

Doktori (PhD) értekezés tézisei

A poszturális kontroll és a fizikai aktivitás kapcsolata

Nagy Edit

Doktori iskola neve: Elméleti orvostudományok
Doktori iskola vezetője: Dr. Szolcsányi János akadémikus
Programvezető: Dr. Lénárd László akadémikus
Témavezető: Dr. Ángyán Lajos egyetemi tanár

Pécsi Tudományegyetem
Általános Orvostudományi Kar
Élettani Intézet

Pécs

2008

1. Bevezetés

A poszturális kontroll a test helyzetének térbeli kontrollálását jelenti két egymástól jól elkülöníthető célnak eleget téve, mint a stabilitás és az orientáció. A poszturális kontroll annak képessége, hogy COM-t az alátámasztási felület felett tartsuk állás és mozgás közben, egy perceptuális-motoros folyamat eredménye, mely magában foglalja a vizuális, szomatoszenzoros és vesztibuláris rendszerekből származó helyzet- és mozgásérzékelést, a szenzoros információk feldolgozását az orientáció és mozgás meghatározásához, és a megfelelő motoros válaszok kiválasztását, melyek fenntartják, vagy visszaállítják a test egyensúlyi helyzetét. A mozgás a szenzoros információ feldolgozással kétféle módon kapcsolódik össze, melyek befolyásolják a motoros viselkedést: feed-back és feed-forward módon.

2. Irodalmi áttekintés

Kevés tanulmány vizsgálta a sportolók poszturális kontrollját, amelyek többsége olyan sportágak képviselőit vizsgálta ahol speciális egyensúlybéli készségek szükségesek. Az ironman-ek olyan jól edzett sportolók, akik magas szintű jártassággal bírnak úszásban, kerékpározásban és futásban, a sportágra jellemző specifikum az extrém hosszú idejű állóképességi terhelés, átlagosan 9-12 órás intenzív mozgás. Azonban az ironman tréning nem igényel speciális egyensúly gyakorlatokat ezért feltételezhető, hogy az ironman sportolók poszturális kontrollja nem különbözik szignifikánsan más fizikailag aktív egészséges alanyokétól. Jól-ismert, hogy az ironman triatlon egy ultra állóképességi verseny, amely szignifikáns változásokat eredményez a különböző élettani paraméterekben.

Az életkor előrehaladtával a megváltozott működésű vesztibuláris, vizuális és szomatoszenzoros rendszerek csökkent, vagy nem megfelelő minőségű feed-backet szolgáltathatnak a poszturális kontroll központoknak. Hasonlóan a végrehajtó izomrendszerben is csökkent lehet a kapacitás, hogy megfelelően válaszoljon a poszturális stabilitást megzavaró hatásokra. Jól ismertek az életkor függő változások a poszturális kontroll stratégiákban. Tekintélyes mennyiségű tanulmány számolt be a megnőtt poszturális kilengésről az életkor előrehaladtával.

3. Célkitűzések

1. Kutatásaink egyrészt arra irányultak, hogy kimutassuk, van-e különbség az ultra állóképességi versenyben résztvevő sportolók poszturális kontrollja és normál kontroll

csoporthoz képest, hogy milyen prompt hatása van az ironman triatlonnak a résztvevők poszturális kontrolljára.

Feltételeztük, hogy mivel az ironman tréning nem igényel speciális egyensúlyfejlesztő gyakorlatokat, nem találunk majd különbséget a normál fizikai aktivitású csoporttal összevetve.

2. Másrészt megvizsgáltuk, hogy az idős korosztály poszturális kontrollja miben tér el a fiatal korosztályétól, illetve, hogy a hetvenes-nyolcvanas éveikben járónál milyen hatása van egy 8 hetes kombinált aerob - egyensúlyfejlesztő - izomerősítő tréningnek az idősek egyensúlyi paramétereire (AP, ML lengés, frekvencia energia).

Feltételeztük, hogy a résztvevők jobb egyensúly kontrollt mutatnak majd a tréning után, azaz a kisebb kilengést, mint azok az idősek, akik nem vesznek részt a programban.

