

Zastosowanie platformy dynamometrycznej do oceny równowagi u pracowników starszych użytkujących obuwie ochronne

Use of dynamometric platform to evaluate the balance of older workers using protective footwear

EMILIA IRZMAŃSKA*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.464

Sprawdzono, czy badanie równowagi na platformie dynamometrycznej pozwoli na różnicowanie wyników badań w grupie osób młodszych i starszych, użytkujących obuwie ochronne o różnej konstrukcji. Wykazano, że noszenie obuwia ochronnego z cholewką i usztywnieniem wokół stawu skokowo-goleniowego wpływa na poprawę równowagi statycznej i dynamicznej u osób starszych.

SŁOWA KLUCZOWE: poślizg, obuwie ochronne, równowaga, pracownicy starsi

It was determined whether balance tests conducted on a dynamometric platform reveal differences between younger and older subjects wearing protective footwear differing in terms of shoe collar height and heel support. It was showed that the protective footwear with a high collar and ankle support improved both static and dynamic balance in older persons.

KEYWORDS: slipping, protective footwear, balance, older workers

Do upadków na tym samym poziomie dochodzi najczęściej w przemyśle spożywczym i gastronomii, budownictwie, służbie zdrowia, transporcie oraz podczas wykonywania prac na drogach publicznych [1]. Wśród przyczyn wymienia się m.in. wady konstrukcyjne i ergonomiczne obuwia [2]. W literaturze podkreśla się, że występowanie upadków jest także związane z czynnikami indywidualnymi użytkownika, takimi jak wiek i sprawność ruchowa [3]. Problem ten jest szczególnie ważny w przypadku pracowników starszych, powyżej 60. roku życia [4, 5]. Należy podkreślić, że bezpośrednią przyczyną upadków wśród tej grupy pracowników jest utrata równowagi [6]. Zależy ona bezpośrednio od prawidłowego funkcjonowania systemu kontroli postawy, w tym środka ciężkości ciała. Nieprawidłowo dobrane obuwie może zwiększać wychylenia środka ciężkości w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej. Jako czynniki ryzyka zidentyfikowano przede wszystkim obuwie źle dopasowane, nadmiernie znoszone oraz śliskie. Podkreśla się także, że pewne rozwiązania konstrukcyjne obuwia (wysokość cholewki, usztywnienie pięty, wysokość obcasa) mogą bardziej predysponować do utraty równowagi i – w konsekwencji – upadku. W przypadku większości stanowisk pracy dobór odpowiedniego obuwia ochronnego jest więc ważnym czynnikiem związanym z prewencją upadku pracowników [7, 8].

Celem pracy było sprawdzenie, czy badanie równowagi na platformie dynamometrycznej pozwoli na różnicowanie wyników w grupie osób młodszych i starszych użytkujących obuwie ochronne zróżnicowane pod względem konstrukcji wierzchniej w zakresie usztywnienia pięty i wysokości cholewki.

Materiał badawczy i metodyka

Grupa badawcza liczyła 40 mężczyzn: 20 w wieku 20–30 lat (grupa M) oraz 20 w wieku 60–65 lat (grupa S), czynnych zawodowo (M: strażacy, kierowcy, rolnicy; S: rolnicy, pracownicy ochrony).

Wytypowano dwa rodzaje obuwia ochronnego, różniące się pod względem konstrukcji – z niską cholewką (model A) oraz trzewik (model B). Obuwie miało elementy ochronne: metalowe podnoski, materiały amortyzujące staw skokowo-goleniowy oraz piętę.

W badaniach uwzględniono trzy warianty pomiarowe – na boso (pomiar referencyjny) oraz w obuwiu ochronnym A i B (dwa pomiary właściwe).

Badanie wykonano w laboratorium CIOP-PIB. Obuwie, skarpetki oraz odzież do badań były klimatyzowane w pomieszczeniu laboratoryjnym o temperaturze powietrza $23 \pm 2^\circ\text{C}$ oraz wilgotności względnej $50 \pm 5\%$ [9].

