

# STATINĖS PUSIAUSVYROS RODIKLIŲ ANALIZĖS TENDENCIJOS

**Vilma Juodžbalienė, Kazimieras Muckus**

*Lietuvos kūno kultūros akademija*

## SANTRAUKA

Tyrimo tikslas – aptarti statinės pusiausvyros rodiklių analizės tendencijas, fiziologinių rodiklių ir posturogramų ypatumų sąsajas.

Statinė pusiausvyra – tai geba nejudant išlaikyti pastovią kūno padėtį reikiamomis pozomis [2, 3].

Vienas dažniausiai naudojamų instrumentinių statinės pusiausvyros tyrimo metodų – posturografija [10, 11].

Pastarąjį dešimtmetį teigiama, kad statinės posturografijos metodu vertinant padėties stabilumą informatyviausi priklausomi kintamieji yra slėgio centro (SC) svyravimų amplitudė skersinėje ir strėlinėje ašyje, SC trajektorijos ilgis bei SC svyravimų plotas [9, 15].

Ramiai stovint registruojamų posturogramų signalai yra nereguliarūs ir nepastovūs. Šių signalų kaita esant skirtingiems dažniams rodo pusiausvyros sutrikimus. Todėl vieno svarbiausių pusiausvyros rodiklių – slėgio centro koordinatų kitimo kreivių (posturogramų) struktūros analizės metodai – šiuo metu itin aktualūs fiziologijos ir reabilitacijos mokslams.

Ramiai stovinčio sveiko žmogaus posturograma chaotiška, signalas nereguliarus, todėl mokslininkai mėgina išskirti tam tikrus triukšmo ir virpesių (osciliacijų) modelius [20].

Mokslininkų teigimu [14], posturogramos struktūra, jos nelygumas ar signalo reguliarumas gali rodyti pusiausvyros valdymo pokyčius, tačiau iki šiol nėra aišku, kuris iš posturogramos signalų analizės metodų, diagnozuojant pusiausvyros sutrikimus, galėtų būti informatyviausias. Vertinant pusiausvyros diagnostikos ir reabilitacijos priemonių patikimumą, išskyla mokslinio tyrimo pakartojimo būtinybė, tačiau tai sunkiai įgyvendinama.

Statinę posturografiją norint panaudoti kaip veiksmingą pusiausvyros sutrikimų diagnostikos metodą, svarbu išsiaiškinti fiziologinių rodiklių ir posturogramų savybių sąsajas. Manome, kad patvirtinus posturogramų struktūros analizės metodų, fiziologinių rodiklių ir posturogramų savybių sąsajas iš esmės patobulės diferencinė pusiausvyros valdymo sutrikimų diagnostika.

**Raktažodžiai:** statinė pusiausvyra, statinė posturografija, slėgio centras.

## ĮVADAS

Gebėjimas išlaikyti pusiausvyrą yra būtina sąlyga kiekvieno asmens savarankiškumui. Pasak mokslininkų, pusiausvyra yra geba reguliuoti kūno sunkio jėgos linijos (angl. *line of gravity*) padėtį atramos ploto atžvilgiu [1].

Pusiausvyra yra skirstoma į statinę ir dinaminę. Statinė pusiausvyra – tai geba nejudant išlaikyti pastovią kūno padėtį reikiamomis pozomis [2, 3]. Daugelio tyrimų objektas yra stovėjimas nejudant [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Vienas dažniausiai naudojamų instrumentinių statinės pusiausvyros tyrimo metodų – posturografija [10, 11]. Šis tyrimo metodas gali būti naudojamas diagnozuojant pusiausvyros sutrikimus, tiriant įvairių veiksmų poveikį ir treniruojant statokinetines žmogaus funkcijas [12].

Ramiai stovint registruojamų posturogramų signalai yra nereguliarūs ir nepastovūs. Todėl vieno svarbiausių

pusiausvyros rodiklių – slėgio centro koordinatų kitimo kreivių (posturogramų) struktūros analizės metodai – šiuo metu itin aktualūs fiziologijos ir reabilitacijos mokslams.

