłożonego w stawie skokowym. Po zastosowaniu stabilizatora Morawski nazwał model sterowanym wahadłem odwróconym [5]. U człowieka rolę stabilizatora pełnią zginacze i prostowniki stawów skokowo-goleniowych. Niewątpliwie jest to model uproszczony, mający zastosowanie w próbie stania swobodnego na dwóch nogach. Podczas wykonywania bardziej skomplikowanych zadań posturalnych konieczne jest zaangażowanie większej ilości stawów w celu kompensacji wychyleń spowodowanych czynnikami destabilizującymi. Ciało przestaje być bryłą sztywną i zamienia

się w kilka wahań odwróconych, ułożonych jedno na drugim. Szczególna sytuacja ma miejsce w momencie zablokowania stawu skokowego poprzez nałożenie sztywnego buta narciarskiego co eliminuje staw skokowy z możliwości kompensacji wychyleń ciała. Takie ograniczenie powoduje konieczność kompensacji wahań OSC na poziomie innych stawów. Podczas jazdy na nartach na środek ciężkości ciała oddziałują zewnętrzne siły takie jak grawitacja, siły odśrodkowe i przeciążenia podczas skrętów, dlatego równowaga ciała musi być ciągle korygowana [7]. Zachowanie równowagi możliwe jest wtedy, gdy wypadkowa siły ciężkości i siły odśrodkowej skierowana jest do wnętrza powierzchni podparcia, którą podczas jazdy na nartach stanowi powierzchnia zawarta pomiędzy krawędziami nart. Z jednej strony jest ona ograniczona długością nart, z drugiej stopniem ich rozstawienia. W przeciwieństwie do długości nart, szerokość ich rozstawienia może być korygowana podczas jazdy [8].

Z obserwacji autora podczas prowadzonych lekcji nauczania narciarstwa zjazdowego wynika, że pierwsze próby poruszania się w butach narciarskich często kończą się zachwianiem stabilności ciała a nawet upadkiem. Zaburzenia stabilności nasilają się jeszcze bardziej po przypięciu nart już w trakcie wykonywania pierwszych elementarnych ewolucji.

Celem pracy jest zbadanie wpływu usztywnienia stawu skokowego przez sprzęt narciarski na utrzymywanie równowagi. Podjęto próbę odpowiedzi na pytanie: Czy istnieją różnice wartości parametrów obrazujących utrzymywanie równowagi ciała podczas zadań posturalnych bez butów w porównaniu do tych samych parametrów rejestrowanych w trakcie zadań w sprzęcie narciarskim?

Materiał i metody

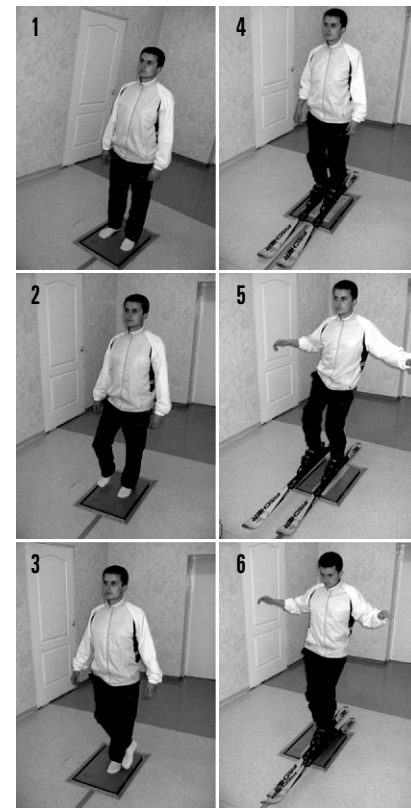
W badaniach brało udział 13 uczestników specjalizacji instruktorskiej z narciarstwa zjazdowego. Wszyscy badani byli studentami Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydziału Wychowania Fizycznego i Sportu w Białej Podlaskiej. Najmłodszy badany miał 20 lat a najstarszy 24. Badanie odbyło się bezpośrednio po powrocie z dziesięciodniowego narciarskiego obozu szkoleniowego. Do pomiarów parametrów stabilograficznych użyto platformy tensometrycznej KISTLER 9281C. Badanie składało się z sześciu zadań: 1. Stanie na dwóch nogach bez butów, 2. Stanie na jednej nodze bez butów, 3. Stanie na jednej nodze z drugą przełożoną skrzyżnie przodem bez butów, 4. Stanie na dwóch nartach, 5. Stanie na jednej nartce, 6. Stanie na jednej nartce z drugą przełożoną skrzyżnie przodem (Ryc. 1).

