

ZAKRES MAKSYMALNYCH DOWOLNYCH WYCHYLEŃ ŚRODKA CIĘŻKOŚCI W PŁASZCZYŹNIE STRZAŁKOWEJ LUDZI W RÓŻNYM WIEKU JAKO MIARA STABILNOŚCI POSTAWY

Stabilność postawy została oceniona, u 30 studentów I roku AWF, 15 osób w wieku 35-50 lat i 14 osób w wieku powyżej 50 roku życia, poprzez zmierzenie maksymalnego przemieszczenia środka nacisku stóp (COP) w trakcie maksymalnego dowolnego wychylenia (MVE) w płaszczyźnie strzałkowej. Wyniki zastosowanej analizy wariancji z klasyfikacją podwójną wskazują na istotny wpływ wieku ($F=20.04428$, $p<0.001$) i próby ($F=175.82365$, $p<0.001$) na otrzymane wyniki badań. W próbie MVE w przód grupa młodsza uzyskała statystycznie istotnie lepsze rezultaty badań (139.20 ± 24.73) od grupy średniej (129.00 ± 22.23 , $p<0.001$) i starszej (128.43 ± 27.26 , $p<0.001$). Natomiast w próbie MVE w tył najlepszy wynik osiągnęła grupa starsza (118.43 ± 28.60), statystycznie istotnie lepszy od grupy średniej (106.33 ± 22.77 , $p<0.001$). Grupa młodsza uzyskała statystycznie istotnie lepsze rezultaty badań (116.09 ± 25.33 , $p<0.001$) od grupy średniej.

Słaba tylna granica stabilności, lęk przed upadkiem oraz chęć uzyskania dobrego wyniku badania prawdopodobnie spowodowały, że osoby starsze MVE w tył wykonywały po „kompensacyjnej zmianie pozycji wyjściowej”. Analiza wyników przeprowadzonych badań potwierdza hipotezę roboczą, że postępujący z wiekiem deficyt stabilności postawy powoduje mierzalne zmiany zakresu przemieszczania środka ciężkości. słowa kluczowe: stabilność posturalna, maksymalne dowolne wychylenie, wiek

Wprowadzenie

Postawa a w konsekwencji jej stabilność, zmieniają się przez całe życie. W okresie do 7-8 roku życia następuje stopniowa stabilizacja postawy. Po zwiótczeniu postawy, o podłożu neurohormonalnym, w okresie dojrzewania następuje ponowne przyjęcie prawidłowej sylwetki trwające do ok. 30 roku życia, po czym obserwujemy stopniową degradację systemu równowagi. Przez długi okres życia mechanizmy kompensacyjne skutecznie zmniejszają deficyt stabilności postawy. Dopiero niewydolność dostępnych mechanizmów kompensacyjnych, jak to ma miejsce w późnej starości, powoduje gwałtowny spadek stabilności postawy (Błaszczuk 2004). Głównym objawem niestabilności są zaburzenia równowagi powodujące często tragiczne w skutkach upadki. Upadki te mogą powodować znaczne urazy ciała a nawet śmierć. Upadki, nawet te które nie powodują znacznych obrażeń ciała, wywołują często długotrwałe stany lękowe rzutujące na dalszą aktywność życiową starszych osób. Zaburzenia równowagi są więc ważnym problemem społecznym. Stąd też pojawiła się konieczność wczesnego wykrywania ubytku kontroli równowagi jeszcze w okresie bezobjawowym. Wczesna diagnostyka niestabilności połączona z odpowiednią rehabilitacją mogą ograniczyć jej negatywne skutki oraz poprawić jakość życia osób w podeszłym wieku (Błaszczuk 1993,1994, 2004).

Równowaga to pewien określony stan układu posturalnego. Stan ten charakteryzuje pionowa orientacja ciała osiągnięta dzięki zrównoważeniu działających na ciało sił oraz ich momentów.

Stabilność oznacza zdolność do odzyskiwania stanu równowagi W przypadku postawy człowieka stabilnością nazywamy zdolność do aktywnego przywracania typowej pozycji ciała w przestrzeni utraconej w wyniku działania czynników destabilizujących (Błaszczuk 2004).