Iki šiol nėra aišku, kuris iš posturogramos signalų analizės metodų galėtų būti informatyviausias diagnozuojant pusiausvyros sutrikimus. Vertinant pusiausvyros diagnostikos ir reabilitacijos priemonių patikimumą, išskyla mokslinio tyrimo pakartojimo būtinybė, tačiau tai sunkiai įgyvendinama.

Statinę posturografiją norint panaudoti kaip veiksmingą pusiausvyros sutrikimų diagnostikos metodą, svarbu išsiaiškinti fiziologinių rodiklių ir posturogramų ypatumų sąsajas.

**Tyrimo tikslas** – aptarti statinės pusiausvyros rodiklių analizės tendencijas, fiziologinių rodiklių ir posturogramų ypatumų sąsajas.

## INFORMATYVIAUSI POSTUROGRAMŲ RODIKLIAI

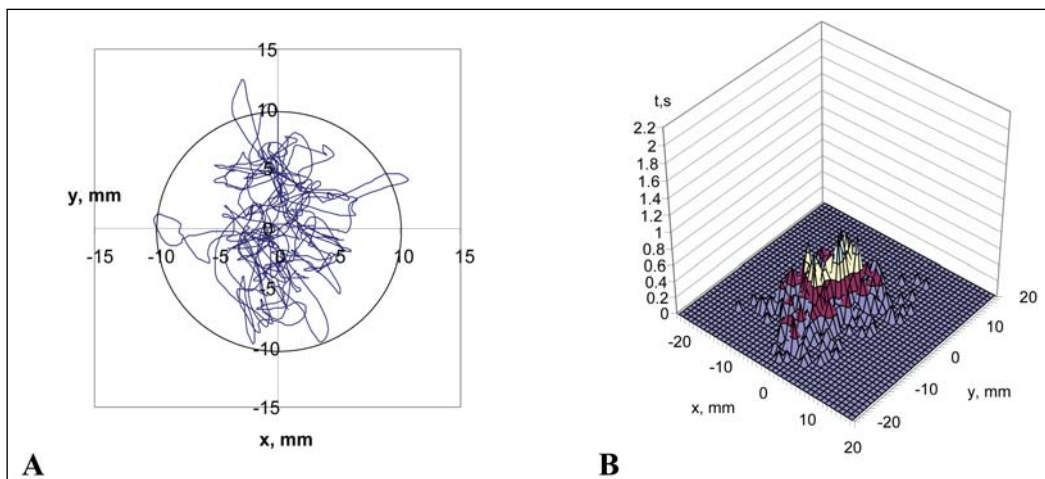
Posturografija – vienas dažniausiai naudojamų instrumentinių statinės pusiausvyros tyrimo metodų [10, 11]. Tai pusiausvyros vertinimo metodas kiekybės, erdvės ir laiko požiūriu. Galimi įvairūs posturografijos metodo variantai, kurių esmė – vertikalios pozos išlaikymo biomechaninių rodiklių tyrimas. Kompiuterinės posturografijos privalumas, lyginant su kitais tyrimo metodais, yra tas, kad jis gali būti naudojamas diagnozuojant pusiausvyros sutrikimus, tiriant įvairių veiksmų poveikį ir treniruojant statokinetines žmogaus funkcijas [12].

Pusiausvyros sutrikimų tyrimai rodo, kad posturografijos metodas ir jėgos plokštės registruojami pusiausvyros rodikliai leidžia nustatyti sutrikimus, lemiančius nestabilumą, padeda išsiaiškinti šių sutrikimų patogenezę ir įvertinti kompensacines organizmo funkcijas [13, 14].

Vienas svarbiausių statinės posturografijos tikslų – nustatyti kūno masės centro (MC) koordinatas ir įvertinti MC padėties stabilumą. Kadangi pastarąjį pusiausvyros rodiklį tiesiogiai išmatuoti sudėtinga, todėl apie jo padėties pokyčius sprendžiama pagal slėgio centro (SC) arba gravitacijos centro (GC) poslinkius.

