ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN - POLONIA
VOL.LX, SUPPL. XVI, 623 SECTIO D 2005

Wydział Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii Politechnika Opolska, Opole[1]
Katedra Gimnastyki
Akademia Wychowania Fizycznego, Wrocław[2]

BOŻENA WOJCIECHOWSKA - MASZKOWSKA[1], MICHAŁ KUCZYŃSKI[2]

Postural control and ageing

Zmiany stabilności postawy z wiekiem

Proces starzenia powoduje stopniowy spadek sprawności działania wszystkich systemów odpowiedzialnych za utrzymywanie równowagi [1,3,5]. Oczywiście, zmiany te nie zachodzą równocześnie i procesy kompensacyjne dość długo wyrównują i maskują ubytki dzięki odpowiedniej i ciągłej adaptacji układu nerwowego. Jednakże, gdy wymagania w stosunku do układu równowagi przekroczą jego ograniczone możliwości funkcjonalne, wystąpi niestabilność oraz zwiększenie prawdopodobieństwa upadku [3,9,10]. W tych momentach potrzebna jest interwencja rehabilitacyjna, której skuteczność zależy od prawidłowej oceny przyczyn niestabilności [2,3,7].

Jak mierzyć stabilność układu równowagi i jej zmiany z wiekiem? Tradycyjne podejście polega na analizie pewnych miar zmienności w czasie punktu przyłożenia wypadkowej przebiegu siły reakcji podłoża podczas utrzymywania równowagi podczas stania na platformie sił. Im większa jest ta zmienność, tym gorsza jest stabilność badanych osób [2,6,10]. Sygnał opisujący przemieszczenia tego punktu, zwany COP (center of pressure), jest sumą sygnału COG (center of gravity) oraz sił korekcyjnych generowanych przez odpowiednie mięśnie. Tradycyjne metody pomiaru i interpretacji dynamiki zmian COP, zwane stabilografią, posługują się rozmaitymi miarami oceniającymi średnią zmienność tego sygnału podczas prób stania swobodnego. Dziedzina ta posiada bogatą bibliografię, także dotyczącą osób w wieku starszych [1-5].

Główną zaletą stabilografii tradycyjnej jest jej zdolność do globalnej oceny sprawności układu równowagi. Jednakże w sytuacjach, gdy konieczna jest analiza elementarnych składowych tego układu, np. by wskazać indywidualne mechanizmy, których pogorszona funkcja może być przyczyną upadków, metoda ta traci swe znaczenie. Miary dynamiki COP mają charakter opisowy, dotyczą ogólnych symptomów i ich przydatność w identyfikacji przyczyn pogorszonej równowagi jest mocno ograniczona [6,7].

Aby wyeliminować te niedostatki, niedawno zaproponowano model lepko-sprężysty (LS) do opisu zachowań posturalnych podczas stania swobodnego [6]. W podejściu tym wykorzystuje się różnicę sygnałów COP – COG jako zmienną sterującą (sygnał korekcyjny), co znacznie powiększa nasz wgląd w mechanizmy utrzymywania równowagi w porównaniu z miarami samego sygnału COP. W modelowaniu LS zmiany mechanicznych własności postawy, jak sztywność czy lepkość obliczone na podstawie przebiegu sygnału korekcyjnego, mogą być stosunkowo dokładnie wytłumaczone zmieniającymi się dynamicznymi interakcjami pomiędzy układem nerwowym oraz wykonawczym.

Jednakże, aby kompetentnie wykorzystać zalety tego nowego podejścia, szczególnie ważnego w ocenie przyczyn niestabilności pacjentów i ich skutecznej rehabilitacji, niezbędna jest podstawowa wiedza o właściwościach LS układu równowagi tych osób, które najczęściej skarżą się na pogorszoną równowagę, czyli ludzi starszych. Celem niniejszych badań jest zatem porównanie wartości parametrów LS zmierzonych podczas stania swobodnego ludzi starszych z odpowiednimi wynikami osób młodych. Aby zbadać ewentualne związki pomiędzy obiema metodami, poszerzono analizę o parametry tradycyjne. Biorąc pod uwagę typową motorykę ludzką bazującą na lokomocji w płaszczyźnie

strzałkowej (PS), spodziewać się należy, że największe różnice wystąpią pomiędzy badanymi grupami w płaszczyźnie czołowej (PC). Wydaje się, że (naturalny) brak ruchu w PC, utrwalony przez lata nieaktywności, może prowadzić do niekorzystnych zmian strategii posturalnych u ludzi starszych.