Stabilność postawy jest więc pojęciem szerszym, znacznie bardziej złożonym związanym z możliwościami oraz własnościami dynamicznymi i charakterystykami wszystkich układów

zaangażowanych w utrzymywanie równowagi. Dotyczy to przede wszystkim sprawności aparatu ruchu, szybkości reakcji i podejmowania decyzji oraz umiejętności prawidłowej analizy sprzecznych informacji o aktualnym stanie ciała, obejmującymi położenie jego segmentów oraz ich prędkości i przyspieszenie.

W tej perspektywie stabilność posturalna jest pojęciem zarówno biomechanicznym, jak i fizjologicznym (Kuczyński 2000,2003).

Wypadkową sterowania stabilnością jest określone położenie środka ciężkości. U ludzi stojących swobodnie ogólny środek ciężkości (OSC; ang. centre of gravity, COG) utrzymywany jest w dość wąskim obszarze (na poziomie S2) tak, że jego rzut na płaszczyznę podparcia znajduje się około 4.5-7cm do przodu od osi stawu skokowo-goleniowego (Hellebrandt i in. 1940). W warunkach statycznych równowaga zostaje zachowana wtedy gdy rzut środka ciężkości na podłoże pozostaje wewnątrz pola podparcia, czyli obrysu stóp (Massion 1992). Krawędzie stóp uznane w modelu Koozenkaniego (1980) za granicę stabilności są tylko umowną granicą - mechaniczną. Badania Błaszczyka i wsp. (1993, 1994) nad rzeczywistym położeniem granic stabilności w czasie spokojnego stania wykazały, iż człowiek nigdy nie osiąga hipotetycznej granicy stabilności wyznaczonej obwiednią stóp. Rzeczywistą granicę stabilności postawy oddziela od granicy mechanicznej, czyli krawędzi stóp, obszar nazwany marginesem bezpieczeństwa. Jego wielkość uzależniona jest od wydolności układu utrzymania równowagi oraz od innych czynników nie związanych bezpośrednio z kontrolą postawy np. lękiem przed upadkiem.

Maksymalne dowolne wychylenie (ang. maximum voluntary excursion, MVE) jest maksymalnym dowolnym przemieszczeniem ogólnego środka ciężkości (COG) w zakresie płaszczyzny podparcia. Może więc zostać użyte do określenia granicy pomiędzy statyczną (bez zmiany płaszczyzny podparcia) a dynamiczną (płaszczyzna podparcia musi się zmienić) strategią korygującą przydatną do kontroli równowagi.

Celem pracy jest porównanie zakresu przemieszczeń środka nacisku stóp (COP) w trakcie maksymalnego dowolnego wychylenia ciała w płaszczyźnie strzałkowej u studentów I roku AWF, osób w wieku 35-50 lat oraz u osób w wieku powyżej 50 roku życia.

W oparciu o tak sformułowany cel badań postanowiono uzyskać odpowiedź na następujące pytanie badawcze:

- czy istnieje zależność pomiędzy zakresem stabilności a wiekiem

Przed przystąpieniem do badań sformułowano następującą hipotezę roboczą:

Postępujący z wiekiem deficyt stabilności postawy powoduje mierzalne zmiany zakresu przemieszczania środka ciężkości

Material i metody badań

Badania wykonywane są w ramach projektu Komitetu Badań Naukowych (KBN) i uzyskały pozytywną ocenę Senackiej Komisji Etycznej.

W badaniach wzięło udział 60 osób: 30 osób wieku 19-21 lat – grupa młodsza – m (średnia wiek 19.27 ± 0.52 lat, min-19, max-21), 16 osób w wieku 35-50 – grupa średnia – śr (średnia wieku $40,25 \pm 4.96$ lat, min-35, max-50) oraz 14 osób w wieku powyżej 50 roku życia – grupa starsza – st (średnia wieku 56.00 ± 3.76 lat, min-51, max-63).