Pastarąjį dešimtmetį teigiama, kad statinės posturografijos metodu vertinant padėties stabilumą informatyviausi priklausomi kintamieji yra SC svyravimų

amplitudė skersinėje ir strėlinėje ašyje, vidutinė SC nuokrypio nuo centro spindulio reikšmė, SC trajektorijos ilgis bei SC svyravimų plotas [9, 15] (1 pav.).



Pastaba. A – slėgio centro trajektorija, B – slėgio centro svyravimų plotas.

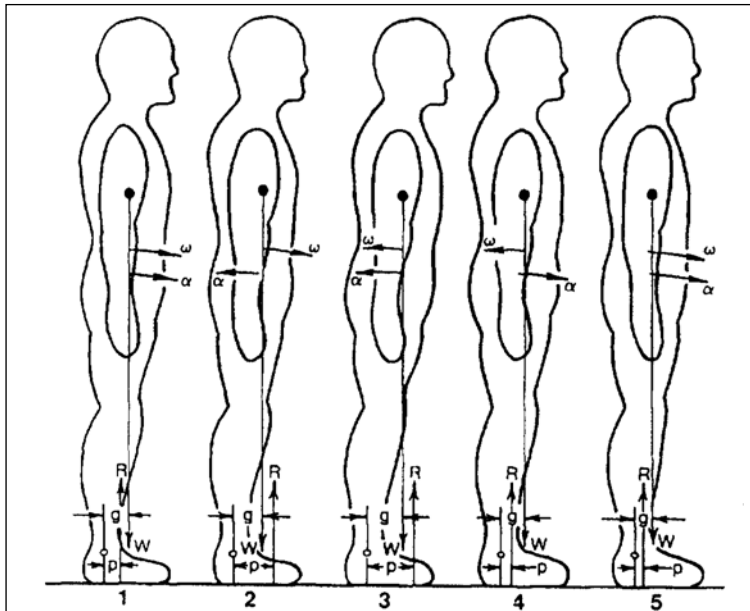
### 1 pav. Padėties stabilumo rodikliai, registruojami naudojant statinę posturografiją

SC svyravimų amplitudė ir svyravimų trajektorija padeda nustatyti tiriamojo pusiausvyros stabilumo ribas ir vyraujančią pusiausvyros tipą – čiurnų, klubų arba žingsnio [16].

SC svyravimo strėlinėje plokštumoje amplitudė stovint suglaustomis kojomis rodo pėdos lenkiamųjų ir tiesiamųjų raumenų nervinę kontrolę, o SC svyravimo frontaloje plokštumoje amplitudė pastačius pėda prieš

pėdą – pėdos atgręžiamųjų ir nugręžiamųjų raumenų nervinę kontrolę. Dideli SC svyravimai strėlinėje plokštumoje yra tiesiogiai susiję su vyresnio amžiaus žmonių griuvimu [17].

SC išsidėstymas atramos plote rodo svorio paskirstymo abiem kojomis simetriškumą, o SC padėties pokyčiai tiesiogiai susiję su sunkio jėgos veikimo centro, gravitacijos centro padėtimi (2 pav.).



Pastaba. 1, 2, 3, 4, 5 – penki laiko momentai, g – atstumas tarp sunkio jėgos vektoriaus ir blauzdinio pėdos sąnario centro, p – atstumas tarp atramos reakcijos jėgos vektoriaus ir blauzdinio pėdos sąnario centro,  $\alpha$  – kampinis pagreitis,  $\omega$  – kampinis greitis, W – kūno sunkio jėgos vektorius, R – atramos reakcijos jėgos vektorius.