4. Módszer

4.1 Résztvevők

Összesen 50 különböző életkorú és állapotú egészséges egyén vett részt a tanulmányban az alábbi megoszlásban: 1. csoport Rendszeresen sportoló fiatal felnőtt (10 fő), 2. csoport Ironman (10 fő), 3. csoport Hallgatók (11fő), 4. csoport Idős tréning (9fő), 5. csoport Idős kontroll (10 fő).

	1.csoport (Felnőtt kontroll)	2. csoport (Ironman)	3. csoport (Hallgatók)	4. csoport (Idős tréning)	5. csoport (Idős kontroll)
Életkor (év)	33 ± 1.3	33 ± 2.4	22 ± 0.4	79 ± 1.6	76 ± 1.9
Testtömeg (kg)	78 ± 2.8	74 ± 2.3	58 ± 2.9	73 ± 4.5	69 ± 5.1
Testmagasság (cm)	175 ± 1.5	175 ± 2.2	163 ± 0.025	157 ± 0.023	159 ± 0.029
BMI index (kg/m²)	25,47	24,17	21,83	29,62	27,29

1. táblázat A tanulmányban résztvevők antropometriai adatai

4.2 Vizsgálatok

A Centre of Pressure COP elmozdulásának mérése erőmérő platform segítségével elfogadott módszer a poszturális kontroll, vagy egyensúly mérésében. A statikus poszturális stabilitást mértük, egy erőmérő platformon (Stabilometer ZWE-PII) állva 20mp-ig előbb nyitott, majd csukott szemmel. A résztvevők mezítláb, összezárt lábakkal álltak, karjaik lazán a törzs mellett voltak. A nyitott szemmel végzett teszt alatt a résztvevők egy kb. 2 méter távolságban lévő, szemmagasságban elhelyezett célt néztek. Az alaptesztelést követően a 2. csoport esetén az extrém fizikai terhelést (3,8 km úszásból, 180 km kerékpározásból és 42,195 km futás) követően 15 perccel és újabb 5 perc elteltével megismételtük a méréseket a poszturális paraméterek helyreállási jeleinek megfigyelése céljából. A 4. csoport esetén, pedig a 8 hetes tréning periódust (kombinált egyensúlyfejlesztő tréning) követően ismételtük meg a méréseket.

A funkcionális teljesítmény mérésére a 4. csoport esetében a dinamikus egyensúly tesztek közül a Timed Up & Go (TUG) tesztet alkalmaztuk, amely során azt az időtartamot mérjük másodpercben, amelyre egy ülő embernek szüksége van ahhoz, hogy felálljon, majd megkerüljön egy 3 méter távolságban elhelyezett tárgyat és visszaüljön a székére.

4.3 Ironman triatlon

A 2. csoport tagjai a kezdeti tesztelést követően részt vettek egy ironman triatlonon, mely 3.8 km úszásból, 180 km kerékpározásból és 42.195 km futásból áll, a versenyzők ezt a teljesítményt 9-12 óra alatt érték el.

4.4 Az idős csoport tréning programja

A 4. csoport részt vett egy 8 hetes kombinált egyensúlyfejlesztő tréningen heti kétszer 45 percben. A torna program alsóvégtagi erősítő és flexibilitást növelő gyakorlatokból – különös tekintettel a csípő körüli izmok és a törzs, elsősorban a hasizmok erősítésre, statikus és dinamikus egyensúly gyakorlatokból, és aerob aktivitásként járógyakorlatokból tevődött össze.

4.5 Adatfeldolgozás

A lengési utat számítottuk a mért adatokból, majd a lengési utat mindkét irányban spektrum analízisnek vetettük alá és a gyors Fourier transzformáció segítségével számoltuk 0,1-0,3; 0,3-1; 1-3 Hz tartományokban. A kapott adatokat variancia analízisnek vetettük alá a Statistica program segítségével, hogy összehasonlítsuk a csoportokat és a kísérleti szituációkat. Post hoc összehasonlításakor az LSD tesztet használtuk. A TUG teszt

értékelésekor a Student t-tesztet alkalmaztuk a szignifikáns különbség meghatározására. Az adat elemzés során $p < 0,05$ szignifikancia szintet fogadtunk el.

