

SKIRTINGO AMŽIAUS MOTERŲ PUSIAUSVYROS KAITOS KOMPLEKSIŠKUMO VERTINIMAS NETIESINĖS DINAMIKOS METODAIS

Vida Janina Česnaitienė, Kazimieras Pukėnas, Albertas Skurvydas,
Dalia Mickevičienė, Tomas Juraitis
Lietuvos kūno kultūros akademija, Kaunas, Lietuva

Vida Janina Česnaitienė. Visuomenės sveikatos mokslų magistrė. Lietuvos kūno kultūros akademijos Testinių studijų centro metodininkė, biologijos mokslų krypties doktorantė. Mokslinių tyrimų kryptis — senėjimo ir raumenų nuovargio poveikis judesių kintamumui ir stabilumui.

SANTRAUKA

Bėgant metams ir dėl ligų sutrinka įvairių žmogaus fiziologinių sistemų prisitaikymo gebėjimai, mažėja stabilumas. Visgi žmogaus organizme kur kas daugiau raumenų masės, neuroninių schemų ir hormonų atsargų, nei reikia išgyvenimui. Šios fiziologinės atsargos leidžia išlaikyti pusiausvyrą senstant ir ligų metu (Lipsitz, 2004). Pusiausvyros, vienos iš fiziologinių sistemų, sutrikimas nustatomas tiriamuosius testuojant funkciniais testais arba instrumentiniais pusiausvyros tyrimo metodais (Juodžbalienė, 2006). Vienas dažniausių pusiausvyros vertinimo būdų — statinė posturografija. Pusiausvyros svyravimų kaitą vertinant netiesinės dinamikos metodais galima nustatyti jų kompleksškumą (Pincus, 1991).

Tyrimo tikslas — išsiaiškinti, kaip amžius veikia pusiausvyros sistemą taikant netiesinės dinamikos metodus kūno slėgio centro (SC) svyravimų kompleksškumui apibūdinti. Tikslui pasiekti instrumentiniu pusiausvyros tyrimo būdu (posturografijos metodu) buvo tirtos 45 trijų skirtingo amžiaus (amžiaus vidurkis: $24,5 \pm 5,5$; $44,5 \pm 3,5$; $72,5 \pm 7,5$ m.) grupių moterys. Tiriamosioms ramiai stovint ant jėgos plokštės, buvo registruojami kūno slėgio centro (SC) svyravimai į šonus ir pirmyn—atgal kryptimis. Kūno slėgio centro svyravimų trajektorijos kompleksškumas vertintas skaičiuojant du dydžius — entropiją (SampEn) ir spektro galios tankio priklausomumą nuo dažnio (SpectrSl).

Rezultatai parodė, kad bėgant metams kūno svyravimų amplitudė ramiai stovint didėja. Vyresnio amžiaus tiriamųjų svyravimų į šonus ir pirmyn—atgal amplitudė statistiškai patikimai didesnė ($p < 0,05$) nei jaunesnio amžiaus respondentų. Vertinant pusiausvyros sistemos elgsenos kompleksškumą nustatyta, kad vyresnio amžiaus tiriamųjų SC svyravimų į šonus SampEn reikšmė statistiškai reikšmingai mažesnė ($p < 0,01$) nei jaunesnio amžiaus tiriamųjų. SC svyravimų pirmyn—atgal kryptimi SampEn reikšmė vyresnio amžiaus tiriamųjų statistiškai reikšmingai mažesnė ($p < 0,01$) nei vidutinio ir jaunesnio amžiaus tiriamųjų. Nustatyta, kad vyresnio amžiaus tiriamųjų SC svyravimų pirmyn—atgal SpectrSl reikšmė statistiškai reikšmingai didesnė ($p \leq 0,05$) nei jaunesnio ir vidutinio amžiaus tiriamųjų.

Didėjant amžiui, ramiai stovint kūno slėgio centro svyravimų trajektorijos kompleksškumas mažėja, t. y. svyravimai reguliarėja ir lėtėja. Taikant netiesinės dinamikos metodus galima įvairiapusiškiau ištirti žmonių motorinių sistemų funkcijų kaitą.

Raktažodžiai: amžius, pusiausvyra, reguliarumas, kompleksškumas.