Wszyscy uczestnicy badań wyrazili zgodę na udział w testach. Były to osoby zdrowe, nie mające problemów z utrzymywaniem równowagi, bez przebytych operacji i uszkodzeń narządu ruchu. Żadna z badanych osób nie zgłaszała jakichkolwiek zaburzeń neurologicznych. Dobór badanych dokonany został losowo po uprzednim ustaleniu kryteriów jakim powinni odpowiadać.

Przed przystąpieniem do badań poinformowano badanych o przebiegu, procedurze i celu eksperymentu. Czas trwania każdej próby wynosił 25.6 sekund. Badani stawali bez obuwia na platformie w swobodnym staniu. W czasie testu maksymalnego wychylenia ruch miał

być ograniczony do stawów skokowych, bez odrywania stóp od płaszczyzny podparcia. Przed badanymi w odległości 3 metrów znajdował się zegar pomocny do odmierzenia 4 sekund w MVE.

Testy posturograficzne przeprowadzono w Zakładzie Antropomotoryki Katedry Motoryczności Człowieka AWF Katowice. Pozycja i przemieszczenia środka nacisku stóp (COP) została określona przy pomocy platformy tensometrycznej firmy Midi Capteurs.

W platformie zamontowane są 3 czujniki tensometryczne, które rejestrują siły nacisku oraz momenty sił wywieranych na podłoże przez stopy badanego w czasie stania. Na podstawie tych parametrów komputer wylicza położenie COP i rejestruje jego przemieszczenia.

Przeprowadzono 2 próby – każda trzykrotnie powtórzona:

- 1. Maksymalne dowolne wychylenie w przód (p):
 - na polecenie przeprowadzającego próbę badany wychyla się maksymalnie do przodu i pozostaje w MVE 4 sekundy, po czym wraca do pozycji wyjściowej i kontynuuje cykliczne wychylenia do przodu do końca rejestracji pomiaru.
- 2. Maksymalne dowolne wychylenie w tył (t):
 - na polecenie przeprowadzającego próbę badany wychyla się maksymalnie do tyłu i pozostaje w MVE 4 sekundy, po czym wraca do pozycji wyjściowej i kontynuuje cykliczne wychylenia do tyłu do końca rejestracji pomiaru.

Do analizy statystycznej brano pod uwagę średnią z trzech pomiarów.

Wartość maksymalnego wychylenia uzyskano, przetwarzając dane otrzymane z platformy tensometrycznej, za pomocą programu komputerowego „Helter”.

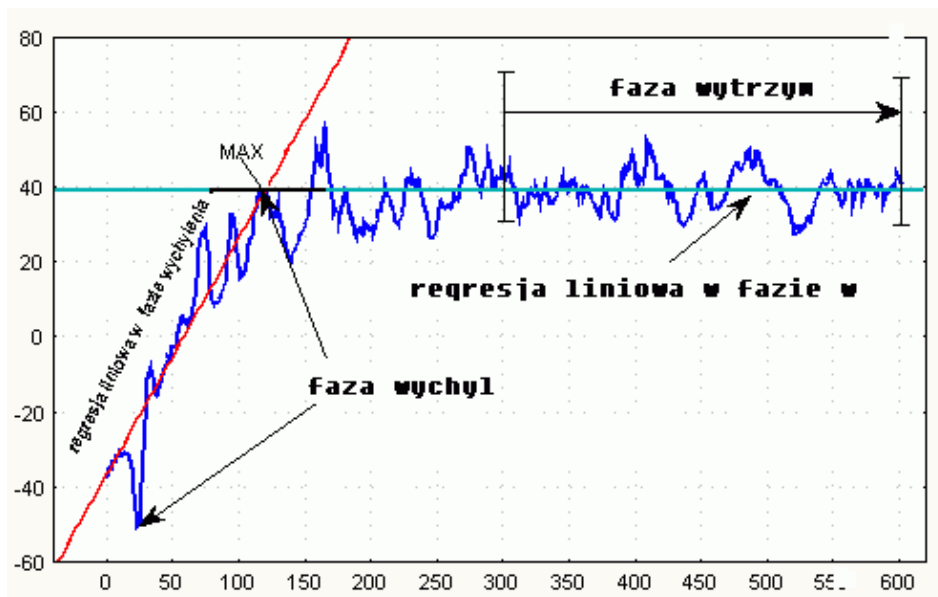
Zadaniem podstawowym zastosowanego programu jest wstępne przetworzenie danych otrzymanych z platformy tensometrycznej w eksperymencie wychylenia i zapis wyników przetwarzania w zbiorze tekstowym na dysku komputera w formacie umożliwiającym dalsze opracowanie przy pomocy standardowych programów analizy danych.

