

¹⁾Politechnika Opolska w Opolu

²⁾AWF we Wrocławiu

JUSTYNA CHARAŚNA¹, MICHAŁ KUCZYŃSKI²

***Improving diagnosis: does measurement duration affect assessment
of postural stability?***

**O lepszą trafność diagnozy: czy ocena stabilności postawy stojącej zależy
od czasu pomiaru?**

WPROWADZENIE

Badania stabilograficzne, które polegają na rejestracji sił reakcji podłoża podczas utrzymywania równowagi przez człowieka w różnych sytuacjach eksperymentalnych, są jednymi z najpowszechniej stosowanych obiektywnych testów motorycznych, zarówno w laboratoriach badawczych jak i w warunkach klinicznych [4,6,9]. Te siły reakcji oraz ich miary, a zwłaszcza ich globalny produkt opisujący czasowy przebieg zmian położenia punktu przyłożenia wypadkowej siły reakcji podłoża, zwany COP (centre-of-pressure), jego zmienność, amplituda i częstotliwość, są wykorzystywane od dziesięcioleci do oceny stabilności układu równowagi człowieka.

Niezależnie od tych szerokich zastosowań oraz sprawdzonych (zdawałoby się) metod badawczych i obliczeniowych, stabilografia jest dziedziną rozwojową i jej metodologia jest wciąż sprawdzana i kwestionowana. Stosunkowo niedawno podjęto dyskusję na temat optymalnego czasu pomiaru osób badanych na platformie sił oraz wyboru charakterystyk mierzonego sygnału COP o najlepszych właściwościach dyskryminujących [8,10]. Pomimo sygnalizowanej przez niektórych autorów potrzeby ujednoczenia procedur, rozpiętość czasu badań w różnych pracach jest ogromna (od 10 sekund do 10 minut [9]), a liczba różnych parametrów stosowanych do opisu zmienności i dynamikę COP sięga 30 [2,9,10]. Takie zróżnicowanie czyni często niemożliwym porównanie wyników pochodzących z różnych laboratoriów lub klinik. Zaobserwowano także nietypowe zachowania posturalne w ciągu pierwszych kilku sekund po rozpoczęciu badań [3], co sugerowałoby konieczność pomijania tych procesów przejściowych podczas obróbki danych. Są to ważne sygnały motywujące do analizy wpływu wspomnianych czynników i procedur na ocenę sprawności układu równowagi.

Poza mankamentami w przeprowadzaniu doświadczeń, podstawowym niedostatkiem tradycyjnej stabilografii jest jej opisowy charakter, wynikający z czysto objawowej oceny sprawności działania układu równowagi. Prowadzi to zwykle do dużych problemów z interpretacją wyników i stanowi podatny grunt do formułowania hipotez - spekulacji [6,7]. Alternatywą jest tutaj propozycja opisu mechanizmu postawy stojącej w postaci modelu lepko-sprężystego (LS), który wiąże zachowania posturalne osób badanych, obserwowane w sygnale COP, z aktywnością ich układu nerwowego za pomocą parametrów wykazujących istotne związki z fizjologicznymi mechanizmami regulacji równowagi. Pozwala to na znacznie lepsze interpretacje obserwowanych zachowań posturalnych w kontekście adaptacji układu nerwowego do warunków zadania [6]. Jest to jednak metoda nowa i, podobnie jak w przypadku stabilografii tradycyjnej, wyniki jej stosowania mogą zależeć od procedur eksperymentalnych. Problematyka ta jest zupełnie nieznaną.

Wspomniane zagadnienia mają fundamentalne znaczenie dla stabilografii, bowiem dotyczą jej wiarygodności, rzetelności oraz standaryzacji procedur i w związku z tym wymagają skrupulatnej