### 2 pav. Sunkio jėgos ir atramos reakcijos jėgos vektorių padėtis statinės pusiausvyros sąlygomis [15]

Statinės pusiausvyros metu GC yra priešais SC, o kampinio greičio  $\omega$  vektorius nukreiptas laikrodžio rodyklės kryptimi. Kūno sunkio jėga (W) yra nukreipta prieš vertikalią atramos reakcijos jėgą (R). Šis „jėgų lygiagretainis“ veikia atitinkamai g ir p atstumu nuo

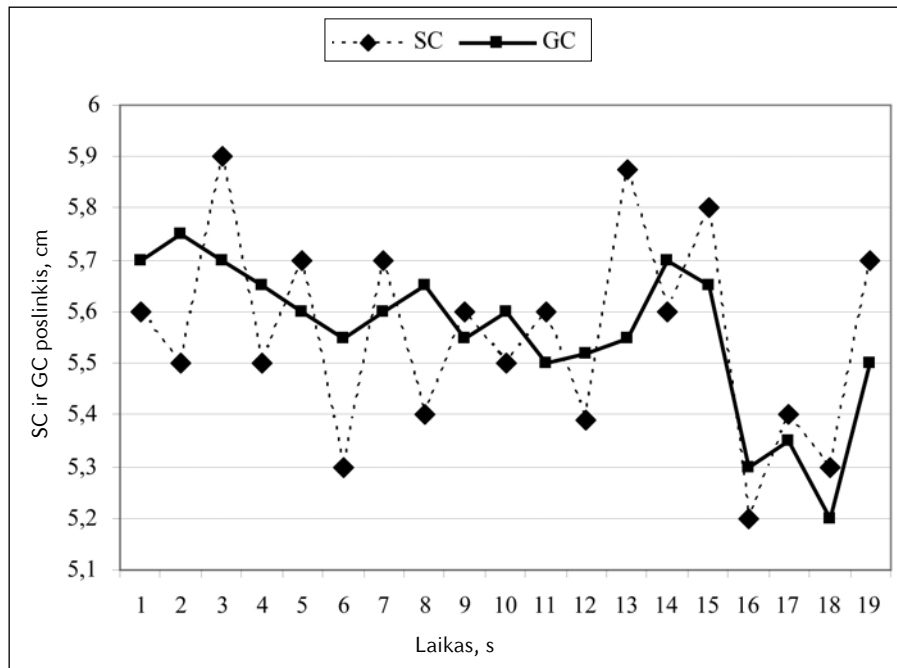
blauzdinio pėdos sąnario centro. Ir W, ir R išlieka nepakitę tiriamajam ramiai stovint. Tarkime, žmogaus kūnas yra atvirkščia švytuoklė, kurios centras (sukimosi taškas) yra blauzdinis pėdos sąnarys, tada ją veikia jėgos momentas, lygus  $Rp$ , veikiantis prieš laikrodžio rodyklę,

ir jėgos momentas, lygus  $W_g$ , veikiantis laikrodžio rodyklės kryptimi.

Jeigu jėgos momentai kinta ir  $W_g > R_p$ , kūnų laikrodžio rodyklės kryptimi veikia kampinis pagreitis. Norėdamas šį nestabilumą koreguoti strėlinėje plokštumoje, žmogus pėdos tiesiamaisiais raumenimis pastumia SC pirmyn, taigi SC atsiduria prieš GC (2 pav. 2 momentas). Dėl besitęsiančio svirimo  $R_p > W_g$ . Taigi  $\alpha$  pakeičia veikimo kryptį, o  $\omega$  pradeda mažėti iki tol, kol pradeda veikti priešinga laikrodžio rodyklei

kryptimi (2 pav. 3 momentas). Dabar ir  $\alpha$ , ir  $\omega$  veikia prieš laikrodžio rodyklę ir kūnas pasvyra atgal. CNS gauna informaciją, kad pakito GC padėtis, tuomet didėjant pėdos lenkiamųjų raumenų aktyvumui SC juda atgal, kol atsiduria už GC.