Każda próba rejestrowana była z częstotliwością próbkowania 500 Hz i trwała 30 sekund. Zadaniem badanego było zachowanie możliwie maksymalnej stabilności postawy ciała w zadanych pozycjach. Płaszczyzna platformy znajduje się na tym samym poziomie co podłoże, dlatego podczas badań użyto deski o grubości 25 mm w celu podwyższenia platformy.

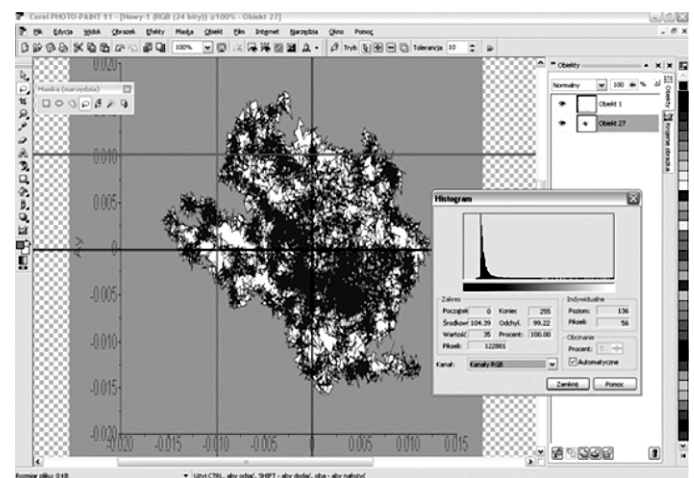
Do analizy równowagi wykorzystano dwa parametry: powierzchnię stabilogramu oraz długość drogi rzutu COP na płaszczyznę podparcia. Pole powierzchni stanowi obszar, po którym przemieszcza się rzut punktu przyłożenia siły nacisku stóp na podłoże. Wielkość tego obszaru określa stopień stabilności postawy. Im mniejsze pole powierzchni tym większa precyzja regulowania równowagi. Długość drogi rzutu COP stanowi odległość jaką przebywa rzut punktu przyłożenia siły nacisku stóp na podłoże w obrębie płaszczyzny podparcia podczas wykonywania próby [2, 3].

Analizę pola powierzchni stabilogramu przeprowadzono na podstawie wyodrębnionych plików graficznych przy użyciu oprogramowania Corel PHOTO-PAINT 12. Wykresy stabilogramów zapisane zostały w różnej skali w zależności od wielkości

wahań, konieczne było zatem utworzenie szablonu w celu jednorodnego wyskalowania wszystkich wykresów. Do zaznaczenia pola stabilogramu użyto narzędzia „Lasso”, co pozwoliło na precyzyjne wyodrębnienie go z tła. Następnie w celu określenia ilości zajmowanych pikseli przez wyodrębnioną w ten sposób figurę użyto opcji „Histogram” (Ryc. 2). Uzyskaną wartość porównano z ilością zajmowanych pikseli przez 1 cm² na wykresie. W celu zobiektywizowania wartości badanego parametru, podczas analizy poszczególnych wykresów, pominięto niektóre fragmenty świadczące o ewidentnej przypadkowości ich wystąpienia.