5. Eredmények

5.1. Extrém fizikai terhelések általános hatása a poszturális kontrollra

A vizsgálat első részének fő eredménye az volt, hogy az ironman sportolók szignifikánsan stabilabbak voltak és kevésbé függtek a vizuális információktól, mint a kontroll csoport tagjai, akik rendszeres fizikai aktivitásban vettek részt.

5.2. Extrém fizikai terhelés prompt hatása a poszturális kontrollra Továbbá az állóképességi verseny szignifikáns növekedést okozott a lengési útban AP irányban, csukott szemmel. A második verseny utáni mérés a poszturális változások mérséklődésének tendenciáját mutatta. A frekvencia analízis szintén feltárt néhány új eredményt, amelyek a lengési út elemzésekor nem voltak szignifikánsak. Így az alacsony frekvencia tartományban szignifikáns különbségek voltak az ironman sportolók esetén az AP és ML lengési energia között mindkét vizuális feltétel esetén, a kontroll csoporttól eltérően. Ez a különbség megfigyelhető ebben a csoportban az összes frekvencia tartományban, csukott szemmel, jelezve a magasabb szintű motoros kontrollt a ML irányban.

5.3. Életkor függő változások a poszturális kontrollban

A lengési út mindkét irányban szignifikánsan magasabb volt az idősek esetén, a fiatalokéval összehasonlítva.

5.4. A poszturális kontroll fejleszthetősége idős korban

Az idősekkel végzett tanulmány fő eredménye az volt, hogy azok az idősek, akik a speciális egyensúlyfejlesztő tréningben részt vettek, szignifikáns javulást mutattak a funkcionális teljesítményben és szignifikáns változásokat a poszturográfias paraméterekben, így tehát a tréning szignifikánsan megnövelte a lengési frekvencia energiáját vizuális kontroll nélkül, ML irányban mind az alacsony, mind a középmagas frekvencia tartományban.

6. Megbeszélés

Eredményeink alapján bemutattuk, hogy az állóképességi verseny szignifikánsan befolyásolja az ironman sportolók egyensúlyozási képességét verseny után. Azonban további vizsgálatok szükségesek, melyekben a poszturográfias vizsgálatok kiegészülnek az izom

aktivitás, a szív és légzési frekvencia, a kiszáradás mértékének meghatározásával, hogy jobban megértsük a poszturális kontrollban bekövetkezett változásokat ironman triatlont követően.

Feltételezéseinknek megfelelően, eredményeink alátámasztották, hogy a kombinált egyensúlyi tréning pozitív hatással volt a résztvevők egyensúlyi teljesítményére, még ebben a magas életkorcsoportban is, és különösen fontos kiemelni, hogy a javulás az elesések szempontjából kockázatos ML irányban, vizuális kontroll nélkül mutatkozott meg, azonban lehetséges, hogy eredményeink specifikusak erre a populációtípusra.

Tanulmányunk mindkét részében főként a statikus egyensúly vizsgálatát hangsúlyoztuk, - a dinamikus tesztek közül csupán a TUG tesztet használtuk-, mivel a tanulmány fókuszában a kilengés frekvencia spektrumának vizsgálata állt, melynek segítségével jobb betekintést nyertünk az állás kontrolljának természetébe, illetve pontosabb képet kaptunk a különböző típusú fizikai aktivitások hatására bekövetkezett finom változásokról.

A tanulmány második felének szakmapolitikai jelentőségét az adja, hogy az általunk használt módszerekkel objektíven mérhetőek az egyensúlyfejlesztő tréning hatására bekövetkezett pozitív változások, így a bizonyítékokon alapuló gyógyítás térhódításakor nagy jelentőséggel bír a gyógytornász fizioterapeuta munkájának objektív mérhetősége.

