

*Politechnika Opolska, Wydział Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii
Polytechnical University in Opole, Faculty of Physical Education and Physiotherapy
**Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu

*DOROTA BORZUCKA, **MICHAŁ KUCZYŃSKI

*Significance of dual tasks in stabilography
in the viscoelastic modeling perspective*

Znaczenie zadań dualnych w stabilografii w perspektywie modelu lepko-sprężystego

Ponieważ stabilna pozycja stojąca jest podstawą do większości innych celowych działań ruchowych, potrzeba dokonania obiektywnej i możliwie wszechstronnej jej oceny występuje w wielu dziedzinach. Odpowiednia metodologia pomiarowa zwana jest stabilografią. Biorąc pod uwagę szerokie spektrum zastosowań stabiligrafii, może dziwić fakt, że jej narzędzia pomiarowe i obliczeniowe stosowane są bez większych zmian po dziś dzień. Podstawą informacji jest tutaj pomiar (za pomocą platformy sił) sygnału przemieszczenia punktu przyłożenia wypadkowej sił reakcji podłoża. W wielu pracach wykazano, że miary rozrzutu tego sygnału (zwanego COP - centre of pressure) są wiarygodnymi miarami stabilności pozycji stojącej: ich wzrost oznacza ubytek stabilności, ich spadek świadczy o jej poprawie [2,3]. Tę prostą regułę towarzyszącą równie prostej metodologii można uznać za siłę stabiligrafii wystarczającą do wielu ważnych zastosowań [3].

Jednakże w sytuacjach, gdzie celem badań jest znalezienie konkretnych przyczyn lepszej czy gorszej stabilności, zalety stabiligrafii w jej powyższej tradycyjnej wersji, tracą na wartości. Ocena stabilności na podstawie miar COP jest wybitnie objawowa - obserwujemy połączony skutek wielu czynników, zmiany wartości jakiegoś wskaźnika, w którym nie sposób doszukać się indywidualnych przyczyn. Co można zmienić w tradycyjnej stabilografii, by mogła sprostać tym poszerzonym wymaganiom? Wydaje się, że są trzy drogi.

Pierwsza, to stabilografia dynamiczna, polegająca na używaniu ruchomych platform sił oraz sterowanych komputerowo zaburzeń równowagi. Dziedzina ta jest obecnie bardzo dobrze rozwinięta i daje większą powtarzalność wyników niż badania na platformach nieruchomych. Ponadto, umożliwia symulację rzeczywistych bodźców życia codziennego oraz pozwala na specyficzność oddziaływania na badanych poprzez wyłączanie lub pobudzanie wybranych podzespołów funkcjonalnych. Jej wadą jest bardzo wysoka cena oraz fakt, że w większości sytuacji po prostu musimy lub chcemy korzystać z platform tradycyjnych.

Podjęście drugie, to modelowanie matematyczne procesu utrzymywania równowagi ukierunkowane na opracowanie modelu o mierzalnych w prosty sposób parametrach, których wartości byłyby łatwe do zinterpretowania i pozwalały na głębszy wgląd w mechanizmy równowagi ze szczególnym uwzględnieniem roli układu nerwowego (UN) w uruchamianiu strategii posturalnych. W ostatnich latach proponowano kilka takich modeli, z których model lepko-sprężysty (LS) najlepiej odpowiada podanym wyżej wymaganiom [2,3]. Stosując modelowanie LS widzimy osobę stojącą jako jednosegmentowe wahadło odwrócone, którego równowaga jest sterowana mięśniami o zmiennych właściwościach mechanicznych (sztywność i lepkość). Zmiany tych właściwości, będące bezspornie wynikiem regulacji UN, pozwalają wnioskować o jego funkcji w zależności od trudności zadania lub patologii, pozwalając tym samym na postulowany wgląd w mechanizmy równowagi i przyczyny ich zmian. Szereg niedawnych badań potwierdza skuteczność modelowania LS w diagnostyce oraz w znacznie poszerzonej możliwości interpretacji danych eksperymentalnych [2,3,5].

Droga trzecia polega na modyfikacji protokołu eksperymentalnego. Można to oczywiście robić na wiele sposobów. Myślimy tu jednak przede wszystkim o tzw. zadaniu podwójnym (dual task) dawno stosowanym w psychologii. Ujmując najprościej, zadanie podwójne opiera się na koncepcji ograniczonych zasobów uwagi niezbędnej do realizacji zadań, ich rozdziału na poszczególne zadania oraz wyszczególnieniu zadań wykonywanych automatycznie, świadomie lub w sposób mieszany. Zastosowanie tego podejścia w stabilografii może przynieść wiele nowych rezultatów. W praktyce eksperyment polega na staniu na platformie sił i jednoczesnym wykonywaniu zadania kognitywnego (liczenie, reakcja na bodziec, próba pamięci, etc.) lub motorycznego (celowanie, napinanie mięśni, biofeedback) [1,4,6-10]. Możliwość zmiany skali trudności obu zadań, motorycznego i umysłowego, daje praktycznie nieograniczoną liczbę warunków eksperymentalnych.