Pėdos lenkiamieji ir tiesiamieji raumenys, kontroliuodami blauzdinio pėdos sąnario judėjimą, veikia ne tik SC, bet ir GC. SC kaita šiek tiek didesnė nei GC – SC nenutrūkstamai juda pirmyn ir atgal GC atžvilgiu (3 pav.).



3 pav. Gravitacijos centro ir slėgio centro padėties pokyčių kreivės ramiai stovint [15]

Spręsti apie GC trajektorijos ilgį, atsižvelgiant į SC nueitą kelią, galima tik tuo atveju, jeigu posturograma registruojama labai ilgai, t. y. ne trumpiau kaip 60 s.

Tik pastaruoju atveju SC trajektorijos ilgio vidurkis gali sutapti su GC trajektorijos ilgio vidurkiu.

#### STATINĖS PUSIAUSVYROS RODIKLIŲ ANALIZĖS NAUJOVĖS

Šiuo metu pusiausvyros rodiklių, registruojamų panaudojant posturografiją, ir fiziologinių senėjimo apraiškų sąsają paieška yra ypač aktuali. Mokslininkai nustatė, kad padėties stabilumą nusakantys rodikliai tiesiogiai koreliuoja su griuvimų skaičiumi vyresniojo amžiaus tarpiniu [17].

Taigi padėties stabilumą svarbu vertinti vyresniame amžiuje, taip pat tiriant neurologinių, otolaringologinių ligonių ir pacientų, besiskundžiančių lėtiniu nuovargio sindromu, pusiausvyros sutrikimus. Padėties stabilumą lemia kūno segmentų išsidėstymas apie gravitacijos jėgos vektorių [9]. Padėties stabilumas apibrėžiamas įvertinus stabilumo indeksą (PSI) [18]. PSI rodo blauzdos raumenų darbą stabilizuojant padėtį. Tai procentinis destabilizuojamojo gravitacijos jėgos sąsūkos momento ir stabilizuojamojo blauzdos raumenų sąsūkos momento santykis.

PSI priklauso nuo svyravimo kampo ir glaudžiai susijęs su svyravimų vidurkiu [18]. Šis rodiklis labai informatyvus vertinant svyravimus strėlinėje plokštumoje.

Dinaminiam žmogaus stabilumui ir taikomų kinezi-

terapijos priemonių veiksmingumui nustatyti, norint įvertinti, kaip sensorinės sistemos lemia pusiausvyros išlaikymą, parankiau naudoti dinaminę posturografiją – *Neurocom EquiTest* sistemą [18, 19]. Dinaminės posturografijos metu nustatomas pusiausvyros rezultatas (balas) (angl. *Equilibrium score*, ES). Visgi apie žmogaus pusiausvyros kitimą spręsti iš šio rodiklio sudėtinga (jeigu pacientas neišlaiko pusiausvyros tyrimo metu, ES prilyginamas 0).

Posturogramų rodiklių analizė priklauso nuo posturogramos registravimo trukmės. SC rodiklių (trajektorijos, amplitudės) kvadratų vidurkio šaknies reikšmės (angl. *Root mean squares*) skiriasi analizuojant svyravimus strėlinėje ir frontaloje plokštumoje, kai posturograma registruojama 10 ir 20 s [9]. Registruojant ramiai stovinčio tiriamojo posturogramą, SC rodiklių kvadratų vidurkio šaknies reikšmės nuo atstumo tarp pėdų nepriklauso [15].

Posturogramos registravimo trukmė ir svyravimų kryptis taip pat susijusi su vidutine dažnio galia (angl. *Mean power frequency*). Tyrėjai nustatė, kad vidutinę dažnio galią būtina vertinti analizuojant ilgos trukmės

posturogramas (60, 120 s) [9]. Tik atitinkamos trukmės posturogramose išryškėja žemo dažnio svyravimų skirtumas, o trumpiau registruojamos posturogramos šio subtilumo neatskleidžia. Trumpesnėse nei 60 s trukmės posturogramose aukšto dažnio SC padėties pokyčiai vyrauja užgoždami žemo svyravimų dažnio spektrą.