Do oceny równowagi zastosowano platformę dynamometryczną (Technomex, model ALFA, 2013 – Technomex, Gliwice). Przeprowadzono dwa testy: statyczny i dynamiczny.

Test statyczny to ocena równowagi (tzw. test Romberga) polegająca na analizie rzutu środka ciężkości ciała na płaszczyznę podparcia. Pomiar wykonywano dla przyjętych trzech wariantów badania, każdy trwał po 30 s. Obiekt badania stał nieruchomo na platformie dynamometrycznej w pozycji wyprostowanej (ręce wzdłuż ciała), z oczami otwartymi. Wyznaczano długość ścieżki wychyleń środka ciężkości w cm oraz jego pole powierzchni w cm^2 .

W teście dynamicznym podczas oceny równowagi osoba stojąca na platformie przemieszczała środek ciężkości według instrukcji na ekranie. Pola podświetlały się kolejno, a zadaniem uczestnika było podjęcie próby wychylenia środka ciężkości w stronę podświetlanego obiektu, bez odrywania stóp od platformy, pomocy rąk i innych osób. Wyznaczano całkowitą długość ścieżki w cm.

Analiza statystyczna

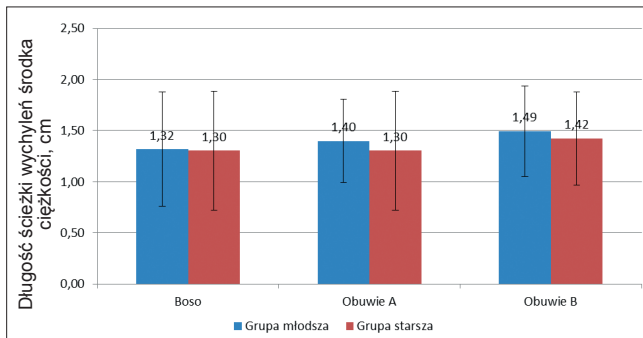
Przeprowadzono analizę statystyczną następujących wyników badań:

- testu statycznego: długość ścieżki wychyleń środka ciężkości w cm oraz jego pole powierzchni w cm^2 ,
- testu dynamicznego: całkowita długość ścieżki w cm.

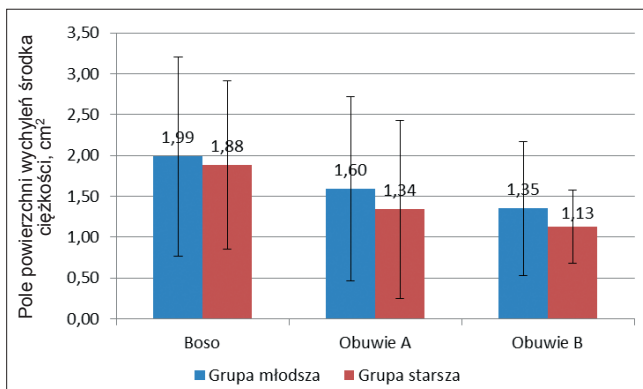
W przypadku testu statycznego i dynamicznego (platforma dynamometryczna) wykorzystano jeden z dwóch testów statystycznych: t-Studenta (rozkład normalny, jednorodność wariancji) lub Cochran-Coxa (rozkład normalny, brak jednorodności wariancji) do oceny różnic indywidualnych pomiędzy grupą starszą i młodszą w zakresie długości ścieżki oraz pola powierzchni, oddzielnie dla wariantu referencyjnego oraz pomiarów właściwych. W ocenie testów założono poziom istotności $\alpha = 0,05$. Jako

* Dr inż. Emilia Irzmańska (emirz@ciop.lodz.pl) – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

hipotezy zerowe przyjęto twierdzenia o niewykazywaniu statystycznie istotnych różnic między grupami. W konsekwencji, w przypadku uzyskania w teście statystycznym