Rycina 1. Badany podczas poszczególnych zadań posturalnych



Rycina 2. Interfejs programu Corel PHOTO-PAINT 12 podczas wykonywania pomiaru pola powierzchni stabilogramu

Długość drogi rzutu COP obliczono na podstawie co 25 próbek, co pozwoliło na zmniejszenie częstotliwości z 500 Hz do zalecanych dla tego parametru 20 Hz. Całkowita długość drogi rzutu COP została obliczona ze wzoru:

$$S = \sqrt{\sum_{n=1}^{300} (X_{n+1} - X_n)^2 + (Y_{n+1} - Y_n)^2}$$

gdzie:
 s – całkowita długość drogi rzutu COP
 (Xn, Yn) – współrzędne punktów rzutu COP
 n – numer współrzędnych rzutu COP (1-3000)

Różnice pomiędzy średnimi wynikami w poszczególnych zadaniach posturalnych poddano statystycznej weryfikacji, w ramach której wykorzystano test Shapiro-Wilka w celu zbadania normalności rozkładu danych pomiarowych oraz test t Studenta [9].

Wyniki

Wyniki pomiarów uzyskane w warunkach laboratoryjnych zostały przeanalizowane pod kątem dwóch parametrów charakteryzujących zdolność utrzymywania równowagi: długości drogi rzutu COP na płaszczyznę podparcia i pola powierzchni stabilogramu.

W tabeli (Tab. 1) przedstawiono średnie długości drogi rzutu COP oraz średnie wielkości pola powierzchni stabilogramu, po których poruszał się rzut punktu przyłożenia siły nacisku stóp na płaszczyznę podparcia podczas wykonywania sześciu różnych zadań posturalnych.

Tabela 1. Średnie długości drogi rzutu COP oraz średnie wielkości pola powierzchni stabilogramu charakteryzujące utrzymywanie równowagi w poszczególnych zadaniach

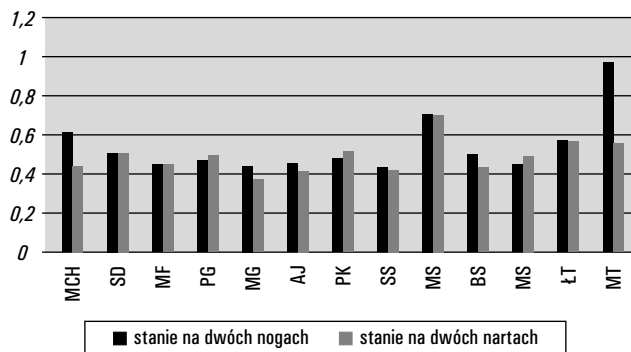
	Długość drogi rzutu COP [m] oraz pole powierzchni stabilogramu [cm ²]											
	Stanie na dwóch nogach		Stanie na dwóch nartach		Stanie na jednej nodze		Stanie na jednej nartce		Stanie na jednej nodze z drugą przelożoną		Stanie na jednej nartce z drugą przelożoną	
	Droga	Pole	Droga	Pole	Droga	Pole	Droga	Pole	Droga	Pole	Droga	Pole
Średnia	0,545	1,12	0,492	0,78	1,141	3,60	1,340	4,42	1,173	4,92	1,492	6,16
DS	0,152	0,42	0,086	0,32	0,163	0,83	0,288	0,98	0,191	1,20	0,426	1,90

* zachodzi statystycznie istotna różnica pomiędzy średnią wartością parametru uzyskaną w zadaniu bez sprzętu narciarskiego i po jego założeniu (α=0,05)

Najniższa średnia długość drogi rzutu COP oraz średnia wielkość pola powierzchni stabilogramu charakteryzują próbę stania w sprzęcie narciarskim na dwóch nartach. Spośród czterech zadań wymagających utrzymywania równowagi na jednej nodze, bądź nartce najniższy wynik średniej długości drogi COP oraz średniej wielkości pola stabilogramu uzyskano w próbie stania na jednej nodze bez sprzętu narciarskiego.

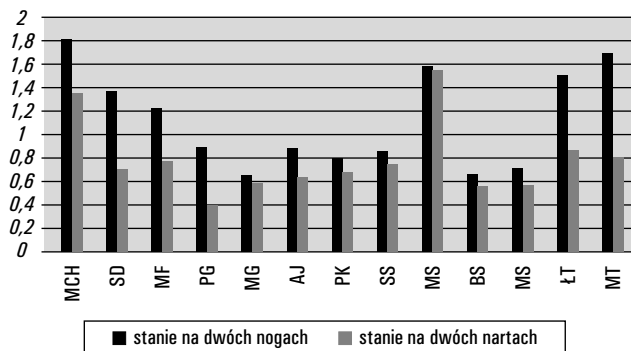
Na wykresach (Ryc. 3, Ryc. 4, Ryc. 5, Ryc. 6, Ryc. 7, Ryc. 8) przedstawiono długości drogi rzutu COP na płaszczyznę podparcia oraz wielkości pól powierzchni stabilogramów uzyskiwane przez poszczególnych badanych podczas wykonywanych zadań posturalnych.