analizy eksperymentalnej. Podstawowym celem niniejszych badań jest weryfikacja wniosków cytowanych wyżej prac w odniesieniu do metod stabilografii tradycyjnej oraz uzupełnienie ich o dane z modelowania LS, czyli analiza wpływu początkowej fazy pomiarów stabilograficznych oraz długości tych pomiarów na wartości parametrów tradycyjnych i lepko-sprężystych charakteryzujących stabilność stojącej postawy swobodnej. Sądzymy, że wyniki tych badań pomogą w lepszym przygotowaniu procedur badawczych związanych z oceną sprawności układu równowagi, zwiększając jednocześnie trafność diagnozy oraz skuteczność wybranej metody rehabilitacji.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach wzięły udział 22 osoby (17 kobiet i 5 mężczyzn) w wieku od 22 do 24 lat (masa ciała $62,2 \pm 4,4$ kg, wzrost $170,0 \pm 5,9$ cm). Wszyscy byli zdrowi i nie przechodzili chorób mogących wywrzeć wpływ na układ równowagi. Badanych poproszono o jednokrotne swobodne stanie bez obuwia na platformie sił, przy naturalnym rozstawie stóp, koncentrując wzrok na znaczniku umieszczonym w odległości 2 m na wysokości wzroku. Podczas każdej, trwającej 3 minuty próby, rejestrowano sygnał COP w płaszczyźnie strzałkowej (PS) i czołowej (PC) z częstotliwością próbkowania 20 Hz. Podziewanych zmian charakteru COP w czasie, podzielono jego pełną 3-minutową realizację na 18 segmentów czasowych trwających 10 s każdy. Dla wszystkich tych segmentów oraz dla 170-sekundowego sygnału powstałego po odrzuceniu pierwszego segmentu obliczono tradycyjne miary rozrzutu COP: zmienność, zakres i średnią prędkość, oraz wartości parametrów LS tego sygnału: częstotliwość, sztywność, lepkość i tłumienie. Do obliczeń parametrów LS zastosowano metodę opisaną przez Kuczyńskiego [6]. Wyniki uśredniono dla wszystkich 22 uczestników. Zgodnie z hipotezą o przejściowym charakterze własności COP w początkowym okresie pomiaru, porównano miary pierwszego segmentu (dla każdej miary z osobna) z miarami segmentu średniego (tego, którego miary COP są najbardziej zbliżone do wartości średniej z pozostałych 17 segmentów).

Aby ocenić ewentualny wpływ czasu trwania pomiaru na wartości miar COP, porównano ich wartości średnie pomiędzy 10-sekundowym segmentem średnim, a 170-sekundową realizacją bez segmentu początkowego. We wszystkich porównaniach posłużono się testem t-Studenta dla próbek zależnych, przyjmując poziom istotności $p < 0,05$.

WYNIKI

Ryc. 1 przedstawia zmiany wartości zakresu sygnału COP w kolejnych 18 dziesięciosekundowych segmentów czasowych uśrednionych dla 22 badanych podczas 3-minutowej próby stania swobodnego. Wyraźny spadek wartości tych miar od segmentu drugiego do ostatniego wyniósł od 8 do 11% wartości początkowej. Identyczne trendy zaobserwowano dla zmienności i średniej prędkości COP. Ponadto, widoczne są bardzo wysokie wartości tych miar dla pierwszego segmentu czasowego, których porównanie z odpowiednimi wartościami dla segmentu średniego zawiera Tabela 1.

Parametry LS nie wykazały zmian ze wzrostem czasu badania. Jednakże, podobnie do miar rozrzutu COP, ich wartości obliczone dla pierwszych 10 sekund próby znacznie odbiegały od odpowiednich wartości w segmencie średnim (Tabela 2), ale tylko w PC. Początek próby cechowały wysokie wartości sztywności posturalnej i częstotliwości oraz niskie wartości tłumiące (lepkość i tłumienie).

Ryc. 1. Zmiany zakresu sygnału COP w kolejnych 10-sekundowych segmentach pomiarowych podczas próby o długości 3 minut.

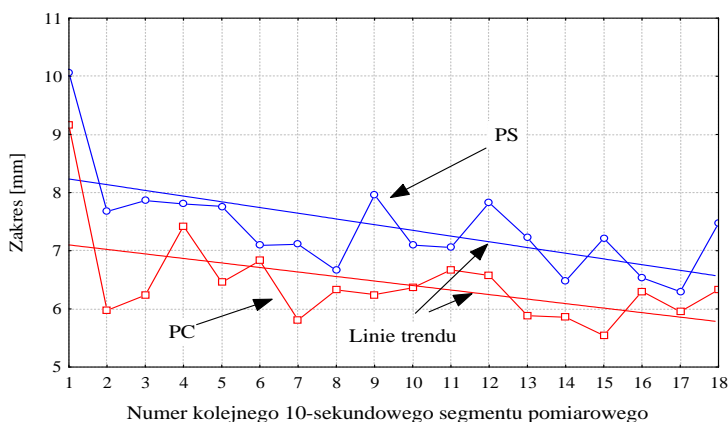


Tabela 1. Porównanie wartości średnich (\pm OS) parametrów rozrzutu COP podczas pierwszych 10 s pomiaru w 3-minutowym stanie swobodnym 10-sekundowym segmentem średnim