Rys. 1. Długość ścieżki wychyleń środka ciężkości w grupie M i S w statycznym teście równowagi z otwartymi oczami



Rys. 2. Pole powierzchni wychyleń środka ciężkości w grupie M i S w statycznym teście równowagi z otwartymi oczami

TABLICA I. Statystyki podstawowe dla testu statycznego w grupie M i S w trzech wariantach badania: na boso, w obuwiu A i B

	\bar{x}	Me	s	RSD %	Min.	Maks.	Test istotności
Na boso							
Długość ścieżki wychyleń środka ciężkości							
M	15,0	15,9	4,1	27,6	7,2	24,3	$p = 0,002^{* \diamond}$
S	23,1	20,9	9,6	41,5	12,3	43,4	
Pole powierzchni							
M	1,0	0,9	0,5	55,0	0,4	2,3	$p = 0,008^{* \diamond}$
S	1,9	1,7	1,2	66,4	0,5	4,5	
Obuwie A							
Długość ścieżki wychyleń środka ciężkości							
M	16,6	16,4	4,1	24,7	8,8	25,1	$p = 0,008^{* \diamond}$
S	26,3	24,1	13,9	52,7	11,8	65,5	
Pole powierzchni							
M	1,2	1,1	0,5	40,2	0,5	2,2	$p = 0,002^{* \diamond}$
S	2,3	1,8	1,3	58,9	0,9	5,2	
Obuwie B							
Długość ścieżki wychyleń środka ciężkości							
M	15,0	14,7	4,0	25,6	10,5	25,6	$p = 0,013^{* \diamond}$
S	23,7	20,0	12,8	57,4	12,4	52,2	
Pole powierzchni							
M	0,9	0,9	0,3	32,1	0,5	1,3	$p = 0,017^{* \diamond}$
S	2,2	1,6	1,4	65,0	0,9	4,9	

Me – mediana, s – odchylenie standardowe, RSD – względne odchylenie standardowe; * $p > 0,05$ – wynik istotny statystycznie; \diamond – wynik dla testu Cochran-Coxa; \circ – wynik dla testu t-Studenta (test t-Studenta zastosowano, ponieważ rozkład był normalny, a wariancje były jednorodne, co było sprawdzone z wykorzystaniem testu Levena i Brown-Forsythe'a)

wartości prawdopodobieństwa testowego p mniejszego od założonego poziomu istotności ($p > 0,05$), wnioskowano, że są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej, a więc twierdzenia, że różnice w wartościach średnich pomiędzy grupami są statystycznie istotne (tabl. I i II).

TABLICA II. Statystyki podstawowe dla testu dynamicznego w grupie M i S w trzech wariantach badania: na boso, obuwiu typu A i B

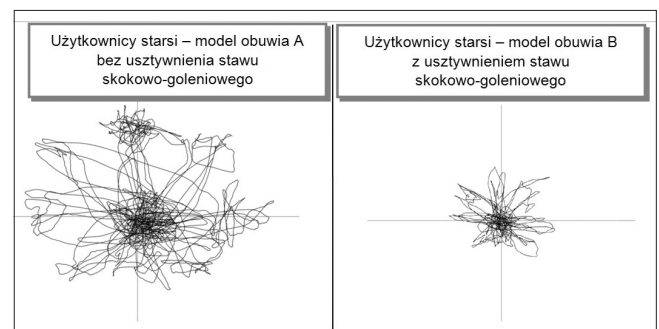
	\bar{x}	Me	s	RSD %	Min.	Maks.	Test istotności
Na boso							
M	387,4	386,7	47,2	12,2	309,2	502,1	$p = 0,000^{* \circ}$
S	238,9	204,8	106,7	44,7	153,8	592,1	
Obuwie typu A							
M	362,0	349,8	71,7	19,8	266,4	549,7	$p = 0,000^{* \circ}$
S	221,9	197,2	75,7	34,5	121,5	401,2	
Obuwie typu B							
M	350,8	352,9	45,7	13,0	254,6	533,9	$p = 0,000^{* \circ}$
S	215,2	183,7	74,2	34,5	147,3	419,6	