ĮVADAS

Vyresnio amžiaus žmonės prasčiau kontroliuoja raumenų susitraukimo jėgą ir laiką, padidėja galūnių judesių trajektorijos, sumažėja judesių tikslumas, dėl to sutrinka pusiausvyra (Schultz, 1992; Enoka, 2003). Dauguma tyrėjų žmonių pusiausvyros būklei nustatyti naudoja statinės posturografijos metodą — registruojamas tiriamojo slėgio centro ir atramos reakcijos jėgos vektorius pradžios taško (SC) koordinatų pokytis. Rezultatai leidžia nustatyti tiriamojo

SC svyravimus šonine, pirmyn—atgal kryptimis, bendrą svyravimų trajektorijos ilgį, svyravimų greitį ir kitus dydžius, kurie apibūdina tiriamojo pusiausvyros būklę. Bėgant metams ir dėl įvairių susirgimų žmogaus fiziologinių funkcijų veikla reguliarėja, darosi periodiška, mažėja jos kompleksškumas (Lipsitz, 2004). Šiems rodikliams vertinti naudojami tiesiniai ir netiesinės dinamikos metodai (Pincus, 1991). Vienas pagrindinių ir dažniausių dinaminės sistemos kompleksškumo

nustatymo būdų yra apytikslės entropijos matavimas, dažnai naudojamas nagrinėjant kūno slėgio centro svyravimų trajektorijos kompleksiskumą (Sabatini, 2000; Cavanaugh et al., 2007). Tikslesnį būdą — imties entropijos matavimą (SampEn) dinaminės sistemos kompleksiskumui nustatyti pasiūlė J. S. Richman ir J. R. Moorman (2000). Tiesinių metodų procesui apibūdinti daugiausia taikoma spektrinė analizė. Analizuojant kūno slėgio centro svyravimų trajektorijos registruojamų signalų spektrą naudojamas spektro galios priklausomumo nuo dažnio rodiklis SpectrSl. Nagrinėdami mokslinę literatūrą aptikome darbų, kurių metu lyginamas įvairaus amžiaus sveikų ir sergančių žmonių pusiausvyros kompleksiskumas naudojant *Sample Entropy* (Donker et al., 2007) arba *Spectral Slope* (Vaillancourt, Newell, 2003; Hong et al., 2006) dydžius. Neaptikome tyrimų, kurių metu būtų vertintas skirtingo amžiaus moterų pusiausvyros sistemos elgsenos kompleksiskumas naudojant šiuos abu dydžius.

Tyrimo tikslas — iširti amžiaus poveikį pusiausvyros kaitos kompleksiskumui.

TYRIMO METODAI IR ORGANIZAVIMAS

Tiriamosios — skirtingo amžiaus ($24,5 \pm 5,5$; $44,5 \pm 3,5$; $72,5 \pm 7,5$ m.) moterys ($n = 45$). Lentelėje pateikti tiriamųjų amžiaus, kūno masės indekso rodikliai. Tiriamosios buvo supažindintos su tyrimo tikslais, protokolu. Tyrimo protokolas

aptartas ir patvirtintas Kauno regioniniame biomecininių tyrimų etikos komitete.

Pusiausvyros vertinimas. Tiriamųjų pusiausvyra buvo vertinama statinės posturografijos metodu. Tuo tikslu naudota jėgos plokštė KISTLER (*Slimline System 9286*, Šveicarija), skirta žmogaus biomechaninėms ypatybėms tirti.

Tyrimo organizavimas. Kiekviena tiriamoji atmerktomis akimis, žvilgsnį nukreipusi tiesiai prieš save, pėdas pastačiusi vieną šalia kitos, rankas nuleidusi prie šonų, delnus pasukusi į vidų 60 s stovėjo ant jėgos plokštės. Posturogramos registravimo trukmė — 60 s, registruojamo signalo diskretizavimo periodas — 10 ms. Registravome SC koordinatų kitimo kreives šonine (SCdx) ir pirmyn—atgal (Scdy) kryptimis. Posturograma buvo pradėdama registruoti tiriamosioms taisyklingai atistojus ant jėgos plokštės. Vertinant tiriamųjų pusiausvyrą apskaičiuotas:

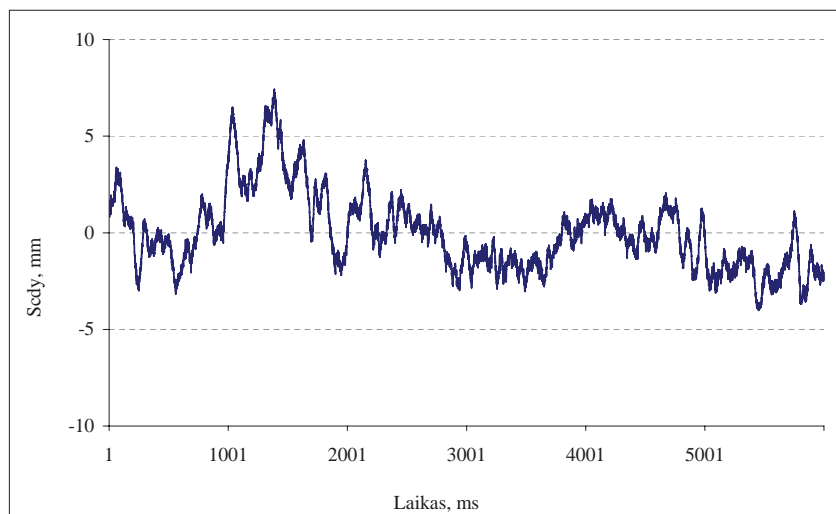
SCdx — SC koordinatų kitimas šonine kryptimi (mm / s);

SCdy — SC koordinatų kitimas pirmyn—atgal kryptimi (mm / s).

1 paveiksle pavaizduotas n-osios tiriamosios posturogramos registravimo kreivės pavyzdys.

Pusiausvyros kompleksiskumo vertinimas. Pusiausvyros kaitos kompleksiskumas apskaičiuotas pagal J. S. Richmann, J. R. Moorman metodiką (Richmann, Moorman, 2000). Slėgio centro koordinatų kitimams šonine ir pirmyn—atgal kryptimis įvertinti buvo apskaičiuoti du dydžiai — imties entropija SampEn (SampEn)

1 pav. Slėgio centro koordinatų kitimo kreivė pirmyn—atgal kryptimi (Scdy)



Lentelė. Tiriamųjų amžiaus ir kūno masės indekso rodikliai ($\bar{x} \pm S$)

Pastaba. ($\bar{x} \pm S$) — aritmetinis vidurkis \pm standartinis nuokrypis.

Grupės	Rodikliai	Skaičius	Amžius, m.	Kūno masės indeksas, kg / m ²
1		15	$24,5 \pm 5,5$	$20,4 \pm 2,4$
2		15	$44,5 \pm 3,5$	$25,4 \pm 3,9$
3		15	$72,5 \pm 7,5$	$25,5 \pm 2,9$

ir SpectrSl. SampEn apskaičiuovome pagal formulę:

$$\text{SampEn}(m, r, N) = -\ln(A/B), \quad (1)$$

čia B — bendras m ilgio sekų sutapimų (r tikslumu) skaičius N ilgio eilutėje; A — bendras $m + 1$ ilgio sekų sutapimų (r tikslumu) skaičius N ilgio eilutėje; A/B reiškia sąlygišką tikimybę, kad dvi eilutės, r tikslumu sutampančios m atkarpoje, r tikslumu sutaps ir $m + 1$ atkarpoje.

Imties entropija apibūdina laiko eilutės reguliarumą:

- kai $\text{SampEn} \rightarrow 0$, procesas reguliarus;
- kai $\text{SampEn} \geq 2$, procesas stochastinis.

SpectrSl nusako spektro galios (tankio) priklausomumą nuo dažnio ir apskaičiuojama pagal formulę (Vaillancourt, Newell, 2003):

$$S = a \times f^b, \quad (2)$$

čia S — spektro galios tankis, f — dažnis, b — koeficientas, nusakantis spektro galios tankio priklausomumą nuo dažnio. Koeficientui apskaičiuoti lygtis logaritmuojama, tada b gaunamas kaip tiesės $\ln(S) = \ln(a) + b \times \ln(f)$ polinkio laipsnis.