Długość drogi rzutu COP [m]



Rycina 3. Długość drogi rzutu COP w próbie stania na dwóch nogach i stania na dwóch nartach

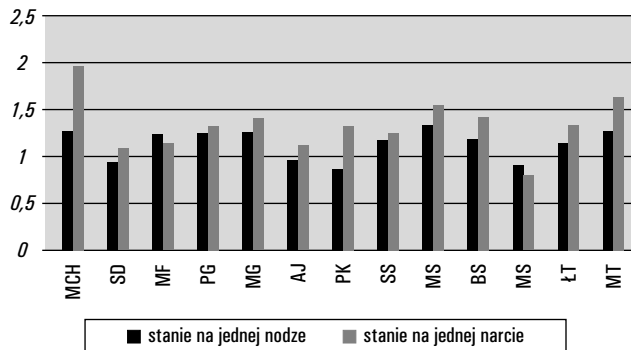
Pole powierzchni stabilogramu [cm²]



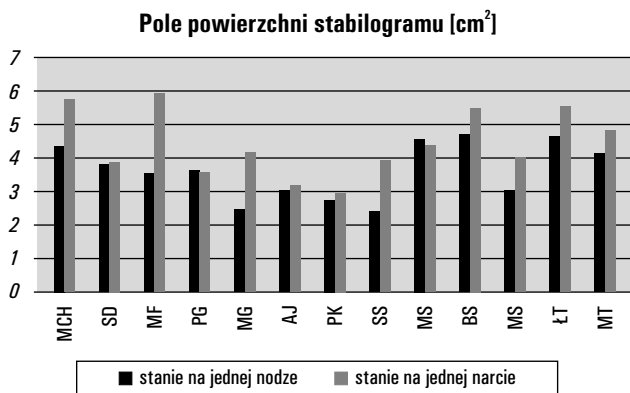
Rycina 4. Pole powierzchni stabilogramu w próbie stania na dwóch nogach i stania na dwóch nartach

Z dwóch analizowanych parametrów, wielkość pola powierzchni stabilogramu (Ryc. 4) ukazuje większe różnice w próbach stania na dwóch nogach i stania na dwóch nartach niż długość drogi rzutu COP (Ryc. 3). Wszyscy badani uzyskali niższe wielkości pola powierzchni stabilogramu po założeniu sprzętu narciarskiego. W przypadku długości drogi rzutu COP, trzech badanych uzyskało nieco niższe wartości podczas stania bez butów (Ryc.3). Pozostali charakteryzowali się bardziej stabilną postawą po założeniu sprzętu narciarskiego, choć różnice nie były tak znaczące jak w próbach na jednej nodze (Ryc. 5, Ryc. 7).

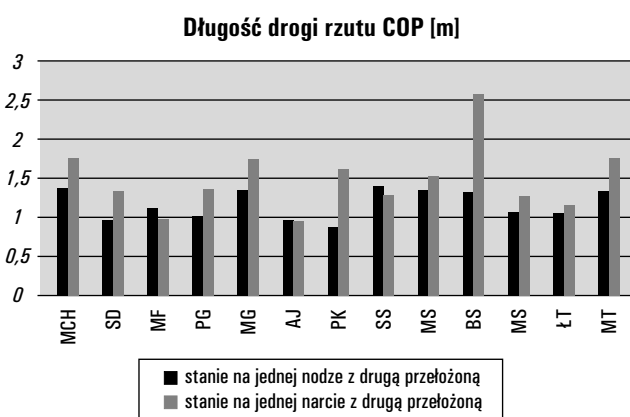
Długość drogi rzutu COP [m]