8. Irodalomjegyzék

- Amiridis IG, Hatzitaki V, Arabatzi F (2003) Age-induced modifications of static postural control in humans. *Neuroscience Letters* 350:137-140
- Ángyán L, Tézely T, Ángyán Z. (2007) Factors affecting postural stability of healthy young adults. *Acta Phys. Hung.* 94:289-299,.
- Ángyán Lajos Dr. Az emberi test mozgástana - Motoros viselkedés (2005) Motio Pécs
- Brooke-Wavell K, Perret LK, Howarth PA, Haslam RA (2002) Influence of the visual environment on the postural stability in healthy older women. *Gerontology* 48: 293-297
- Brown M, Sinacore DR, Host HH (1995) The relationship of strength to function in the older adult. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 50 A (spec. number):55-59
- Bousset S, Duchene JL (1994) Is body balance more perturbed by respiration in seating than in standing posture? *Neuroreport* 5: 957-960
- Buchner DM, Beresford SA, Larson EB, LaCroix AZ, Wagner EH (1992) Effects of physical activity on health status in older adults. II. Intervention studies. *Annu Rev Public Health* 13:469-488
- Bugnariu N, Sveistrup H (2006) Age-related changes in postural responses to externally- and self-triggered continuous perturbations. *Archives of Gerontology and Geriatrics* 42:73-89
- Campbell AJ, Borri MJ, Spears GF (1989) Risk factors for falls in a community-based prospective study of people 70 years and older. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 44:112-117

- Carpenter MG, Frank JS, Silcher CP (1999) Surface height effects on postural control: a hypothesis for a stiffness strategy for stance. *J Vestib Res* 9:277-286
- Carpenter MG, Frank JS, Silcher CP, Peysar GW (2001) The influence of postural threat on the control of upright stance. *Exp Brain Res* 138:210-218
- Collins JJ, De Luca CJ, Burrows A, Lipsitz LA (1995) Age-related changes in open-loop and closed-loop postural control mechanisms. *Exp Brain Res* 104:480-492
- Conforto S, Schmid M, Camomilla V, D'Alessio T, Cappozzo A (2001) Hemodynamics as a possible internal mechanical disturbance to balance. *Gait & Posture* 14: 28-35
- De Luca CJ, LeFever LS, McCue MP, Xenakis LA (1982) Control scheme governing concurrently active human motor units during voluntary contractions. *J Physiol (London)* 329:129-142
- Derave W, De Clercq D, Bouckaert J, Pannier J-L (2001) The influence of exercise and dehydration on postural stability. *Ergonomics* 41: 782-789
- Derave W, Tombeux N, Cottyn J, Pannier J-L, De Clercq D (2002) Treadmill exercise negatively affects visual contribution to static postural stability. *Int J Sports Med* 23: 44-49
- Dietz V (1992) Human neuronal control of automatic functional movements: interaction between central programs and afferent input. *Physiol Rev* 72: 33-69
- Douglas PS, O'Toole ML, Hiller WD, Hackney K, Reichek N (1987) Cardiac fatigue after prolonged exercise. *Circulation* 76: 1206-1213
- Douglas PS, O'Toole ML, Katz SE (1998) Prolonged exercise alters cardiac chronotropic responsiveness in endurance athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 38: 158-163
- Fujita T, Nakamura S, Ohue M, Fujii Y, Miyauchi A, Takagi Y, Tsugeno H (2005) Effect of age on body sway assessed by computerised posturography. *J of Bone and Mineral Metabolism* 23:152-156
- Galganski ME, Fuglewand AJ, Enoka RM (1993) Reduced control of motor output in a human hand muscle of elderly subjects during submaximal contractions. *J Neurophysiol* 69:2108-2115
- Gauchard GS, Gangloff P, Vouriot A, Mallie JP, Perrin PP (2002) Effects of exercise-induced fatigue with and without hydration on static postural control in adult human subjects. *Int J Neurosci* 112: 1191-1206
- Giacomini PG, Sorace F, Magrini A, Alessandrini M (1998) Alterations in postural control: the use of spectral analysis in stability measurement. *Acta Otolaryngol Ital* 18: 83-87
- Ginsburg GS, O'Toole M, Rimm E, Douglas PS, Rifai N (2001) Gender differences in exercise-induced changes in sex hormone levels and lipid peroxidation in athletes participating in the Hawaii Ironman triathlon. *Ginsburg-gender and exercise-induced lipid peroxidation. Clin Chim Acta* 305: 131-139
- Golomer E, Cremieux J, Dupui P, Isableu B, Ohlmann T (1999) Visual contribution to self-induced body sway frequencies and visual perception of male professional dancers. *Neurosci Lett* 267:189-192
- Golomer E, Dupui P, Monod H (1997) Sex-linked differences in equilibrium reactions among adolescents performing complex sensorimotor tasks. *J Physiol (Paris)* 91: 49-55
- Golomer E, Dupui P, Sereni P, Monod H (1999) The contribution of vision in dynamic spontaneous sways of male classical dancers according to student or professional level. *J Physiol (Paris)* 93: 233-237
- Hashiba M (1998) Transient change in standing posture after linear treadmill locomotion. *Jpn J Physiol* 48: 499-504
- Henry SM, Fung J, Horak FB (1998) Control of stance during lateral and anterior/posterior surface translations. *IEEE Trans Rehabil Eng* 6:32-42
- Hodges PW, Gurfinkel VS, Brumagne S, Smith TC, Cordo PC (2002) Coexistence of stability and mobility in postural control: evidence from postural compensation for respiration. *Exp Brain Res* 144: 293-302