MATERIAŁ I METODY

W badaniu uczestniczyło 109 osób: 50 studentów i 59 osób starszych. Średni wiek studentów wyniósł 22.4 ± 0.7 lat, ich średnia masa ciała 67.6 ± 13.7 kg, średni wzrost 174.2 ± 9.9 cm, kobiety z tej grupy stanowiły 46%. Średnia wieku w grupie osób starszych wyniosła 78.5 ± 6.6 lat, masa ciała 73.6 ± 15.4 kg, wzrost 162.2 ± 9.1 cm, a kobiety stanowiły w tej grupie 63% badanych. Młodzi uczestnicy badań określili stan swojego zdrowia jako bardzo dobry, a starsi jako dobry. Nikt z uczestników nie cierpiał na schorzenia mające związek z pogorszoną równowagą, Badania zaakceptowane zostały przez Komisję Bioetyki WWF i F Politechniki Opolskiej a wszystkie osoby wyraziły zgodę na udział.

Eksperyment polegał na swobodnym staniu przez okres 20 sekund na platformie stabilograficznej z oczami otwartymi, obunóż, w naturalnej pozycji. Podczas prób rejestrowano sygnał COP w obu płaszczyznach z częstotliwością 20 Hz. Sygnał COP wykorzystano do obliczenia tradycyjnych miar jego rozrzutu: zmienności w postaci odchylenia standardowego, zakresu oraz średniej prędkości. Wartości parametrów LS obliczono na podstawie metody przedstawionej szczegółowo przez Kuczyńskiego [6,7]. Do oceny różnic międzygrupowych i ich interakcji z płaszczyznami ruchu zastosowano jednoczynnikową (grupy wiekowe) analizę wariancji (Anova) z powtórzeniami (płaszczyzny ruchu) oraz test post-hoc Tukey'a (STATISTICA 6,0). Do badania związków pomiędzy parametrami użyto korelacji Pearsona.

WYNIKI

Wyniki badań przedstawiono w poniższych tabelach. Tabela 1 zawiera wartości parametrów LS pomiędzy badanymi grupami osób młodych i starszych, a Tabela 2 – porównanie wartości parametrów tradycyjnych. Oprócz wskazanych w tabelach różnic międzygrupowych warto zwrócić uwagę na odmienne związki pomiędzy płaszczyznami ruchu w obu grupach.

Dla większości porównywanych parametrów zaobserwowano bardzo silny efekt główny grupy wraz z istotnymi interakcjami pomiędzy grupą a płaszczyzną ruchu. Świadczy to o znamiennych różnicach w proporcjach wartości tych parametrów pomiędzy PS a PC w grupie młodszej i starszej. W grupie starszej zmienność i zakres (znacznie wyższe niż w grupie młodszej) są podobne w obu płaszczyznach, podczas gdy u ludzi młodszych zmienność jest wyższa o 48% ($p<0,0002$), a zakres o 35% ($p<0,001$) w PS niż w PC (Tab.2). Odmiennie zachowuje się prędkość średnia - jej wartości są w obu płaszczyznach u ludzi młodych zbliżone, natomiast w grupie starszej jej wartość (także znacznie wyższa niż w grupie młodszej) jest o 49% ($p<0.001$) wyższa w PS niż w PC.

Tabela 1. Porównanie wartości średnich (±OS) parametrów lepko-sprężystych między osobami młodymi i starszymi

Parametry	Płaszczyzna strzałkowa		Płaszczyzna czołowa	
	Osoby starsze	Studenci	Osoby starsze	Studenci
FR [Hz]	0,70 ± 0,20**	0,63 ± 0,14	0,60 ± 0,14	0,64 ± 0,15
ST [Nm/rad]	1448 ± 853***	879 ± 413	963 ± 501	908 ± 403
VI [Nms/rad]	134 ± 58***	99 ± 31	99 ± 43	95 ± 28
DA	0,24 ± 0,08	0,25 ± 0,07	0,22 ± 0,07*	0,25 ± 0,08

*p < 0,05; **p < 0,005; ***p<0,0001

Wartości częstotliwości, sztywności i lepkości posturalnej są w grupie młodszej prawie identyczne w obu płaszczyznach (Tab.2). W grupie starszej wartości te są wyższe w PS niż w PC, odpowiednio o 17% ($p<0,0002$), 50% ($p<0,0001$) i 35% ($p<0,0001$). Współczynniki tłumienia w obu grupach nie różniły się istotnie.