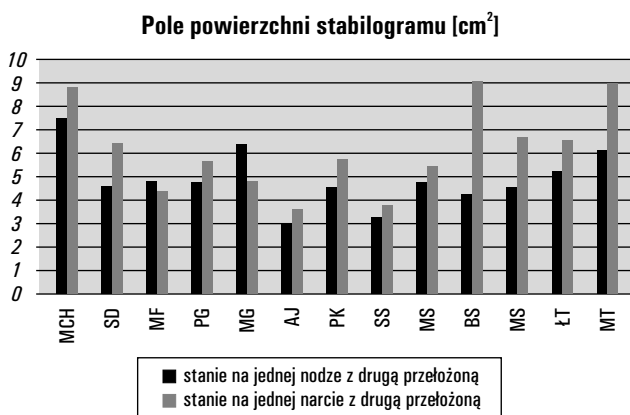
Rycina 5. Długość drogi rzutu COP w próbie stania na jednej nodze i stania na jednej nartce



Rycina 6. Pole powierzchni stabilogramu w próbie stania na jednej nodze i stania na jednej nartcie



Rycina 7. Długość drogi rzutu COP w próbie stania na jednej nodze z drugą przelożoną skrzyżnie przodem i stania na jednej nartcie z drugą przelożoną skrzyżnie przodem



Rycina 8. Pole powierzchni stabilogramu w próbie stania na jednej nodze z drugą przelożoną skrzyżnie przodem i stania na jednej nartcie z drugą przelożoną skrzyżnie przodem

Wartości obu parametrów (długość drogi rzutu COP i wielkość pola stabilogramu) są wyższe u większości badanych w zadaniach posturalnych na jednej nodze wykonywanych w sprężeniu narciarskim. U części badanych pogorszenie równowagi po założeniu sprzętu narciarskiego było stosunkowo niewielkie, natomiast w niektórych przypadkach obserwowano nawet kilkukrotny wzrost wartości analizowanych parametrów.

Dyskusja

W niniejszej pracy porównano wyniki parametrów stabilności postawy uzyskiwane w laboratorium, w poszczególnych zadaniach posturalnych w sprężeniu narciarskim i bez. Badanymi parametrami było pole powierzchni stabilogramu oraz całkowita długość drogi rzutu COP. Niższe wartości tych parametrów świadczą o mniejszych wahaniami i większej precyzji utrzymywania równowagi [3]. Średnie wartości zarówno pola stabilogramu jak i drogi rzutu COP dla zadań na dwóch nogach okazały się niższe w przypadku stania na platformie w sprężeniu narciarskim. Sytuacja wygląda odwrotnie podczas porównania wartości parametrów dla zadań wykonywanych na jednej nodze. W tym przypadku, w sprężeniu narciarskim badani osiągnęli istotnie wyższe wartości. Ponadto zaobserwowano, że długość drogi rzutu COP ukazuje mniejsze różnice pomiędzy próbami na nartach i bez, w porównaniu do pola powierzchni. Można to tłumaczyć różnymi sposobami kompensowania wahań w przypadku poszczególnych zadań. Stojąc na jednej nodze bez butów kompensacja wahań odbywa się głównie na poziomie stawu skokowego zgodnie z założeniami opisanego w pracy modelu sterowanego wahadła odwróconego. W założonych butach narciarskich staw skokowy jest w znacznym stopniu usztywniony, więc wykonywanie ruchów jest ograniczone, zwłaszcza w płaszczyźnie czołowej, dlatego konieczne jest znalezienie innej strategii kompensacji wahań. W trakcie badań można było zaobserwować, iż ruchy przywracające stabilną postawę podczas stania na jednej nartcie, w płaszczyźnie czołowej wykonywane były przede wszystkim w stawie biodrowym zaś w płaszczyźnie strzałkowej w biodrowym i kolanowym. Ponadto ruchy te były bardziej wydatne, lecz wolniejsze niż w przypadku prób bez sprzętu narciarskiego. Długość drogi rzutu COP zależna jest między innymi od szybkości oraz częstotliwości wahań, podczas gdy nie ma to większego wpływu na wielkość pola powierzchni stabilogramu, który jest uzależniony głównie od ich zakresu. Dlatego właściwszym parametrem porównującym poszczególne zadania wydaje się być wielkość pola powierzchni stabilogramu.