W niniejszej pracy analizie poddano fazę wychylenia i wytrzymania testu MVE. Faza wychylenia obejmuje odcinek od rozpoczęcia wychylenia do zakończenia ruchu związanego z wychyleniem. Faza wytrzymania wyznaczana jest przez ostatnie 50% czasu trwania pomiaru. Odcinek pomiędzy fazą wychylenia a fazą wytrzymania nazwany został stanem przejściowym (rzc.1).

Dla fazy wychylenia punktem początkowym jest punkt, w którym analizowana współrzędna przyjmuje wartość minimalną. Punktem końcowym jest pierwszy punkt przecięcia krzywej wychylenia z prostą regresji dla fazy wytrzymania. Uzyskany w ten sposób punkt (MAX) jest dla nas maksymalną wartością przemieszczenia środka nacisku stóp (COP) w fazie wychylenia w teście MVE (rzc.1).

W przypadku wychylenia w tył program odwraca wszystkie współrzędne wychylenia i procedura jest identyczna.

Wartości zmian położenia COP w teście MVE dla każdej grupy opisano za pomocą charakterystyk ilościowych: średnie arytmetyczne, odchylenia standardowe (tab.1). Dla oceny istotności różnic pomiędzy grupami wiekowymi zastosowano analizę wariancji z klasyfikacją podwójną (tab.2) oraz analizę post hoc – test Tukeya (tab.3). We wszystkich analizach przyjęto poziom $p \leq 0.05$ jako istotny statystycznie.



Ryc.1. Graficzny obraz wyznaczania poszczególnych faz oraz wartości MAX w teście MVE

Wyniki badań

Tabela 1

Wartości przemieszczeń środka nacisku stóp (COP) w teście MVE do przodu i do tyłu dla trzech grup wiekowych (w mm)

Grupa wiekowa	Maksymalne wychylenie [mm]			
	do przodu		do tyłu	
	średnia	SD	średnia	SD
młodsza m	139.20	±24.73	116.09	±25.33
średnia śr.	129.00	±22.23	106.33	±22.77
starsza st.	128.43	±27.26	118.43	±28.60

Tabela 2

Analiza wariancji z klasyfikacją podwójną – zestawienie efektów

Efekt	df Efekt	MS Efekt	df Błąd	MS Błąd	F	poziom p
Grupa wiekowa	2	12559.90	1464	626.61	20.04428	0.001
Próba	1	110172.40	1464	626.61	175.82365	0.001
Interakcja	2	5294.75	1464	626.61	8.44987	0.00022

Tabela 3

Analiza post-hoc – test Tukeya (oe-opcja eksperymentu, śr-średnia wartość MVE)

	m p	m t	śr p	śr t	st p	st t
oe śr	139.1955	116.0867	129.0015	106.3315	128.4321	118.4276
m p		0.00002	0.00019	0.00002	0.00047	0.00002
m t	0.00002		0.00002	0.00629	0.00005	0.96871
śr p	0.00019	0.00002		0.00002	0.99993	0.00458
śr t	0.00002	0.00629	0.00002		0.00002	0.00060
st p	0.00047	0.00005	0.99993	0.00002		0.00911
st t	0.00002	0.96871	0.00458	0.00060	0.00911	