Tabela 2. Porównanie wartości średnich (±OS) tradycyjnych parametrów rozrzutu COP między osobami młodymi i starszymi

Parametry	Płaszczyzna strzałkowa		Płaszczyzna czołowa	
	Osoby starsze	Studenci	Osoby starsze	Studenci
Zmienność [mm]	5,0 ± 3,4	4,3 ± 1,4	4,7 ± 2,9*	2,9 ± 1,0
Zakres [mm]	26,3 ± 19,3	23,5 ± 7,5	25,6 ± 16,2*	17,4 ± 5,4
Śr. prędkość[mm/s]	10,4 ± 7.3	6.5 ± 2.2	7.0 ± 3.3*	5.5 ± 1,8

*p < 0,001

Analiza związków pomiędzy zmiennymi zależnymi przeprowadzona w obu grupach oddzielnie ujawniła dużą różnicę międzygrupową w odniesieniu do relacji pomiędzy średnią prędkością a innymi miarami COP. W grupie młodszej prędkość korelowała wysoko ze sztywnością i lepkością w obu płaszczyznach (r = 0,56 do 0,70; p<0,0001) wykazując jednocześnie bardzo niski związek z pozostałymi miarami rozrzutu. W grupie starszej związki prędkości z parametrami LS były pomijalne, podczas gdy jej korelacje ze zmiennością i zakresem COP osiągnęły duże wartości (r = 0,53 do 0,84; p<0,0001). Wiek osób starszych był ujemnie skorelowany z częstotliwością (r = -0,39; p<0,01) i sztywnością (r = -0,37; p<0,01) w PC oraz dodatnio z tłumieniem w PC (r = 0,34; p<0,01).

DYSKUSJA

Przedstawione wyniki wskazują, że konsekwencje starzenia się są różne w PS i PC. W PS ubytki (głównie sensoryczne) są kompensowane przez aktywniejsze monitorowanie położenia COG przejawiające się podwyższoną częstotliwością i sztywnością posturalną w tej płaszczyźnie. Pozwala to na utrzymanie zmienności COP na poziomie zbliżonym do ludzi młodych. W PC, na skutek braku jakichkolwiek form ćwiczeń, nie występuje kompensacja, badani najprawdopodobniej nie uświadamiają sobie problemu podwyższonej niestabilności, sztywność posturalna jest zbyt niska, a zmienność COP istotnie wzrasta. Ten znaczny wzrost zmienności COP potwierdzają badania innych autorów [2,8,10], którzy ponadto wskazują na jego związek ze zwiększonym ryzykiem upadków. Z kolei zbyt niska częstotliwość i sztywność posturalna w PC może również sprzyjać upadkom [7]. Przy braku odpowiednich ćwiczeń fizycznych tendencja ta może pogłębiać się z wiekiem [8,9,10] co potwierdzają niniejsze badania (ujemna korelacja wieku z częstotliwością i sztywnością).

Niska częstotliwość i podwyższona lepkość posturalna w PC to te parametry LS, które opisali Kuczyński i Ostrowska [7] jako czynniki wysokiego ryzyka związanego z niestabilnością czy upadkami. Dla opisanych w [7] osób z osteoporozą, w wieku 42 do 79 lat lepkość w PC tłumaczyła 20% wariancji upadków. Znaleziona w niniejszej pracy istotna korelacja pomiędzy tłumieniem w PC a wiekiem zdaje się potwierdzać ten związek, choć nadal nie jest jasne, czy wzrost właściwości tłumiących postawy jest wynikiem procesu starzenia i wpływa na pogorszenie równowagi, czy może jest przejawem przyjmowania specyficznej strategii utrzymywania równowagi w warunkach zwiększonego zagrożenia.

Interesującą informację wnoszą odmienne związki korelacyjne prędkości średniej COP w obu grupach. W piśmiennictwie jest niewiele doniesień na ten temat - przyjęto zapewne, że wszystkie miary rozrzutu COP są wzajemnie wysoko skorelowane, a wybór tych miar w danej pracy jest zasadniczo dowolny. Niniejsze wyniki zdają się przeczyć tym założeniom. Badania własne wskazują, że korelacje prędkości średnich są umiarkowane, tak z innymi miarami rozrzutu [Kuczyński, obserwacje niepublikowane] jak i parametrami LS [6], zwłaszcza częstotliwością i sztywnością. Teoretycznie, zarówno rozrzut jak i częstotliwość COP może modyfikować jego średnią prędkość. W świetle wyników tej pracy wydaje się, że silne związki prędkości z miarami LS wskazują na wysoki automatyzm regulacji postawy, podczas gdy jej silne związki z zakresem i zmiennością sugerują większy udział kontroli świadomej. Potwierdzają to prace dotyczące oceny równowagi badanych wykonujących dodatkowe zadanie kognitywne [8]. Spacerujący ludzie starsi zatrzymują się, gdy chcą porozmawiać (talking while walking dilemma), a osoby młode idą dalej pozostawiając zadanie utrzymania równowagi swojej podświadomości.