Jednak przy braku opracowania rozsądnej drogi analizy wyników zadań podwójnych, ich przydatność może zostać poważnie ograniczona. Widać to już obecnie w sprzecznych ocenach wpływu zadania umysłowego na stabilność. Jedni autorzy twierdzą, że poprawia równowagę [1,10], a inni, że ją pogarsza [7,9]. Obie strony używają ciekawej, głównie psychologicznej, argumentacji dla obrony swych stanowisk. Argumentacja ta ma jedną wadę - jest abstrakcją wędrującą pomiędzy automatyzmem, świadomością, zasobami uwagi, itd. Byłoby wielkim zyskiem dla stabilografii, gdyby te abstrakcyjne pojęcia wykazały związek z mierzalnymi wskaźnikami fizjologicznymi. Uważamy, że połączenie atrakcyjnej koncepcji zadania podwójnego z reżimem metodologicznym i interpretacyjną siłą modelowania LS może istotnie wzbogacić i podnieść skuteczność stabilografii. Celem tej pracy jest analiza miar COP oraz parametrów modelu LS stania swobodnego ludzi młodych i starszych podczas wykonywania dodatkowego zadania umysłowego.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach wzięło udział 26 osób młodych (wiek $22,6 \pm 0,4$ lat; wzrost $175,3 \pm 8,8$ cm; masa ciała $68,6 \pm 12,7$ kg) oraz 26 osób starszych (wiek $71,5 \pm 7,4$ lat; wzrost $162,1 \pm 9,5$ cm; masa ciała $73,7 \pm 14,7$ kg). Nikt z uczestników nie cierpiał na schorzenia mające związek z pogorszoną równowagą i wszyscy wyrazili zgodę na udział.

Eksperyment polegał na dwóch próbach stania swobodnego z oczami otwartymi przez 20 sekund na platformie stabilograficznej. W jednej próbie badanych proszono o swobodne lecz nieruchome utrzymywanie pozycji stojącej, a w drugiej mieli dodatkowo odejmować wielokrotnie liczbę 3 od wylosowanej przez komputer liczby trzycyfrowej. Podczas prób, których kolejność była losowana, rejestrowano sygnał COP w płaszczyźnie strzałkowej (PS) i czołowej (PC) z częstotliwością 20 Hz. Sygnał COP wykorzystano do obliczenia tradycyjnych miar jego rozrzutu: odchylenia standardowego oraz średniej prędkości. Wybrane wartości parametrów LS (częstotliwość i tłumienie posturalne) obliczono na podstawie metody przedstawionej szczegółowo przez Kuczyńskiego [2]. Do porównania wartości miar pomiędzy grupami wiekowymi w obu próbach i płaszczyznach zastosowano analizę wariancji (Anova) z powtórzeniami oraz test post-hoc LSD (STATISTICA 6,0).

WYNIKI

W PC w grupie starszej rozrzut COP podczas wykonywania dodatkowego zadania nie uległ zmianie, podczas gdy częstotliwość zmalała z $0,62 \pm 0,14$ do $0,53 \pm 0,14$ Hz ($p < 0,001$) wykazując podobne zmiany jak w PS (Tab. 1). U ludzi młodych zadanie dodatkowe spowodowało nieznaczny, ale zauważalny spadek rozrzutu COP z $2,7 \pm 1,0$ do $2,2 \pm 1,0$ mm ($p < 0,07$). Spadkowi temu towarzyszył wzrost częstotliwości w PC z $0,67 \pm 0,13$ do $0,74 \pm 0,13$ Hz ($p < 0,05$), a tłumienie w PC spadło z $0,21 \pm 0,09$ do $0,17 \pm 0,07$ ($p < 0,05$). Wyniki dla PS podano w Tabeli 1.