SEGMENT	Zmienność		Zakres		Prędkość średnia	
	PS	PC	PS	PC	PS	PC
Pierwszy	3,2 \pm 2,1	2,1 \pm 1,5	19,3 \pm 10,7	14,5 \pm 8,2	7,1 \pm 3,0	6,9 \pm 2,8
Średni	1,6 \pm 1,1	1,4 \pm 1,2	7,2 \pm 4,0	6,3 \pm 3,9	5,6 \pm 1,6	5,4 \pm 1,8
P =	0,13	0,002	0,07	0,002	0,02	0,004

Zmienność, zakres i promień w [mm], prędkość średnia w [mm/s]. PS – płaszczyzna strzałkowa, PC – płaszczyzna czołowa

Porównanie wartości parametrów charakteryzujących sprawność układu równowagi dla średniej 10-sekundowej i 3-minutowej prób stania swobodnego wykazało różnice pomiędzy odpowiednimi parametrami obliczonymi dla tych prób jedynie dla amplitudowych miar rozrzutu: zmienności i zakresu. Zmienność była znacznie wyższa przy pomiarze trwającym 3 min, przyjmując wartości 3,2 \pm 2,1 i 2,1 \pm 1,5 mm odpowiednio w PS i PC, wobec 1,6 \pm 1,1 i 1,4 \pm 1,2 ($p < 0,0001$) przy pomiarze trwającym 10 s. Dla zakresu odpowiednie wartości wyniosły 19,3 \pm 10,7 i 14,5 \pm 8,2, wobec 7,2 \pm 4,0 i 6,3 \pm 3,9 ($p < 0,0001$) Wartości prędkości średniej nie zależały od czasu trwania pomiaru.

Tab.1. Porównanie wartości średnich (\pm OS) parametrów lepko-sprężystych podczas pierwszych 10 s pomiaru w 3-minutowym stanie swobodnym z innym 10-sekundowym segmentem średnim

SEGMENT	Częstotliwość [Hz]	Sztywność [Nm/rad]	Lepkość [Nms/rad]	Tłumienie
Pierwszy	0,72 \pm 0,20	1281 \pm 783	87,1 \pm 45,3	0,18 \pm 0,08
Średni	0,66 \pm 0,15	1102 \pm 511	111 \pm 54	0,26 \pm 0,05
P =	0,02	0,04	0,0001	0,0001

DYSKUSJA

Wyniki niniejszej pracy potwierdzają oraz rozszerzają na parametry LS zasygnalizowane w [3] występowanie niestacjonarnych cech sygnału COP we wstępnej fazie (ok. 10 sekund) pomiarów na platformie sił i stanowią podstawę do zalecenia pomijania tych danych w dalszych obliczeniach. Ponieważ wartości miar COP w tej fazie (duży rozrzut parametrów amplitudowych i wysoka sztywność) sugerują podwyższoną aktywność nerwową osób badanych (por. stanie na wysokości [1]), wydaje się, że wprowadzenie próby treningowej, oswajającej z otoczeniem i sprzętem, powinno na stałe wejść do praktyki eksperymentalnej. Psychologiczne uwarunkowania stabilności postawy są mało zbadane, a należy się spodziewać, że lepsza wiedza w tym zakresie może wyjaśnić stosunkowo niewysoką powtarzalność miar COP, utrudniającą zastosowania kliniczne.

Stwierdzony tutaj trend czasowy wartości amplitudowych parametrów rozrzutu COP nie wydaje się mieć większego znaczenia w badaniach naukowych, zwłaszcza przy typowych procedurach pomiarowych krótszych zwykle niż 1 minuta. Porównanie odpowiednich wyników z kilku dowolnie wybranych prac z pewnością wykaże większe różnice międzygrupowe, niż podane tutaj 8 - 11% zmian po 3 – minutach pomiaru. Przy dłużej trwających eksperymentach informacja ta ma jednak istotne znaczenie i powinna być brana pod uwagę w analizie takich zagadnień, jak nauka ruchu, doświadczenie, zmęczenie i rehabilitacja. Z kolei wykazana tu stabilność parametrów LS i prędkości średniej, zwłaszcza w przypadku jej potwierdzenia dla jeszcze krótszych czasów pomiaru, może pozwolić na ich zastosowanie w ocenie bardzo krótkich prób stania, jak w sporcie lub w trudnych przypadkach klinicznych.

Rezultaty tych badań dla eksperymentu trwającego 170 s są w dobrej zgodności z wynikami innych prac stosujących próby od 20 do 50-sekund [4-7]. Uwzględniając fakt, że próby 10-sekundowe bardzo zaniżają wartości parametrów amplitudowych, wydaje się, że rekomendacja pomiarów trwających od 20 do 30 sekund podana przez LeClair i Riach [8] jest optymalna. Należy sądzić że przyjęcie zaleceń wynikających z przedstawionych tu wyników, może w znaczący sposób przyczynić się do poprawniejszej diagnozy przyczyn niestabilności postawy stojącej oraz lepszej kontroli nad zmiennymi niezależnymi, które mogą wpływać na wyniki badań dotyczące równowagi.