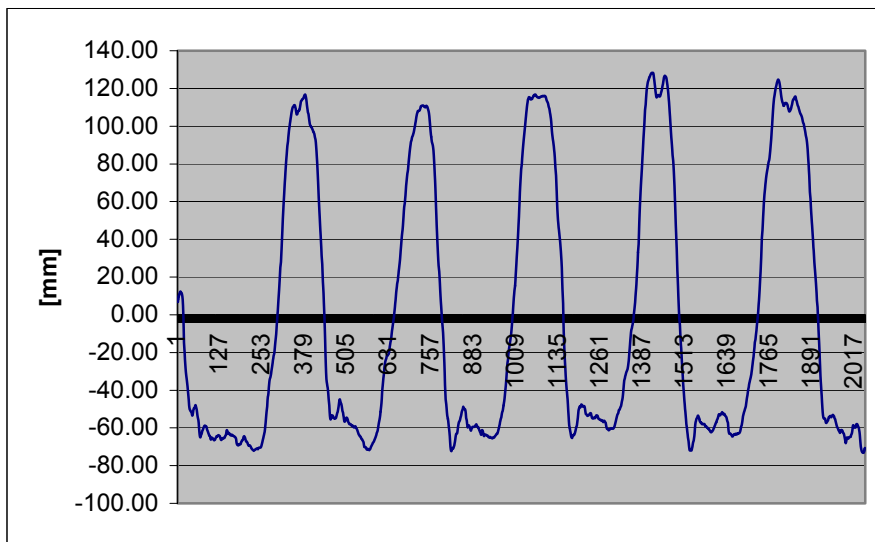
Wartości średnie zmiennej MAX (wartość maksymalnego wychylenia w fazie wychylenia) przedstawione w tabeli 1 były wyższe w próbie - wychylenie w przód dla wszystkich grup wiekowych w stosunku do wychylenia w tył. Natomiast w próbie –wychylenie w przód wartość średnia MAX była najwyższa w grupie młodszej a najniższa w grupie starszej. W wychyleniu w tył wartość średnia MAX była najwyższa w grupie starszej a najniższa w grupie średniej.

Tabela 2 przedstawia wyniki analizy wariancji dla zmiennej zależnej MAX oraz zmiennych niezależnych do których należy: grupa wiekowa (m-młodsza, śr- średnia, st-starsza) oraz próba (p-wychylenie w przód, t-wychylenie w tył).

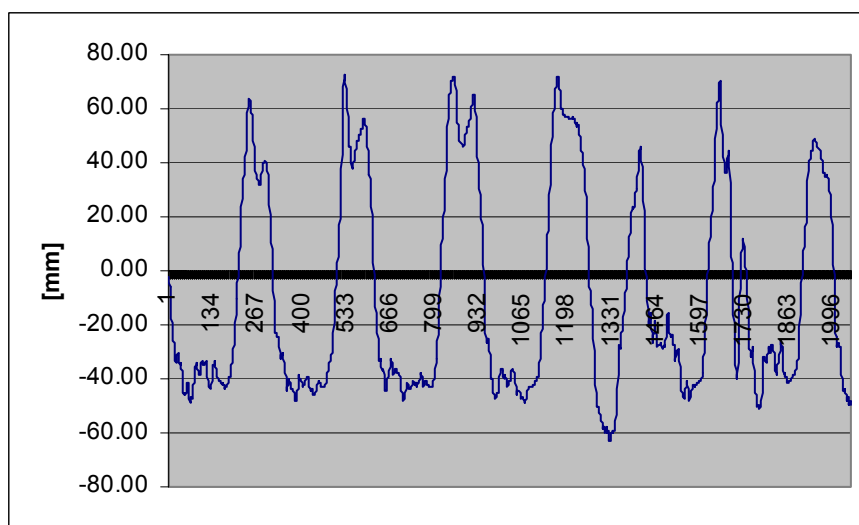
Analiza ta wykazała istotność efektów głównych zarówno dla zmiennej - grupa wiekowa ($p < 0.001$) jak i – próba ($p < 0.001$) a także istotny wpływ interakcji ($p < 0.001$).

Oznacza to, że wartości średnie zmiennej MAX są istotnie zróżnicowane zarówno względem grup wiekowych jak i próby. Ponadto charakter różnic względem grup wiekowych jest istotnie różny dla próby w przód i w tył.