- Holtzhausen LM, Noakes TD (1995) The prevalence and significance of post-exercise (postural) hypotension in ultramarathon runners. *Med Sci Sports Exerc* 27: 1595-1601
- Horak FB (1997) Clinical assessment of balance disorders. *Gait and Posture* 6:76-84
- Hue OA, Seynnes O, Ledrole D, Colson SS, Bernard PL (2004) Effects of a physical activity program on postural stability in older people. *Aging Clin Exp Res* 16:356-362
- Hunter IW, Kearney RE (1981) Respiratory components of human postural sway. *Neurosci Lett* 25: 155-159
- Johnston RB, Howard ME, Cawley PW, Losse GM (1998) Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. *Med Sci Sports Exerc* 30: 1703-1707
- Judge JO (2003) Balance training to maintain mobility and prevent disability. *Am J Prev Med* 25:150-156
- Judge JO, Lindsey C, Underwood M, Winsemius D (1993) Balance improvements in older women: effects of exercise training. *Phys Ther* 73:254-262
- Judge JO, Whiple RH, Wolfson LI (1994) Effects of resistive and balance exercises on isokinetic strength in older persons. *J Am Geriatr Soc* 42:937-946
- Kincl LD, Bhattacharya A, Succop P, Clark CS (2002) Postural sway measurements: a potential safety monitoring technique for workers wearing personal protective equipment. *Appl Occup Environ Hyg* 17: 256-266
- Kohen-Raz R, Himmelfarb M, Tzur S, Kohen-Raz A, Shub Y (1996) An initial evaluation of work fatigue and circadian changes as assessed by multiplate posturography. *Percept Mot Skills* 82: 547-557
- Krafczyk S, Schlamp V, Dietrich M, Haberhauer P, Brandt T (1999) Increased body sway at 3.5 - 8 Hz in patients with phobic postural vertigo. *Neuroscience Letters* 259:149-152
- Laughton CA, Slavin M, Katdare K, Nolan L, Bean JF, Kerrigan DC, Phillips E, Lipsitz LA, Collins J (2003) Aging muscle activity, and balance control: physiologic changes associated with balance impairment. *Gait and Posture* 18:101-108
- Laursen PB, Rhodes EC, Langill RH, McKenzie DC, Taunton JE (2002) Relationship of exercise test variables to cycling performance in an ironman triathlon. *Eur J Appl Physiol* 87: 433-440
- Lepers R, Bigard AX, Diard JP, Gouteyron JF, Guezennec CY (1997) Posture control after prolonged exercise. *Eur J Appl Physiol* 76: 55-61
- Lepers R, Maffiuletti NA, Rochette L, Brugniaux J, Millet GY (2002) Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. *J Appl Physiol* 92: 1487-1493
- Loram ID, Lakie M (2002) Human balancing of an inverted pendulum: position control by small, ballistic-like throw and catch movements. *J Physiol* 540:1111-1124
- Lord SR, Ward JA, Williams P, Anstey K (1994) Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women. *J Am Geriatr Soc* 42:1110-1117
- Maki BE, Holliday PJ, Topper AK (1994) A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. *J Gerontol Med Sci* 49:M72-84
- Maki BE, Holliday PJ, Topper AK (1991) Fear of falling and postural performance in elderly. *J Gerontol* 46:M123-131
- Maki BE, McIlroy WE (1996) Postural control in the older adult. *Clin Geriatr Med* 12:635-658
- Maki BE, McIlroy WE (1997) The role of limb movements in maintaining upright stance: the "change-in-support" strategy. *Phys Ther* 77:488-507
- Manchester D, Wollacott M, Zederbauer-hylton N, Marin O (1989) Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in older adult. *J Gerontol Med Sci* 44:M118-M127
- Mazzeo RS, Cavanagh P, Evans WJ, Fiatarone M, Hagberg J, McAuley E, Startzell J (1998) ACSM position stand on exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 30:992-1008