PIŚMIENNICTWO

1. Adkin A.L. i wsp. Fear of falling modifies anticipatory postural control. *Exp Brain Res* 143: (2002) s. 160-170.
2. Baratto L. i wsp. A new look at posturographic analysis in the clinical context: sway-density versus other parameterization techniques. *Motor Control* 6(3): (2002) s. 246-270.
3. Carroll J.P., Freedman W. Nonstationary properties of postural sway. *J Biomech* 26: (1993) s. 409-416.
4. Goldie P.A., Bach T.M., Evans O.M. Force platform measures for evaluating postural control: reliability and validity. *Arch Phys Med Rehabil* 70: (1989) s. 510-517.
5. Kuczyński M. The role of visual feedback in dynamics of motor control during standing. *Kinesiologia Slovenica* 5: (1999) s. 101.
6. Kuczyński M. Model lepko-sprężysty w badaniach stabilności postawy człowieka. *Studia i Monografie* 65, Wydawnictwo AWF Wrocław. (2003)
7. Kuczyński M., Dean E., Jones A. The viscoelastic model of the control of standing balance: Preliminary norms and clinical implications. *Człowiek i Ruch* 1(2):(2002) s.5-13.
8. Le Clair K., Riach C. Postural stability measures: what to measure and for how long? *Clin Biomech* 11: (1996) s. 176-178.
9. Prieto T.E., Myklebust J.B., Myklebust B.M. Characterization and modeling of postural steadiness in the elderly: a review. *IEEE Trans Rehab Eng* 1: (1993) s. 26-34.
10. Rocchi L., Chiari L., Cappello A. Feature selection of stabilometric parameters based on principal component analysis. *Med Biol Eng Comput* 42(1): (2004) s. 71-79.

STRESZCZENIE

W celu wyboru optymalnego czasu pomiaru w badaniach stabilograficznych na platformie sił oraz oceny ewentualnych procesów przejściowych w początkowej fazie tych pomiarów zarejestrowano przebiegi wypadkowej siły reakcji podłoża (COP) u 22 zdrowych osób podczas 3-minutowej próby stania swobodnego. Obliczono wartości parametrów tradycyjnych: zakres, rozrzut i średnią prędkość oraz lepko-sprężystych (LS): sztywność, częstotliwość, lepkość i tłumienie dla całej realizacji sygnału COP oraz dla jego kolejnych osiemnastu 10-sekundowych segmentów. Porównanie wyników w poszczególnych segmentach wskazuje na niezmienność w czasie parametrów LS świadcząca o stałości strategii układu nerwowego. Natomiast wartości parametrów tradycyjnych zmniejszają się z upływem czasu, co wynika zapewne z psycho-fizjologicznej adaptacji do warunków badania a ponadto ich wartości obniżają się znacznie wraz z redukcją czasu pomiaru. Wszystkie parametry przyjmują nienaturalne wartości podczas pierwszych 10 sekund próby. Przedstawione wyniki wskazują na konieczność pomijania w badaniach stabilograficznych fazy początkowej pomiaru, sugerują zasadność przeprowadzenia eksperymentu próbnego oraz potwierdzają prawidłowość dość często stosowanego 20-sekundowego czasu pomiaru. Stabilność wartości parametrów LS otwiera możliwości ich pomiaru nawet w bardzo krótkich próbach, które mogą być konieczne w niektórych sytuacjach klinicznych lub w sporcie.

ABSTRACT

To find the optimal duration time of standing on a force platform, and to evaluate transients in the initial phase of measurements, centre-of-pressure (COP) was recorded in 22 healthy young subjects in a three-minute quiet stance. Traditional COP parameters were computed: range, RMS, and mean velocity as well as the viscoelastic (VE) properties of stance: frequency, stiffness, viscosity, and damping for the whole signal and its 18 consecutive 10-second segments. The results indicated no trend in the VE parameters. The values of all traditional parameters decreased with time by around 10%, showing also significantly lower values measured for 10 sec as compared to their values measured for 3 min. Both traditional and VE parameters displayed odd values (non-stationarity) during the initial 10-second segment. The results lend support to removing the initial data from stabilographic recordings, suggest a test run before starting the experimental procedure and confirm the validity of frequently used 20-second experimental trials.