Absoliučiu dydžiu mažesnės SpectrSl reikšmės rodo tiriamojo signalo savybes ir aukštesnių daž-

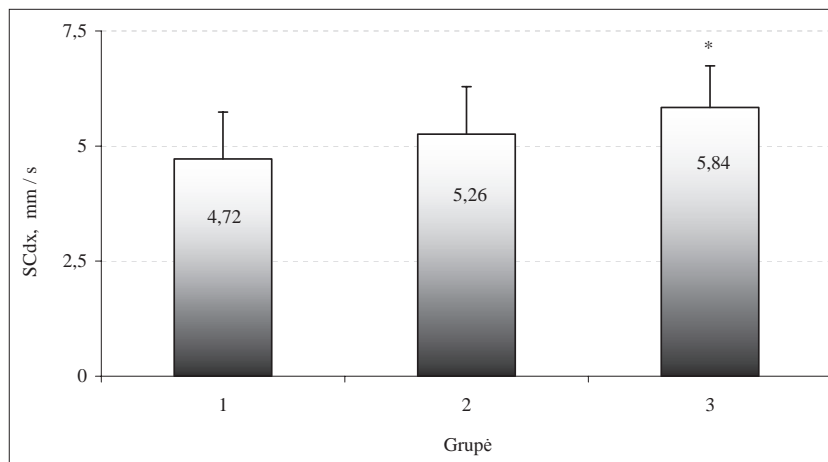
nių svarbą, o didesnės (absoliučiu dydžiu) SpectrSl reikšmės — tiriamojo signalo dažnių koncentraciją žemesnių dažnių spektre.

Amžiaus poveikis šiems dviems dydžiams buvo vertinamas vieno veiksnio dispersinės analizės metodu (*SPSS 13 versija*). Skirtumo reikšmingumas tarp grupių rodiklių buvo tikrinamas *Tukey Post Hoc* testu.

REZULTATAI

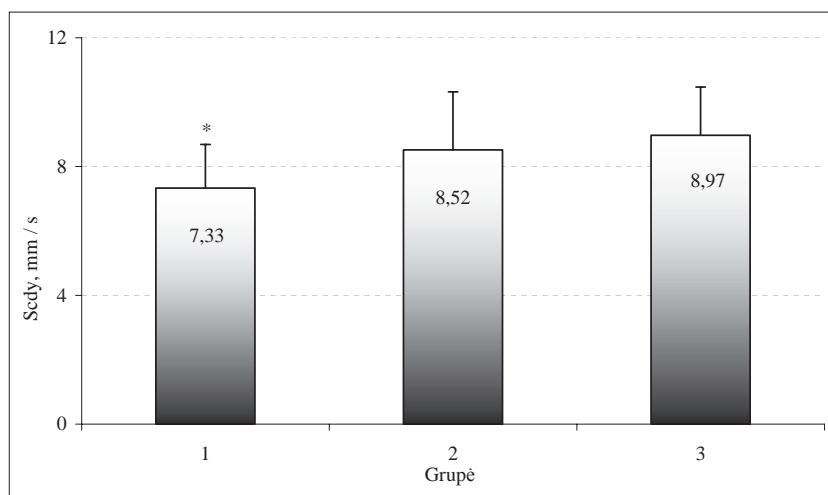
Tyrimo rezultatai parodė, kad bėgant metams didėja SCdx ir SCdy amplitudė (2 ir 3 pav.). Nustatyta, kad trečios grupės tiriamųjų vidutinės SCdx (5,84 mm / s) ir SCdy (8,97 mm / s) reikšmės statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) didesnės nei pirmos grupės tiriamųjų (SCdx — 4,72 mm / s ir SCdy — 7,33 mm / s). Antros grupės tiriamųjų SCdy vidutinė reikšmė (8,52 mm / s) statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) didesnė nei pirmos grupės SCdy tiriamųjų (7,33 mm / s).