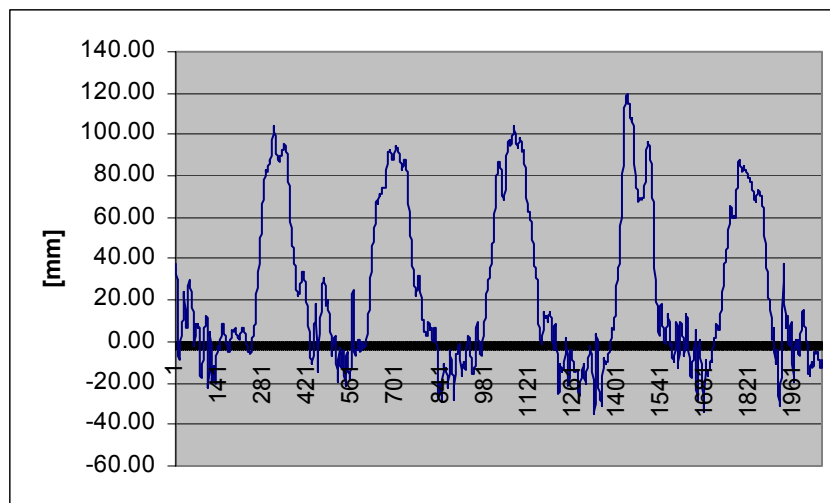
Uzupełniająca analiza post hoc, weryfikująca istotność różnic wartości średnich zmiennej MAX między poszczególnymi kategoriami wynikającymi z podziału na grupy wiekowe i rodzaj próby, wykazała istotne zróżnicowanie między grupą młodszą –wychylenie w przód, grupą średnią- wychylenie w przód i grupą starszą- wychylenie w przód oraz w ramach grupy młodszej między wychyleniem w przód i tył, w ramach grupy średniej między wychyleniem w przód i w tył oraz w ramach grupy starszej także między wychyleniem przód i tył (tab.3)



Ryc.2. Reprezentatywny zapis zmian położenia COP w teście MVE do tyłu osoby z grupy młodszej



Ryc.3. Reprezentatywny zapis zmian położenia COP w teście MVE do tyłu osoby z grupy średniej



Ryc.4. Reprezentatywny zapis zmian położenia COP w teście MVE do tyłu osoby z grupy starszej

Omówienie i wnioski

Celem niniejszej pracy było określenie zmian stabilności postawy w funkcji wieku.

Rezultaty przeprowadzonych testów wskazują na różnice pomiędzy badanymi grupami wiekowymi, co do zakresu przemieszczania COP w teście MVE.

W próbie MVE w przód grupa młodsza osiągnęła istotnie lepszy wynik testu niż grupa średnia i starsza. Potwierdza to hipotezę roboczą, że postępujący z wiekiem deficyt stabilności postawy powoduje mierzalne zmiany zakresu przemieszczania środka ciężkości. Fujiwara i współpracownicy (1982) powiązali to zmniejszenie przemieszczenia się COP z obniżeniem się siły mięśni łydki. Lee i Deming (1987) sugerują, że przez utrzymywanie środka nacisku stóp dalej od krawędzi stopy, starsze osoby mogą pozwolić sobie na szerszy mechaniczny „margines błędu”. Według Błaszczyka redukcja MVE zwiększa prawdopodobieństwo odzyskania stabilności w przypadku jej zakłócenia poprzez zwiększenie marginesu bezpieczeństwa. Pozwala to na

uzyskanie większej ilości czasu na ukończenie programu odzyskania równowagi (Błaszczuk 1993,1994,2004).

Zaskakujące wyniki otrzymano natomiast w próbie wychylenia w tył, gdzie najlepszy rezultat osiągnęła grupa starsza. Zazwyczaj osoby w starszym wieku przejawiają znaczną niezdolność ruchu przy próbach maksymalnego wychylenia się w dowolnym kierunku, szczególnie do tyłu (Błaszczuk 1993,1994).