Utrzymując równowagę podczas stania na dwóch nogach kompensacja wahań konieczna jest głównie w płaszczyźnie strzałkowej, gdyż w płaszczyźnie czołowej ciało podparte jest w dwóch punktach. Ruchy kompensacyjne są na tyle mało wydatne, iż nie kłępiją ich usztywniające stawy skokowe buty narciarskie, pozwalające na pewien zakres ruchów w płaszczyźnie strzałkowej. Przyjmując powyższe założenia, niższe wartości pola dla stania na dwóch nartach, w porównaniu ze staniem na dwóch nogach bez butów można tłumaczyć tym, że sztywny but narciarski stanowi punkt odniesienia dla części podudzia znajdującej się w jego wnętrzu, dzięki czemu możliwe jest odbieranie dodatkowych informacji o kierunku wahań płynących z receptorów dotyku umiejscowionych w tym rejonie podudzia. Ta zwiększona ilość informacji może wpływać na wcześniejsze zastosowanie odpowiednich ruchów kompensacyjnych, które w przypadku stania na dwóch nogach są minimalne.

Inna sytuacja występuje podczas zadań wykonywanych na jednej nodze. Większa niestabilność postawy w tym przypadku cechuje próby w sprężeniu narciarskim. Jest to spowodowane usztywnieniem stawu skokowego przez buty narciarskie. W przypadku stania na jednej nodze bez butów ruchy kompensacyjne wykonywane są głównie w stawie skokowym, przy usztywnieniu całego ciała i upodobnieniu go do sterowanego wahadła odwróconego. Są one znacznie wydatniejsze niż podczas stania na dwóch nogach, dlatego usztywnienie stawu skokowego przez but narciarski wymusza znalezienie innych sposobów kompensacji wahań ciała. Jak już wcześniej wspomniano ruchy kompensacyjne odbywają się w tym przypadku głównie w stawie biodrowym, a w płaszczyźnie strzałkowej

również w stawie kolanowym. Być może to właśnie konieczność zastosowania nowej, w stosunku do stosowanej w życiu codziennym, strategii kompensacji wahań ciała sprawia tyle trudności początkującym narciarzom. Kolejną z przyczyn pogorszenia stabilności podczas zadań na jednej nartcie może być wzrost masy i momentu bezwładności kończyny uniesionej z butem i nartą w stosunku do analogicznej próby bez sprzętu narciarskiego. Nawet minimalne ruchy ważącej (w zależności od modelu i długości) kilka kilogramów narty mogą wpływać na wzrost parametrów rejestrowanych przez platformę.

Niższe wartości pola powierzchni podczas stania na dwóch nogach dla zadań wykonywanych w sprzęcie narciarskim mogą świadczyć o jego pozytywnym wpływie na utrzymywanie równowagi. Można jednak przypuszczać, że w trakcie jazdy na nartach, przy dużych prędkościach, ciągłych zmianach pozycji podczas wykonywania skrętów, nierównościach terenu, wachania ciała są znacznie większe niż w przypadku względnie nieruchomego stania. Dlatego nie wystarczy wykonanie minimalnych ruchów kompensacyjnych w stawie skokowym, jak ma to miejsce w tej sytuacji. Bardziej reprezentatywnym zadaniem w tym przypadku wydają się być próby na jednej nodze, gdzie wachania są na tyle duże, że istnieje konieczność zastosowania innych sposobów ich kompensacji. W przypadku stania na jednej nartcie z drugą swobodnie uniesioną wartością pola powierzchni stabilogramu wzrasta średnio o 23%, zaś w przypadku stania na jednej nartcie z drugą położoną skrzyżnie średnio o 25% w stosunku do średnich wartości charakteryzujących stanie w tych samych pozycjach bez sprzętu narciarskiego. W pierwszej chwili nasuwa się wniosek, iż sprzęt narciarski utrudnia utrzymywanie równowagi, gdyż próby przeprowadzone z jego użyciem charakteryzują się istotnie wyższymi wartościami parametrów stabilograficznych. Jednak pomimo wzrostu wielkości pola powierzchni stabilogramu po założeniu sprzętu narciarskiego, rzut COP nadal znajduje się wewnątrz figury utworzonej przez obrys stóp w próbie na dwóch nogach czy obrys jednej stopy w próbie na jednej nodze. Ponadto zakładając buty narciarskie i przypinając narty człowiek zwiększa kilkukrotnie podstawę swojego ciała, którą wyznacza z jednej strony długość nart, a z drugiej stopień ich rozstawienia. Przyjmując powyższe założenia można stwierdzić, iż sprzęt narciarski pozytywnie wpływa na utrzymywanie równowagi.