Me – mediana, s – odchylenie standardowe, RSD – względne odchylenie standardowe; * $p > 0,05$ – wynik istotny statystycznie; \circ – wynik dla testu t-Studenta

TABLICA III. Współczynniki korelacji wyników testu statycznego i dynamicznego w grupie M i S w trzech wariantach badania: na boso, w obuwiu A i B

Wariant	Test statyczny				Test dynamiczny	
	Długość ścieżki wychyleń środka ciężkości		Pole powierzchni		Całkowita długość ścieżki	
	M	S	M	S	M	S
na boso/ /obuwie A	0,583	0,750	0,586	0,699	0,432	0,969*
na boso/ /obuwie B	0,737	0,755	0,434*	0,734	0,357	0,944*

* korelacja istotna $p > 0,05$



Rys. 3. Ocena równowagi na platformie dynamometrycznej w zakresie długości i charakteru ścieżki przebytej przez grupę użytkowników starszych w obuwiu zróżnicowanym pod względem konstrukcji (obuwie B z usztywnieniem wokół stawu skokowo-goleniowego bardziej stabilizowało użytkownika – obserwowano krótszą ścieżkę oraz mniej wychyleń środka ciężkości)

W odniesieniu do testu statycznego i dynamicznego (platforma dynamometryczna) wykorzystano analizę współczynników korelacji liniowej Pearsona do zbadania związku pomiędzy całkowitą długością ścieżki w cm dla wariantu na boso (pomiar referencyjny) oraz wariantów w obuwiu ochronnym A i B (dwa pomiary właściwe), oddzielnie dla dwóch grup (starszej i młodszej). Przyjęto założenie, że występowanie dodatniej korelacji świadczy o tym,

że rodzaj obuwia ma wpływ na całkowitą długość ścieżki, a tym samym na stopień wychylenia się. W ocenie testu założono poziom istotności $\alpha = 0,05$. Wartość współczynnika korelacji była interpretowana – o ile była istotna statystycznie – na przyjętym poziomie istotności ($p > 0,05$) (tabl. III).

Analizę przeprowadzono w programie SPSS Statistics 21.0.

Wyniki badań

Analiza statystyczna pozwoliła na obiektywną ocenę zdolności do zachowania równowagi i stabilności posturalnej osób starszych użytkujących obuwie ochronne. Wyniki badań testu dynamicznego i statycznego potwierdzają mniejszą zdolność utrzymania równowagi w grupie osób starszych w porównaniu z grupą młodszą (tablica I i II, rys. 1 i 2). Badanie równowagi na platformie dynamometrycznej (test statyczny) wskazało na mniejszą stabilność osób starszych i ich tendencję do wychyleń w kierunku przód–tył; z kolei test dynamiczny wykazał, że największą płynność ruchów i najmniejszą liczbę wychyleń uzyskano w grupie starszej dla obuwia z usztywnieniem wokół stawu skokowo-goleniowego (rys. 3).

Na podstawie analizy statystycznej stwierdzono istotne różnice w zakresie badanych parametrów – długości ścieżki i pola powierzchni – między grupą osób młodszych i starszych (tabl. III). Grupa starsza uzyskiwała wyższe wartości parametrów w wariancie na boso i w obuwiu A i B. Zarówno zakresy ruchu rzutu środka ciężkości, jak i pole powierzchni przemieszczenia rzutu środka ciężkości były większe w grupie osób starszych niż w grupie osób młodszych. Zdolność utrzymania równowagi jest zatem zdecydowanie większa w grupie młodszej. Analiza korelacji liniowej Pearsona pozwoliła stwierdzić, że grupa starsza wykazuje silniejszą tendencję do uzyskiwania wyższych wartości wymienionych parametrów niż grupa młodszą. Trend ten jest bezpośrednio związany z konstrukcją obuwia ochronnego (tabl. III).