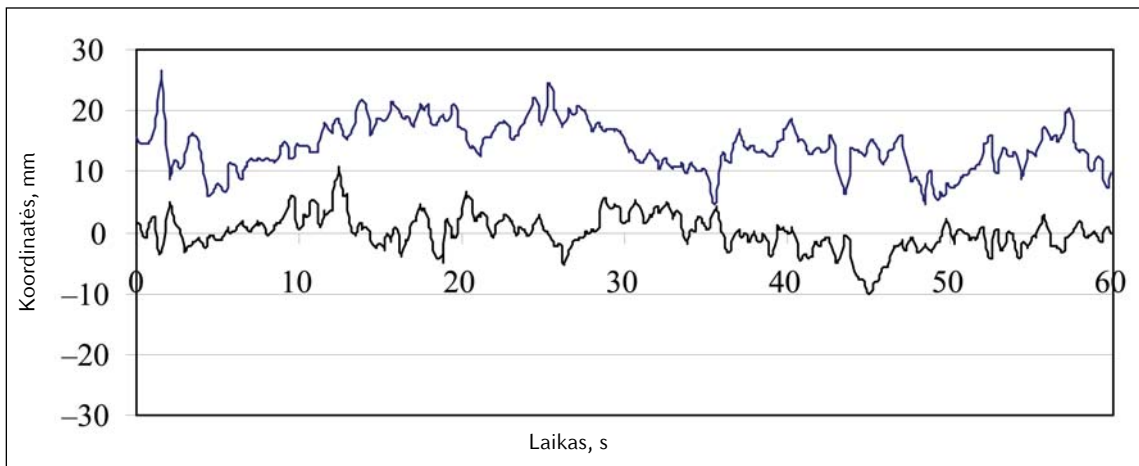
Vertinant pusiausvyros diagnostikos ir reabilitacijos priemonių patikimumą, iškyla mokslinio tyrimo pakartojimo būtinybė, tačiau tai sunkiai įgyvendinama.

Pusiausvyra priklauso nuo daugelio biomechaninių, fiziologinių, psichologinių, techninių veiksnių, kurių griežta kontrolė yra būtina norint atlikti mokslinį tyrimą. Manome, kad tiksliausiai galėtų būti pakartojami tos pačios dienos matavimų rezultatai. Tikėtina, kad ilgindami posturogramos registravimo trukmę galėtume aiškiau išskirti žemų dažnių svyravimų spektrą, daugiau kartų registruojant posturogramas duomenų patikimumas būtų didesnis. Ir

vis tik abejotina, ar atsirandantis nuovargis neiškreiptų momentinių pusiausvyros rodiklių.

Y. Takeuchi ir bendraautorai [8] teigia, kad apibūdinant vyresnio amžiaus žmonių pusiausvyros sutrikimus kiekybiniai SC judėjimo rodikliai nėra tokie specifiniai kaip SC judėjimo greitis. Nustatyta, kad SC judėjimo greitis tiesiogiai koreliuoja su antigravitacinių raumenų (lot. *rectus abdominis, iliopsoas, gluteus maximus, gluteus medius, adductor magnus, flexor digitorum longus*) jėga.

Ramiai stovinčio asmens posturogramos analizuojamos atsižvelgiant į svyravimų dažnio spektrą. Visgi mažiausiai aptarta sudėtinga posturogramų analizė jų struktūros atžvilgiu. Kadangi ramiai stovinčio sveiko žmogaus posturograma chaotiška, signalas nereguliarus (4 pav.), mokslininkai mėgina išskirti tam tikrus triukšmo ir virpesių (osciliacijų) modelius [20].



4 pav. Ramiai stovinčio sveiko žmogaus posturograma

Manome, kad minėtų posturogramos struktūros modelių analizė galėtų padėti kuriant tikslesnę pusiausvyros sutrikimų diferencinės diagnostikos sistemą.