Analizując wykresy zarejestrowanych prób (ryc.2,3,4) można zauważyć, że wszyscy badani wykonywali wychylenie w tył, po czym nie wracali do pozycji wyjściowej, tylko wychylali się do przodu. Kolejne MVE w tył, będące przedmiotem badania, wykonywali więc już po „kompensacyjnej zmianie pozycji wyjściowej”. U osób z grupy młodszej i średniej takie „przeregulowanie” prawdopodobnie spowodowane było chęcią uzyskania lepszego wyniku badania. Pomimo zmiany pozycji wyjściowej wyraźnie widać w tych grupach wychylenie w tył (ryc.2,3). Natomiast osoby z grupy starszej w zasadzie w ogóle nie wychylały się do tyłu (ryc.4). Można przypuszczać, że „kompensacyjna zmiana pozycji wyjściowej” u osób starszych spowodowana była lękiem przed upadkiem do tyłu oraz chęcią uzyskania dobrego wyniku badania. Przede wszystkim jednak świadczy o tym, iż tylna granica stabilności zostaje najbardziej uszkodzona w procesie starzenia i stanowi najsłabsze ogniwo kontroli stabilności postawy stojącej u ludzi w starszym wieku (Błaszczuk 1993,1994,2004).

Analiza wyników przeprowadzonych badań pozwala stwierdzić, że zakres przemieszczania środka nacisku stóp (COP) w płaszczyźnie strzałkowej w teście MVE zmniejsza się z wiekiem.

Badania wykonane zostały w ramach projektu: Zaburzenia kontroli motorycznej determinujące niestabilność postawy u osób starszych. Projekt badawczy nr 3 P05D 031 25 finansowany przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji.

Piśmiennictwo

1. Błaszczyk J.W. 1993. Kontrola stabilności postawy ciała, *Kosmos*, (2), 473-486.
2. Błaszczyk J.W., Lowe D.L., Hansen P.D. 1994. Ranges of postural stability and their changes in the elderly. *Gait & Posture* 1994, 2, 11-17.
3. Błaszczyk J.W. 2004. *Biomechanika kliniczna*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.
4. Fujiwara K., Ikegami H., Okada M., Koyama Y. 1982. Contributions of age and muscle strength of lower limbs to steadiness and stability in standing posture. *J Anthropol Soc Nippon*, 90, 385-99.
5. Hellebrandt F.A., Brogdon E., Tepper R.H. 1940. Posture and its cost. *Am.J. Physiol*, 129, 773-781.
6. Kuczyński M. 2000. Regulacja pozycji pionowej człowieka od metod oceny do mechanizmów. *Człowiek i Ruch*, 2, 34-44.
7. Kuczyński M. 2003. Model lepko-sprężysty w badaniach stabilności postawy człowieka. AWF Wrocław.
8. Lee W.A., Deming L. 1987. Correlation between age and the size of the normalized static support base while standing. *Proceedings of the 1987 Annual Meeting of the North American Society of the Psychology of Sport and Physical Activity*, 41.
9. Massion J. 1992. Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*, 38 (1), 35-56.

THE RANGE OF MAXIMAL VOLUNTARY COP EXCURSION IN A/P PLANE AMONG SUBJECTS IN DIFFERENT AGE AS A MEASURE OF POSTURAL STABILITY

Key words: postural stability, maximal voluntary excursion, age

Summary

Postural stability was evaluated in 30 students of Academy of Physical Education and 15 subjects aged between 35-50 and 14 subjects over 50 years old. The range of maximal voluntary excursion (MVE) of centre of foot pressure (COP) in A/P plane was registered.

The conducted two way ANOVA indicate significant influence of the age ($F=20.04428$, $p<0.001$) and trial ($F=175.82365$, $p<0.001$) on the results of the experiment.

The group of younger subjects in forward leaning (MVE) achieved significantly better results (139.20 ± 24.73) than the middle group (129.00 ± 22.23 , $p<0.001$) and the oldest group (128.43 ± 27.26 , $p<0.001$). Results of backwards MVE show that the best results achieved the oldest group (118.43 ± 28.60), significantly better than middle group (106.33 ± 22.77 , $p<0.001$).

Statistically significant and better than the middle group were the results of the youngest group (116.09 ± 25.33 , $p<0.001$).

Little range of MVE in backwards leaning, fear of falling down and inclination to achieve better results caused compensatory initial position change before MVE in older subjects. Analyzed data confirm the hypothesis that together with age the regression in postural stability causes observable changes in the range of COP excursion.