Didėjant amžiui mažėja SCdx ir SCdy svyravimai SampEn (4 pav.). Trečios grupės tiriamųjų SCdx svyravimų SampEn vidutinė reikšmė (0,28)



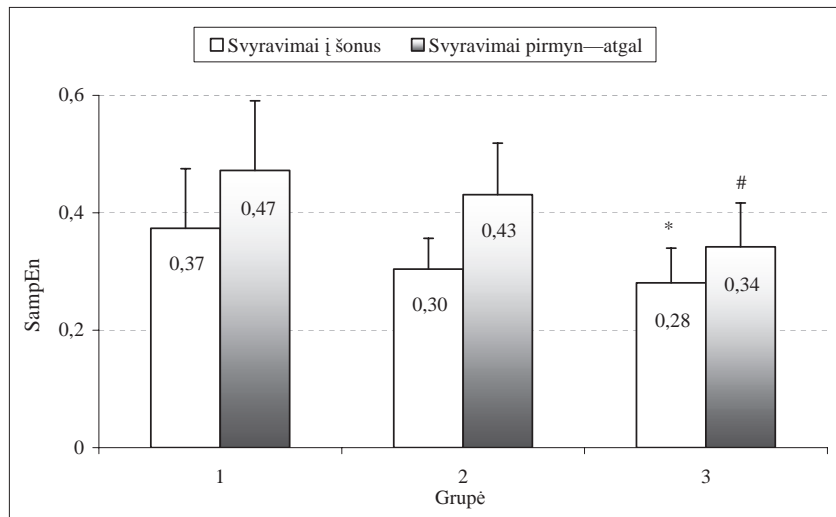
2 pav. Slėgio centro koordinacių kitimo šonine kryptimi (SCdx) vidutinės reikšmės

Pastaba. * — $p < 0,05$, lyginant su 1 grupės rodikliais.

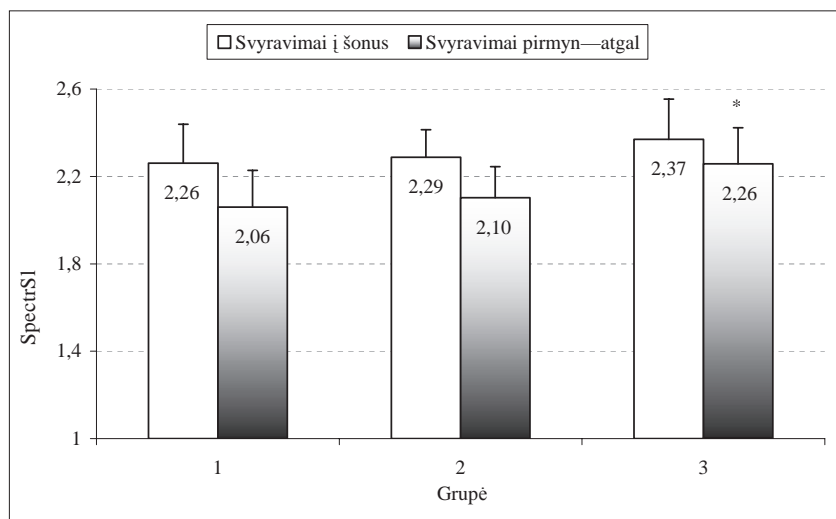


3 pav. Slėgio centro koordinacių kitimo pirmyn—atgal kryptimi (Scdy) vidutinės reikšmės

Pastaba. * — $p < 0,05$, lyginant su 2 ir 3 grupės rodikliais.

4 pav. **Įmties entropijos (SampEn) vidutinės reikšmės**

Pastaba. * — $p < 0,01$, lyginant su 1 grupės, # — $p < 0,01$, lyginant su 1 ir 2 grupės rodikliais.

5 pav. **Spektro galios tankio priklausomumas nuo dažnio rodiklio (SpectrSI) vidutinės reikšmės**

Pastaba. * — $p < 0,05$, lyginant su 1 ir 2 grupės rodikliais.

statistiškai reikšmingai mažesnė ($p < 0,01$) nei pirmos grupės (0,37). SCdy svyravimų SampEn vidutinė reikšmė (0,34) statistiškai reikšmingai mažesnė ir už pirmos (0,47) ($p < 0,01$), ir už antros grupės (0,43) ($p \leq 0,01$) SCdy svyravimų SampEn.

Spektrinės analizės duomenys parodė, kad didėjant amžiui SCdy svyravimų signalai labiau koncentruojasi žemų dažnių srityje, t. y. lėtėja (5 pav.). Trečios grupės tiriamųjų SCdy svyravimų SpectrSI vidutinė reikšmė (2,26) statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) didesnė nei pirmos (2,06) ir antros (2,10) grupės.