Pastaruojamu metu išpopuliarėjo posturogramos struktūros analizės metodai, kurie vertina posturogramą netiesioginės, nestacionarios laiko eilutės atžvilgiu [21, 14, 22]. Posturogramos, kaip fiziologinės laiko eilutės, analizei atlikti naudojami šie metodai:

- 1) spektrinė analizė,
- 2) vilnelių analizė,
- 3) koreliacinė analizė,
- 4) kompleksiško analizė,
- 5) multifraktalinio spektro analizė.

Mokslininkų teigimu [14], posturogramos struktūra, jos nelygumas ar signalo reguliarumas gali parodyti pusiausvyros kontrolės pokyčius, o multifraktalinio spektro skirtumas – pusiausvyros sutrikimo, patologijos laipsnį.

Taigi SC padėtį rodantis signalas yra stochastinis,

tačiau šio signalo dedamųjų dažnių duomenys atskleidžia atskirų sistemos dalių veikimą. Spektrinė posturogramos analizė leidžia įvertinti svyravimo tipą, raumenų ilgio pokyčius skirtingų dažnių juostose [23].

Diskretine vilnelių transformacija ir skirtingų dažnių spektro analize nustatyta, kad kojų raumenų įtempimas turi reikšmės pusiausvyros stabilumui, ir šį poveikį geriausiai parodo aukštų dažnių spektras [24].

Taigi pusiausvyros stabilumas gali būti tiriamas vertinant griaučių raumenų biomechanines savybes, pusiausvyros išlaikymo tipą, sensorinių sistemų poveikį. Tradicinių kiekybinių pusiausvyros apibūdinančių rodiklių – slėgio centro svyravimų amplitudės skersinėje ir strėlinėje ašyje, trajektorijos ilgio, svyravimų ploto, svyravimų greičio – nepakanka. Manome, kad patvirtinus posturogramų struktūros analizės metodų, fiziologinių rodiklių ir posturogramų ypatumų sąsajas iš esmės patobulės diferencinė pusiausvyros valdymo sutrikimų diagnostika.