W badaniach własnych zastosowano analizę korelacji z wykorzystaniem współczynnika korelacji Pearsona. Jest ona odpowiednia do badania związku pomiędzy dwiema cechami. Jeżeli współczynnik korelacji jest dodatni, przyjmuje się, że gdy zwiększają się wartości jednej zmiennej, to rosną również wartości drugiej zmiennej (i na odwrót: maleją jednej zmiennej – maleją również drugiej). Mierzonymi cechami były:

- w teście statycznym – długość ścieżki wychyleń środka ciężkości, pole powierzchni,
- w teście dynamicznym – całkowita długość ścieżki w trzech wariantach: na boso, w obuwiu typu A i B, z podziałem na dwie grupy wiekowe.

W wyniku analizy korelacyjnej można stwierdzić, że test dynamiczny jest bardziej czuły niż test statyczny. Na podstawie testu dynamicznego ustalono, że wśród osób starszych rodzaj stosowanego obuwia ma wpływ na stopień wychylenia środka ciężkości, a więc na stopień ich bezpieczeństwa (istotna statystycznie $p > 0,05$ bardzo silna korelacja dodatnia $r > 0,9$ świadcząca o tym, że im dłuższa jest całkowita długość ścieżki na boso u danej osoby, tym dłuższa jest ona w obuwiu A i B – tabl. III). U osób młodszych taka relacja nie jest obserwowana w teście dynamicznym. Dla tej grupy wiekowej jest ona widoczna w stopniu umiarkowanym w teście statycznym dla wariantu na boso/obuwie B (istotna statystycznie $p > 0,05$ umiarkowana korelacja dodatnia $r = 0,434$).

W literaturze podkreśla się, że w większości przypadków przyczyną upadku jest utrata równowagi ciała. Bezpośrednio zależy to od prawidłowego funkcjonowania systemu kontroli postawy, w tym środka ciężkości czy środka masy. Jest wiele dowodów świadczących o tym, że wraz z wiekiem chód człowieka staje się bardziej sztywny, mniej skoordynowany, co wpływa na zachowanie prawidłowej równowagi ciała [10–12]. Starsze osoby w warunkach dynamicznych trudniej zachowują stabilną postawę – aby utrzymać równowagę, wykonują wiele dodatkowych ruchów ciałem, znacznie zwiększając przy tym ścieżkę zakreślaną przez środek ciężkości ciała [13]. Środek ciężkości ciała i jego wychylenia uznawane są za ważny wyznacznik zmian w równowadze i chodzie, które mogą się przyczyniać do zwiększenia ryzyka upadków [14]. Nieprawidłowo dobrane obuwie może zwiększać wychylenia środka ciężkości w kierunkach przód–tył oraz lewo–prawy. Szczególnie wychylenia środka ciężkości do przodu (w płaszczyźnie czołowej) mają duży wpływ na potencjalne upadki [14]. Rodzaj obuwia może wpływać na zmiany środka ciężkości [15, 16].

W badaniach własnych zaobserwowano podobne prawidłowości. Analiza wskazała, że badanie z zastosowaniem platformy dynamometrycznej jest adekwatnym narzędziem badawczym z punktu widzenia oceny potencjalnego upadku w przyszłości (badanie równowagi na platformie dynamometrycznej – test dynamiczny).

Wnioski

- Konstrukcja obuwia ochronnego ma wpływ na wychylenia środka ciężkości użytkowników; wyższe obuwie (cholewka sznurowana pozwalająca na lepsze dopasowanie) z elementami ochronnymi amortyzującymi staw skokowo-goleniowy oraz piętę zmniejsza wychylenie środka ciężkości.
- Badanie równowagi na platformie dynamometrycznej pozwala na obiektywną ocenę zdolności do zachowania równowagi i stabilności posturalnej osób starszych, użytkujących obuwie ochronne (wyrażone większą liczbą wychyleń środka ciężkości w kierunku przód–tył).
- Na poprawę równowagi statycznej i dynamicznej u osób starszych wpływ ma obuwie ochronne z cholewką i usztywnieniem wokół stawu skokowo-goleniowego (mniejsze wychylenie środka ciężkości w kierunku przód–tył, największa płynność ruchów) – w porównaniu z obuwiem bez cholewki (typu sandał).