REZULTATŲ APTARIMAS

Pusiausvyros tyrimo rezultatai patvirtino kitų tyrėjų (Sabatini, 2000; Cavanaugh et al., 2007) gautuosius, teigiančius, kad kūno svyravimų amplitudė ramiai stovint didėja bėgant metams. Vyresnio amžiaus (3 grupės) tiriamųjų svyravimų į šonus amplitudė statistiškai patikimai didesnė

($p < 0,05$) nei jaunesnio amžiaus (1 grupės). Svyravimų pirmyn—atgal amplitudė statistiškai patikimai ($p < 0,05$) didesnė vyresnio (3 grupės) ir vidutinio (2 grupės) nei jaunesnio (1 grupės) amžiaus tiriamųjų. Nustatyta, kad bėgant metams tiriamųjų SCdx ir SCdy didėja, t. y. ramiai stovint SC svyravimų amplitudė didėja.

Vertinant pusiausvyros sistemos elgsenos kompleksškumą nustatyta: vyresnio amžiaus (3 grupės) tiriamųjų SC svyravimų į šonus SampEn reikšmė statistiškai reikšmingai mažesnė ($p < 0,01$) nei jaunesnio amžiaus (1 grupės), SC svyravimų pirmyn—atgal kryptimi SampEn reikšmė — statistiškai reikšmingai mažesnė ($p < 0,01$) nei vidutinio (2 grupės) ir jaunesnio (1 grupės) amžiaus tiriamųjų. Taigi didėjant amžiui Samp En reikšmė mažėja. Tai rodo tiriamųjų SC svyravimų išlaikant pusiausvyrą kompleksškumo mažėjimą.

Jau vidutinio amžiaus tarpsniu (2 grupėje) pastebimas pusiausvyros elgsenos kompleksšku-

mo sumažėjimas, tačiau lyginant rodiklius su jaunesnio amžiaus (1 grupės) tiriamųjų šis skirtumas statistiškai nereikšmingas.

Tyrimo rezultatai parodė, kad didėjant amžiui SC svyravimų signalas labiau koncentruojasi žemų dažnių srityje, t. y. pusiausvyros svyravimai lėtėja. Vyresnio amžiaus (3 grupės) tiriamųjų SC svyravimų pirmyn—atgal SpectrSI reikšmė statistiškai reikšmingai didesnė ($p \leq 0,05$) nei jaunesnio (1 grupės) ir vidutinio (2 grupės) amžiaus tiriamųjų. Vidutinio amžiaus (2 grupės) tiriamųjų pusiausvyros svyravimai lėtesni nei jaunesnio amžiaus (1 grupės), tačiau statistiškai reikšmingo skirtumo neaptikta.

Bet kurio gyvo organizmo atskirų fiziologinių sistemų funkcijų kaita yra unikali (Goldberger, 2002). Iš sistemos elgsenos vidurkio nereikėtų

spresti apie atskirą atvejį, o iš atskiro atvejo negalima tiksliai suprasti, kaip elgsis daugelis sistemų. Naujausi mokslo pasiekimai rodo, kad sudėtingų dinaminių sistemų elgsenos optimalus kompleksiškas garantuoja sistemos geresnį prisitaikymą įprastomis ir neįprastomis sąlygomis (Prigogine, 1997; Adami, 2002).

IŠVADOS

Tyrimo rezultatai parodė, kad didėjant amžiui kūno slėgio centro svyravimų trajektorijos kompleksiškas ramiai stovint mažėja, t. y. svyravimai reguliarėja ir lėtėja. Taikant netiesinės dinamikos metodus galima įvairiapusiškiau iširti žmonių motorinių sistemų funkcijų kaitą.