- McCleanaghan BA, Williams HG, Dickerson J, Dwoda M, Thombs L, Eleazer P (1995) Spectral characteristics of aging postural control. *Gait and Posture* 3:123-131
- Millet GY, Lepers R, Maffiuletti N, Babault N, Martin V, Lattier G (2002) Alterations of neuromuscular function after an ultramarathon. *J Appl Physiol* 92: 486-492
- Mitchell SL, Collins JJ, De Luca CJ, Burrows A, Lipsitz LA (1995) Open-loop and closed-loop postural control mechanisms in Parkinson's disease: increased mediolateral activity during quiet standing. *Neurosci Lett* 197:133-136
- Nardone A, Tarantola A, Giordano A, Schieppati M (1997) Fatigue effects on body balance. *EEG Clin Neurophysiol* 105: 309-320
- Nardone A, Tarantola J, Galante M, Schieppati M (1998) Time course of stabilometric changes after a strenuous treadmill exercise. *Arch Phys Med Rehabil* 79: 920-924
- Nashner L, McCollum G (1985) The organisation of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis. *Behav Brain Sci* 8:135-172
- Nussbaum MA (2003) Postural stability is compromised by fatiguing overhead work. *AIHA Journal* 64: 56-61
- Nyland JA, Shapiro R, Caborn DN, Nitz AJ, Malone TR. (1997) The effect of quadriceps femoris, hamstring, and placebo eccentric fatigue on knee and ankle dynamics during crossover cutting. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1997 Mar;25(3):171-84.
- Onambele GL, Narici MV, Maganaris CN (2006) Calf muscle-tendon properties and postural balance in old age. *J Appl Physiol* 100:2048-2056
- Oppenheim U, Kohen-Raz R, Alex D, Kohen-Raz A, Azarya M (1999) Postural characteristic of diabetic neuropathy. *Diabetes Care* 22: 328-332
- Rifai N, Douglas PS, O'Toole M, Rimm E, Ginsburg GS (1999) Cardiac Troponin T and I, Electrocardiographic wall motion analyses, and ejection fractions in athletes participating in the Hawaii Ironman Triathlon. *Am J Cardiol* 83: 1085-1089
- Schmidt RA (1975) A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol Rev* 82:225-260
- Schieppati M, Hugon M, Grasso M, Nardone A, Galante M (1994) The limits of equilibrium in young and elderly normal subjects and in Parkinsonians. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 93: 286-298
- Sheldon JH (1963) The effect of age on the control of sway. *Gerontol Clin (Basel)* 5:129-138
- Vuillerme N, Danion F, Forestier N, Nougier V (2002) Postural sway under muscle vibration and muscle fatigue in humans. *Neurosci Lett* 333: 131-135
- Vuillerme N, Danion F, Marin L, Boyadjian A, Prieur J, Weise I, Nougier V (2001) The effect of expertise in gymnastics on postural control. *Neurosci Lett* 303: 83-86
- Vuillerme N, Nougier V, Prieur J (2001) Can vision compensate for a lower limbs muscular fatigue for controlling posture in humans? *Neurosci Lett* 308: 103-106
- Vuillerme N, Nougier V, Teasdale N (2000) Effects of reaction time task on postural control in humans. *Neurosci Lett* 291: 77-80
- Whiple RH, Wolfson RI, Amerman PM (1987) The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents: an isokinetic study. *J Am Geriatr Soc* 35:13-20
- Whyte G, Lumley S, George K, Gates P, Sharma S, Prasad K, McKenna WJ (2000) Physiological profile and predictors of cycling performance in ultra-endurance triathletes. *J Sports Med Phys Fitness* 40: 103-109
- Williams HG, McCleanaghan BA, Dickerson J (1997) Spectral characteristic of postural control in elderly individuals. *Arch Phys Med Rehabil* 78:737-744
- Winter DA, Prince F, Frank JS, Powell C, Zabjek KF (1996) Unified theory regarding A-P and M-L balance in quiet stance. *J Neurophysiol* 75:2334-2343