## LITERATŪRA

1. Pollock, A. S., Durward, B. R., Rowe, P. J. (2000). What is balance? *Clinical Rehabilitation*, 14, 402–406.
2. *Sporto terminų žodynas*. (1996). Sud. S. Stonkus. T. 1. Kaunas: LKKA.
3. Hall, S. J. (1999). *Basic Biomechanics*. 3rd ed. USA: McGraw-Hill. P. 79–85.
4. Duarte, M., Harvey, W., Zatsiorsky, V. M. (2000). Stabilographic analysis of unconstrained standing. *Ergonomics*, 43 (11), 1824–1839.
5. Duarte, M., Zatsiorsky, V. M. (2001). Long-range correlations in human standing. *Physics Letters*, 283, 124–182.
6. Krishnamoorthy, V., Slijper, H., Latash, M. (2002). Effects of different types of light touch on postural sway. *Experimental Brain Research*, 147 (1), 71–79.
7. Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 88 (3), 97–118.
8. Takeuchi, Y., Tanaka, Y., Shimomura, Y., Iwanaga, K., Katsuura, T. (2007). The effect of aging on the backward stepping reaction as estimated from the velocity of center of foot pressure and muscular strength. *Journal of Physiological Anthropology*, 26 (2), 185–189.
9. Jancova, J. (2008). Measuring the Balance Control System – Review. *Acta Medica (Hradec Kralove)*, 51 (3), 129–137.
10. Browne, J., O'Hare, N. (2000). Development of a novel method for assessing balance: The quantitative posturography system. *Physiological measurement*, 21(4), 525–534.
11. Klaus, J., Strupp, M., Krafczyk, S. et al. (2002). Suppression of eyes movements improves balance. *Brain*, 125, 2005–2011.
12. Prentice, W. E., Voight, M. I. (2001). *Techniques in Musculoskeletal Rehabilitation*. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc., 780.
13. Benvenuti, F., Mecacci, R., Gineprari, I., Bevenuti, E. (1999). Kinematic characteristics of standing disequilibrium: Reliability and validity of a posturographic protocol. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80 (3), 278–287.
14. Morales, C. J., Kolaczyk, E. D. (2002). Wavelet-based multifractal analysis of human balance. *Annals of Biomedical Engineering*, 30, 588–597.
15. Winter, D. A., Prince, F., Patla, A. (1996). Interpretation of COM and COP balance control during quiet standing. *Gait & Posture*, 4, 174.
16. Runge, C. F., Shupert, C. L., Horak, F. B., Zajac, F. E. (1999). Ankle and hip postural strategies defined by joint torque. *Gait & Posture*, 10, (2), 161–170.
17. Onambele, G. L., Narici, M. V., Maganaris, C. N. (2006). Calf muscle-tendon properties and postural balance in old age. *Journal of Applied Physiology*, 100, 2048–2056.
18. Chaudhry, H., Findley, T., Quigley, K. S. et al. (2005). Postural stability index is a more valid measure of stability than equilibrium score. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 42 (4), 547–556.
19. Goebel, J. A., Paige, G. D. (1990). Posturography following rotation: A model of posture control during vestibular dysfunction. *Otolaryngology and Head and Neck Surgery*, 102, 722–726.
20. Borg, F. G. (2003). Random walk and balancing. *Stillstående slumpvandring, Arkhimedes (Helsinki-Helsingfors)*, 4, 19–28.
21. Hong, S. L., Bodfish, J. W., Newel, K. M. (2006). Power-law scaling for macroscopic entropy and microscopic complexity: Evidence from human movement and posture. *Chaos*, 16, (1) 66–76.
22. Muckus, K., Juodžbalienė, V., Kriščiukaitis, A., Pukėnas, K., Škikas, L. (2009). The gastrocnemius muscle stiffness and human balance stability. *Mechanika*, 6 (80), 1392–1207.
23. Loram, I. D., Maganaris, C. M., Lakie, M. (2005). Human postural sway results from frequent, ballistic bias impulses by soleus and gastrocnemius. *Journal of Physiology*, 564 (1), 295–311.
24. Muckus, K., Juodžbalienė, V., Kriščiukaitis, A. et al. (2009). Kojų raumenų įtempimo ir pusiausvyros stabilumo ryšys. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 4 (75), 52–57.

## TRENDS IN THE ANALYSIS OF STATIC BALANCE

**Vilma Juodžbalienė, Kazimieras Muckus**

*Lithuanian Academy of Physical Education*

### SUMMARY

The aim of the paper was to discuss the trends in the analysis of static balance and relation between physiological parameters and characteristics of posturograms.

Static balance is ability to keep steady posture in certain stance [2, 3]. Posturography is one of most popular research methods of static balance [10, 11].

During the last decade it was maintained that the most informative dependent variables defining postural stability were the amplitude of the center of foot pressure (COP) sway in anterior-posterior and mediolateral directions, the length of the COP pathway and the area of the COP sway [9, 15].

The output of the posturograms registered during quiet standing is irregular and erratic [14]. Therefore, methods analyzing the structure of the posturograms are very topical for physiology and Rehabilitation science. The scientists attempt to determine certain noise and oscillation patterns in the posturogram [20].

According to researchers [14], the structure and roughness or smoothness of the posturogram could reflect the changes in postural control system.

It is still questionable which of the methods analyzing the posturogram outcomes could be the most informative and useful for the diagnostics of postural control disorders. It is important to be able to repeat the scientific study, but it is still complicated to solve tasks related to postural control disorders diagnostics and the evaluation of the treatment means effectiveness.

It is important to define the relation between physiological parameters and characteristics of posturograms in order to apply the posturography for balance disorders diagnostics. We suppose that methods of posturogram structure analysis could improve the differential balance disorders diagnostics essentially.

**Keywords:** static balance, static posturography, center of foot pressure.