LITERATŪRA

- Adami, C. (2002). What is complexity? *BioEssays*, 24, 1085—1094.
- Cavanaugh, J. T., Mercer, V. S., Stergiou, N. (2007). Approximate entropy detects the effect of secondary cognitive task on postural control in healthy young adults; a methodological report. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 4, 42, 1—7.
- Donker, S. F., Roerdink, M., Greven, A. J., Beek, P. J. (2007). Regularity of center of pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control. *Experimental Brain Research*, 10, 1—21.
- Enoka, R. M., Christou, E. A., Hunter, S. K. et al. (2003). Mechanisms that contribute to differences in motor performance between young and old adults. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13, 1—12.
- Goldberger, A. L., Amaral, L. A. N., Hansdorff, J. M. et al. (2002). Fractal dynamics in physiology: Alterations with disease and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 2466—2467.
- Hong, S. L., Bodfish, J. W., Newell, K. M. (2006). Power-law scaling for macroscopic entropy and microscopic complexity: Evidence from human movement end posture. *Chaos*, 16, 2—10.
- Juodžbalienė, V. (2006). Klinikiniai ir instrumentiniai pusiausvyros tyrimo metodai. *Kineziterapija*, 1 (7), 10—13.
- Lipsitz, L. A. (2004). Physiological complexity, aging, and the path to frailty. *Science of Aging Knowledge Environment*, 97, 454—455.
- Pincus, S. M. (1991). Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88, 2297—2301.
- Prigogine, I. (1997). *End of Certainty: Time, Chaos, and New Laws of Nature*. Oxford: the Free Press.
- Richmann, J. S., Moorman, J. R. (2000). Physiological time series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, 278, H 2039—2049.
- Sabatini, A. M. (2000). Analysis of postural sway using entropy measures of signal complexity. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 38, 617—624.
- Schultz, A. B. (1992). Mobility impairment in the elderly: Challenges for biomechanics research. *Journal of Biomechanics*, 5, 519—528.
- Vaillancourt, D. E., Newell, K. M. (2003). Aging the time and frequency structure of force output variability. *Journal of Applied Physiology*, 94, 903—912.

EVALUATION OF THE COMPLEXITY OF BALANCE CHANGES IN WOMEN OF DIFFERENT AGE APPLYING THE METHODS OF NONLINEAR DYNAMICS

Vida Janina Česnaitienė, Kazimieras Pukėnas, Albertas Skurvydas,
Dalia Mickevičienė, Tomas Juraitis

Lithuanian Academy of Physical Education, Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

Due to age and diseases various physiological systems of the human body lose adapted abilities and decrease their stability. However, the human organism has more muscle bulk, neuronal schemes and hormone resources that are necessary for surviving. Those physiological resources allow maintaining balance in the process of aging and diseases (Lipsitz, 2004). Balance, which is one of the physiological systems, disorders are determined by testing the subjects applying functional tests or instrumental research methods of balance (Juodžbalienė, 2006). One of the most often applied methods of the evaluation of balance is static posturography. The evaluation of balance changes applying methods of nonlinear dynamics allows establishing its complexity (Pincus, 1991).

The aim of the study was to analyze the impact of age on the complexity of balance changes applying methods of nonlinear dynamics. For this aim we studied 45 women of different age groups (mean age: 24.5 ± 5.5 ; 44.5 ± 3.5 ; 72.5 ± 7.5 years) applying the instrumental method of balance research — method of posturography. The subjects stood restfully on the power plate, and we registered the swings of their body pressure centers (PC) to the sides, and backwards and forwards. The complexity of balance changes was evaluated estimating its two characteristics — Sample Entropy (SampEn) and Spectral Slope.

Research results indicated that the amplitude of body swings standing in the restful position increased with the increase of age. The amplitude of wings to the sides and backwards and forwards of older women was statistically significantly higher compared to younger women ($p < 0.05$). Evaluating the complexity of balance system behavior we established that the Samp En value of PC swings to the sides of older women was statistically significantly greater than that of younger women ($p < 0.01$). We established that the Spectral Slope value of PC swings backwards and forwards of older women was statistically significantly higher compared to younger and middle-aged women ($p < 0.05$).

Research results showed that the complexity of balance changes became more regular with age, and PC body swings to the sides, backwards and forwards standing in the restful position became slower. The application of methods of nonlinear dynamics enables a more comprehensive study of the dynamics of functions of human motor systems.

Keywords: age, balance, regularity, complexity.

Gauta 2008 m. balandžio 21 d.
Received on April 21, 2008

Priimta 2008 m. rugsėjo 9 d.
Accepted on September 9, 2008

Vida Janina Česnaitienė
Lietuvos kūno kultūros akademija
(Lithuanian Academy of Physical Education)
Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas
Lietuva (Lithuania)
Tel +370 37 302642
E-mail v.cesnaitiene@lkka.lt