Podziękowania

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego pt. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014–2016 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy. Podziękowania dla firmy Technomex Sp. z o.o. z Gliwic w Polsce za udostępnienie platformy dynamometrycznej i pomoc podczas przygotowania urządzenia do badań.

LITERATURA

1. Han L., Yang F. "Strength or power: Which is more important to prevent slip-related falls?". *Human Movement Science*. Vol. 44 (2015): pp. 192–200.
2. Menant J.C., Steele J.R., Menz H.B., Munro B.J., Lord S.R. "Optimizing footwear for older people at risk of falls". *Journal of Rehabilitation Research and Development*. Vol. 45, No. 8 (2008): pp. 1167–1181.
3. Ambrose A.F., Paul G., Hausdorff J.M. "Risk factors for falls among older adults: A review of the literature". *Maturitas*. Vol. 75 (2013): pp. 51–61.
4. Connell B.R., Wolf S.L. "Environmental and behavioral circumstances associated with falls at home among healthy elderly individuals". *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. Vol. 78 (1997): pp. 179–183.
5. Tencer A.F., Koepsell T.D., Wolf M.E., Frankenfeld C.L., Buchner D.M., Kukull W.A., LaCroix A.Z., Larson E.B., Tautvydas M. "Biomechanical properties of shoes and risk of falls in older adults". *Journal of the American Geriatrics Society*. Vol. 52, No. 11 (2014): pp. 1840–1846.
6. Bridger R.S. "Some fundamental aspects of posture related to ergonomics". *International Journal of Industrial Ergonomics*. Vol. 8, No. 1 (1991): pp. 3–15.
7. Garnera J.C., Wadeb C., Gartenc R., Chandera H., Acevedod E. "The influence of firefighter boot type on balance". *International Journal of Industrial Ergonomics*. Vol. 43, No. 1 (2013): pp 77–81.
8. Kincl L., Bhattacharya A., Succop P., Clark C. "Postural sway measurements: a potential safety monitoring technique for workers wearing personal protective equipment". *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. Vol. 17 (2002): pp. 256–266.
9. EN ISO 20345:2011 Personal protective equipment – Safety footwear.
10. Tinetti M.E., Speechley M., Ginter S.F. "Risk factors for falls among elderly persons living in the community". *The New England Journal of Medicine*. Vol. 319, No. 26 (1988): pp. 1701–1707.
11. Rubenstein L.Z., Josephson K.R., Robbins A.S. "Falls in the nursing home". *Annals of Internal Medicine*. Vol. 121, No. 6 (1994): pp. 442–451.
12. Deandrea S., Lucenteforte E., Bravi F., Foschi R., La Vecchia C., Negri E. "Risk factors for falls in community-dwelling older people: a systematic review and metaanalysis". *Epidemiology*. Vol. 21, No. 5 (2010): pp. 658–666.
13. Pavol M.J., Runtz E.F., Edwards B.J., Pai Y.C. "Age influences the outcome of a slipping perturbation during initial but not repeated exposures". *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. Vol. 57 (2002): pp. M496–503.
14. Maki B.E., Holiiday P.J., Topper A.K. "A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population". *Journal of Gerontology*. Vol. 49, No. 2 (1994): pp. 72–84.
15. Gronqvist R., Roine J., Jarvinen E., Korhonen E. "An apparatus and a method for determining the slip resistance of shoes and floors by simulation of human foot motions". *Ergonomics*. Vol. 32, No. 8 (1989): pp. 979–995.
16. You J.Y., Chou Y.L., Lin C.J., Su F.C. "Effect of slip on movement of body center of mass relative to base of support". *Clinical Biomechanics*. Vol. 16, No. 2 (2001): pp. 167–173. ■