Ponadto, podobnie jak w badaniach innych autorów [2, 3, 10, 11] zauważono znacznie wyższe wartości parametrów równowagi w przypadku pozycji stania na jednej nodze w porównaniu ze staniem na dwóch kończynach zarówno w sprzęcie narciarskim jak i bez obuwia.

Wnioski

- Usztywnienie stawu skokowego przez sprzęt narciarski nie wywiera negatywnego wpływu na utrzymywanie równowagi. Wzrost wielkości wahań podczas zadań w sprzęcie narciarskim jest nieznaczny w porównaniu z powiększeniem pola podstawy ciała, jakie umożliwia ten sprzęt.
- W celu utrzymywania równowagi w sprzęcie narciarskim konieczne jest wykształcenie nowych sposobów kompensowania wahań ciała. W tym przypadku ruchy kompensacyjne mają miejsce głównie w stawach biodrowych i kolanowych, a nie jak w przypadku stania swobodnego w stawach skokowych.
- W trakcie pierwszych lekcji narciarstwa należy stosować ćwiczenia oswajające ze sprzętem, dzięki którym przyszły narciarz uczy się nowych sposobów kompensowania wahań równowagi. Szczególnie przydatne mogą okazać się gry i zabawy, w których występują elementy przyjmowania odpowiednich pozycji, poruszania się

w butach narciarskich, na jednej nartcie oraz w kompletnym sprzęcie narciarskim.

Piśmiennictwo

1. Raczek, J. (1991). Koordynacyjne zdolności motoryczne (podstawy teoretyczno-empiryczne i znaczenie w sporcie). *Sport Wyczynowy*, 5-6: 7-19.
2. Golema, M. (2002). *Charakterystyka procesu utrzymywania równowagi ciała człowieka w obrazie stabilograficznym*. Studia i Monografie 64. Wrocław: AWF.
3. Kuczyński, M. (2003). *Model lepko-sprężysty w badaniach stabilności postawy człowieka*. Studia i Monografie 65. Wrocław: AWF.
4. Błaszczak, J.W. (2004). *Biomechanika kliniczna: podręcznik dla studentów medycyny i fizjoterapii*. Warszawa: PZWL.
5. Morawski, J. (1978). A Simple Model of Step Control in Bipedal Locomotion. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 6: 544-549.
6. Winter, D.A (1995). Human Balance and Postural Control During Standing and Walking. *Gait posture*, 3.
7. Kemmler, J. (2003). *Na narty! najnowsze techniki i sprzęt*. Warszawa: Grupa Wydawnicza Bertelsmann Media.
8. Zatoń, M. (Red.) (1996). *Podstawy narciarstwa zjazdowego*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza SIGNUM.
9. Krysicki, W., Bartos J., Dyczka W., Królikowska K. & Wasilewski M. (1986). *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach*, cz. I. Warszawa: PWN.
10. Sobera, M. (2003). Wpływ wielkości powierzchni podparcia stóp na wskaźniki stabilności pozycji stojącej jednonóż. W Cz. Urbanik (Red.), *Zagadnienia biomechaniki sportu - technika ruchu*. Warszawa: AWF
11. Golema, M. (1987). *Stabilność postawy stojącej*. Studia i Monografie 17. Wrocław: AWF.

Otrzymano: 14.08.2012

Przyjęto: 17.09.2012