Tabela 1. Porównanie wpływu zadania kognitywnego na zmiany wybranych miar COP i parametrów lepko-sprężystych w obu grupach wiekowych w płaszczyźnie strzałkowej

grupa	młodsza (N=26)		starsza (N=26)	
	brak	liczenie	brak	liczenie
zadanie kognitywne				
częstotliwość [Hz]	$0,56 \pm 0,10$	$0,63 \pm 0,13^*$	$0,66 \pm 0,16$	$0,58 \pm 0,15^{**}$
tłumienie	$0,56 \pm 0,10$	$0,23 \pm 0,07$	$0,21 \pm 0,06$	$0,25 \pm 0,07^*$
odch. stand. [mm]	$4,2 \pm 1,9$	$3,5 \pm 1,5^*$	$5,3 \pm 2,1$	$4,9 \pm 1,8$
prędkość śr. [mm/s]	$6,9 \pm 2,4$	$7,4 \pm 2,4$	$11,0 \pm 5,8$	$10,4 \pm 5,1$

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

DYSKUSJA

Podstawowa metoda interpretacji wyników uzyskanych z zadań podwójnych wykorzystuje pojęcia ograniczonego zasobu środków kognitywnych (głównie uwagi), ich alokacji do poszczególnych zadań i zbliżonych terminów z zakresu psychologii i sterowania ruchów. Ograniczając nasze obliczenia do miar rozrzutu COP można jedynie powiedzieć, że zajęcie części uwagi ludzi młodych zadaniem umysłowym doprowadziło do bardziej automatycznego utrzymywania równowagi, co spowodowało polepszenie ich stabilności. Interpretacja ta może być słuszna jedynie pod warunkiem, że wiadomo iż automatyczna regulacja postawy stojącej daje lepsze wyniki niż regulacja świadoma. Gdyby było inaczej lub gdyby rozrzut COP u ludzi młodych podczas wykonywania zadania podwójnego nie zmienił wartości w porównaniu do prostego stania bez zadania umysłowego, każda próba interpretacji byłaby czystą spekulacją.

Stosując ten sam tok rozumowania do wyników uzyskanych przez ludzi starszych, stwierdzamy, że zadanie podwójne nie spowodowało żadnych zmian w ich stabilności posturalnej. Gdybyśmy badali tylko tę grupę, mogliśmy sformułować dwie alternatywne konkluzje: albo zadanie umysłowe było łatwe i nie wpłynęło na stabilność, albo zasoby uwagi były wystarczające i ich przemieszczenie do realizacji zadania umysłowego nie spowodowało ubytku stabilności.

Interpretując wyniki obu grup jednocześnie mamy więcej materiału do spekulacji. Przyjmując ponownie założenie o lepszym działaniu układu regulacji automatycznej oraz powołując się na udokumentowaną pogorszoną stabilność ludzi starszych [2,5] powinniśmy sformułować wniosek, że ludzie młodzi polepszyli swoją stabilność w wyniku zwiększenia automatyzacji w regulacji postawy. Natomiast u ludzi starszych mamy zasadniczo dwie możliwości, albo regulacja automatyczna postawy w starszym wieku nie poprawia jej stabilności w stosunku do regulacji świadomej, albo zlekceważyli oni zadanie umysłowe (widać tu w sposób oczywisty, że należy przeprowadzać ocenę wykonania (czas, dokładność) zadania dodatkowego).

Oczywiście, wyniki wnioskowania na podstawie tak ograniczonych danych nie muszą być nieprawdziwe, wręcz przeciwnie, czasem mogą być bardzo celne i mogą nawet wytyczyć nowe kierunki badań. Kłopot polega na tym, że będąc spekulacjami, wymagają dalszego potwierdzenia eksperymentalnego. Jeżeli okażą się błędnymi, wzmożą jedynie szum informacyjny. Znacznie prościej i skuteczniej jest budować interpretacje na podstawie potwierdzonych wyników badawczych.

Przejdźmy w tym celu do kompletu naszych wyników uwzględniając łącznie miary rozrzutu COP oraz wartości parametrów modelu LS. U ludzi młodszych nastąpiła wyraźna poprawa stabilności w obu płaszczyznach. Poprawie tej towarzyszył znaczny wzrost częstotliwości posturalnej. Wiadomo, że podwyższoną częstotliwość obserwujemy podczas znacznie utrudnionych warunków utrzymywania równowagi [2]. Dlaczego młodzi ludzie uznali zadanie podwójne jako zagrożenie dla ich stabilności, skoro wykonanie tego zadania nie sprawiało im żadnych trudności?