Podsumowując, w procesie starzenia zachodzą duże zmiany w funkcjonowaniu układu równowagi. Wydaje się, że ludzie starsi potrafią dobrze kompensować ubytki w PS, natomiast postawa w PC jest poważnie zagrożona i wymaga odpowiedniej rehabilitacji. Pomocna w jej opracowaniu powinna

być wnikliwa analiza wartości parametrów LS a także prędkości średniej, której znaczenie monitorujące zostało ostatnio bardzo mocno podkreślone [4].

PIŚMIENNICTWO

1. Alexander N. B.: Postural control in older adults. J Am Geriatr Soc. 1994, 42: 93 - 108.
2. Baloh R.W. i wsp.: A prospective study of posturography in normal older people. J Am Geriatr Soc. 1998, 46 (6): 438 - 443.
3. Hobeika C. P.: Equilibrium and balance in the elderly. Ear Nose Throat J. 1999, 78: 558 - 566.
4. Jeka J. i wsp.: Controlling human upright posture: velocity information is more accurate than position or acceleration. J Neurphysiol. 2004, 92: 2368 - 2379.
5. King M. B., Judge J. O., Wolfson L.: Functional base of support decreases with age. J. Gerontol. 1994, 49: M258 - M263.
6. Kuczyński M.: Model lepko-sprężysty w badaniach stabilności postawy człowieka. Studia i Monografie 65, AWF Wrocław 2003.
7. Kuczyński M., Ostrowska B.: Understanding falls in osteoporosis: the visco - elastic modeling perspective. Gait Posture 2005 (w druku).
8. Melzer I., Benjuya N., Kaplanski J.: Age-related changes of postural control: effect of cognitive tasks. Gerontology 2001, 47: 189 - 194.
9. Stelmach G. E., Worringham C. J.: Sensorimotor deficits related to postural stability: implications for falling in the elderly. Clin Geriatr Med 1985, 1: 679 - 694.
10. Tinetti M. E., Speechley M., Ginter S. F.: Risk factors for falls among elderly persons living in the community. N. Eng. J. Med. 1988, 319: 1701 - 1707.

STRESZCZENIE

W celu zbadania wpływu wieku na stabilność postawy porównano własności sygnału wypadkowej siły reakcji podłoża (COP) 50 osób młodych (21 do 23 lat) i 59 osób starszych (67 do 93 lat) zmierzonego podczas 20-sekundowego stania swobodnego na platformie sił. Zmienność COP wyrażona jego odchyleniem standardowym i zakresem była podobna w obu grupach w płaszczyźnie strzałkowej (PS), podczas gdy w płaszczyźnie czołowej osoby młode miały znacznie niższe wyniki od osób starszych ($p<0,001$). Prędkość średnia COP wzrosła z wiekiem jedynie w PS wskazując, że zwiększone zaangażowanie układu nerwowego było konieczne i dostateczne do prawidłowej regulacji równowagi w PS. Potwierdziły to wartości parametrów lepko-sprężystych (LS) postawy: częstotliwość i sztywność posturalna w PS miały znacznie wyższe wartości u ludzi starszych w porównaniu z osobami młodymi (odpowiednio 0,005 i 0,0001). Nie znaleziono różnic w wartościach parametrów LS pomiędzy grupami w PC, co wyjaśnia przyczyny niewystarczającej regulacji równowagi w PC przez ludzi starszych. Niniejsze wyniki pogłębiają wiedzę o przyczynach pogorszenia stabilności postawy z wiekiem, wskazują na zwiększoną podatność osób starszych na upadki w PC i stanowią podstawę do projektowania programów rehabilitacji.

ABSTRACT

To investigate age-related changes in postural control, quiet standing on a force plate was measured in 59 elderly (67 to 93 years) and 50 young (21 to 23 years) subjects with eyes open for 20 s. Variability of the center-of-pressure (COP) expressed by its RMS and range did not differ between groups in the sagittal plane, however in the frontal plane young subjects displayed much lower variability ($p<0.001$) than the elderly. Mean velocity of the COP increased significantly with age only in the sagittal plane confirming that higher neural activity was necessary and sufficient for proper control of balance by elderly subjects in the sagittal plane. The visco - elastic (VE) parameters of the COP confirmed this pattern of postural behavior by highly increased values of sagittal frequency and stiffness ($p<0,005$ and $p<0,0001$, respectively) in the elderly as compared to young subjects. Moreover, no differences in the frontal VE parameters between groups were found which accounts for the insufficient postural control of the frontal body sway in the elderly. Our results further elucidate sources of instability, indicate that older subjects may be particularly susceptible to falling aside, and provide a rational basis for designing rehabilitation programs.