W młodym wieku nadwyżka zasobów uwagi jest najwyższa [7,10] i stwarza to możliwość ich swobodnej alokacji nawet w ilości przekraczającej zapotrzebowanie. Wzrost częstotliwości posturalnej, będący wyrazem podwyższonej aktywności UN [2,3], świadczy jednoznacznie o przesunięciu tych zasobów w kierunku wykonywania zadania posturalnego. Wydaje się, że te zasoby, będąc łatwo dostępne, zostały automatycznie wykorzystane przez UN do dodatkowego zabezpieczenia postawy, w celu swobodnego, aktywnego i skutecznego wykonania zadania dodatkowego. Sposób realizacji tego zabezpieczenia mógł być tutaj dwojaki: albo w drodze adaptacyjnej zmiany częstotliwości sygnału korekcyjnego [2], albo przez zmianę struktury układu sterowania równowagą z otwartego na zamkniętego. Obie zmiany wymagają dodatkowych zasobów uwagi [10].

U ludzi starszych nie tylko zabrakło zasobów kognitywnych na takie zabezpieczenie, ale konieczność wykonania zadania umysłowego przesunęła nieco zasobów z zadania posturalnego do umysłowego. Widać to wyraźnie w spadku częstotliwości posturalnej w obu płaszczyznach. Wzrost tłumienia w PS może tu być częściową kompensacją osłabionego działania monitorowania równowagi przez większe wykorzystanie biernych właściwości mięśni w regulacji postawy. Chociaż w rozrzucie COP nie zaobserwowaliśmy zmian, spadek częstotliwości wskazuje na wzrost podatności osób starszych na upadki [3] i można się spodziewać, że utrudnienie zadania umysłowego zwiększy to niebezpieczeństwo.

PIŚMIENNICTWO

1. Dault M.C., Frank J.S.: Does practice modify the relationship between postural control and the execution of a secondary task in young and older individuals? *Gerontology* 2004, 50: 157-164.
2. Kuczyński M.: Model lepko-sprężysty w badaniach stabilności postawy człowieka. Praca habilitacyjna, *Studia i Monografie AWF Wrocław 65*, Wrocław 2003
3. Kuczyński M., Ostrowska B.: Understanding falls in osteoporosis: the viscoelastic modeling perspective. *Gait Posture*, 2005 [w druku].
4. Marsh A.P., Geel S.E.: The effect of age on attentional demands of postural control. *Gait Posture* 2000, 12: 105-113.
5. Maszkowska B., Kuczyński M.: Zmiany stabilności postawy z wiekiem, Lublin 2005 [Praca towarzysząca].
6. Maylor E.A., Allison S., Wing A.M.: Effects of spatial and nonspatial cognitive activity on postural stability. *Br J Psychol* 2001, 92: 319-338.
7. Pellecchia G.L.: Postural sway increase with attentional demands of concurrent cognitive task. *Gait Posture* 2003, 18: 29-34.
8. Shumway -_Cook A., Woollacott M. Attentional demands and postural control: the effect of sensory context. *J Gerontol A Biol Sci* 2000, 55(1): M10-M16.
9. Teasdale N., Simoneau M.: Attentional demands for postural control: the effects of aging and sensory reintegration. *Gait Posture* 2001, 14: 203-210.
10. Yardley L. i wsp.: Interference between postural control and mental task performance in patients with vestibular disorder and healthy controls. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2001, 71: 48-52.

STRESZCZENIE

Celem pracy była ocena wpływu wieku na rolę uwagi w stabilizacji normalnej postawy stojącej podczas dodatkowego wykonywania prostego zadania kognitywnego. Podstawą oceny były zmiany wartości miar rozrzutu COP oraz parametrów lepko-sprężystego modelu stania swobodnego. Wykonując zadanie dodatkowe, ludzie młodzi zredukowali wychwiania ciała kosztem podwyższenia częstotliwości posturalnej. U ludzi starszych nie zaobserwowano żadnych zmian stabilności, chociaż ich częstotliwość posturalna znacznie spadła. Wyniki te wskazują, że utrzymywanie równowagi osób młodych jest procesem całkowicie automatycznym posiadającym duży margines stabilności. Wzrost częstotliwości był tutaj dodatkowym zabezpieczeniem stosowanym swobodnie przy nadmiarze zasobów uwagi. Spadek częstotliwości u ludzi starszych sygnalizuje wyczerpanie tych zasobów i konieczność szukania kompromisu pomiędzy zadaniem motorycznym i kognitywnym.

SUMMARY

To assess how aging affects attentional demands and postural control we used traditional measures of the COP dispersion and postural frequency and damping in the framework of the viscoelastic model of posture. While performing a simple concurrent cognitive task, young people reduced their postural sway showing increased postural frequency. Elderly subjects did not improve stability though their postural frequency decreased. Those results point out that maintaining balance is a fully automatic process with a wide stability margin in young. They increased frequency as precaution having a surplus of attentional resources. Decrease in postural frequency found in elderly subjects indicates the exhaustion of those resources and the need for a trade-off between the motor- and cognitive task.