Wolfson R, Judge J, Whipple R, King M (2005) Strength is a major factor in balance, gait, and the occurrence of falls. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 50A:64-67

Yaggie JA, McGregor SJ (2002) Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits. *Arch Phys Med Rehabil* 83: 224-228

Yarasheski KE (2003) Exercise, aging, and muscle protein metabolism. *J Gerontol* 58 A:918-922

Az értekezés alapjául szolgáló publikációk és kongresszusi előadások

Eredeti közlemények:

Nagy Edit, Fehérné Kiss Anna A poszturális kontroll fejleszthetősége idős korban *Magyar Orvos* 2007 XV évf. 2007/11, 28-32

Nagy Edit, Feher-Kiss Anna, Barnai Maria, Domjan-Preszner Andrea, Angyan Lajos, Horvath Gyöngyi Postural control in elderly subjects participating in balance training *European Journal of Applied Physiology* 2007 May;100(1):97-104. Epub 2007 Feb 28. Impact factor: 1.6

Nagy Edit, Toth Kalman, Janositz Gabor, Kovacs Gyula, Feher-Kiss Anna, Angyan Lajos, Horvath Gyöngyi. Postural control in athletes participating in ironman triathlon. *European Journal of Applied Physiology* 92: 407-414, 2004. Impact factor: 1,33

Nagy Edit, Tóth Kálmán, Janositz Gábor, Kovács Gyula, Fehérné Kiss Anna, Horváth Gyöngyi Az ironman triatlon hatása a testtartás kontrollra / The effect of ironman triathlon on postural control. *Magyar Sporttudományi Szemle* 2/3: 43-47, 2004.

Kongresszusi abstractok:

Nagy E., Fehérné Kiss A., Horváth Gy.: A poszturális kontroll jellegzetességei idős korban / Postural control characteristics in elderly persons. *Magyar Élettani Társaság LXIX. Vándorgyűlése* 2005. június 2-4, Budapest Hungary

Nagy E., Domján-Preszner A., Fehér-Kiss A., Horváth Gy. The effect of physical training on postural control. *5th Mediterranean Congress of Physical & Rehabilitation Medicine* September 30 October 04. 2004, Antalya, Turkey

Nagy E., Fehérné Kiss A., Horváth Gy. Az egyensúlyfejlesztés lehetőségei idős korban. *Magyar Gerontológiai Társaság Kongresszusa*, Szeged 2004. március 26-27.

Nagy E., Fehérné Kiss A., Mátyás R., Őr A., Horváth Gy. Aerob tréning hatása az idős emberek egyensúlyi paramétereire. *A Magyar Gyógytornászok Társasága IV. Kongresszusa*, Keszthely 2003. október 16-17-18.

Nagy E., Tóth K., Kovács Gy., Janositz G., Fehérné Kiss A., Horváth Gy. Az ironman triatlon hatása a testtartás kontrollra. *IV. Országos Sporttudományi Kongresszus*, Szombathely, 2003. október 17-18.

Feher Kiss A., **Nagy E.**, Horvath Gy: The Spectral Analysis Of Sway In Hemiparetic Patients. *2nd World Congress of International Society of Physical and Rehabilitation Medicine*, 18-22 May 2003, Prague, Czech Republic

Nagy E., Toth K., Kovacs Gy., Janositz G., Horvath Gy., Feherne Kiss A.: Effect of endurance race on motor control performance of ironman. *European Congress of Sport Medicine* 14-16 May 2003 Hasselt, Belgium

Nagy E., Horvath Gy., Feherne Kiss A.: Postural control after short-lasting extensive dynamic training. *International Congress and Exhibition of CSP*, 10-13 Oct. 2002 Birmingham, UK

Laluskáné Ritz J., **Nagy E.** Ápolók és gyógytornászok együttműködése a gondozottak rehabilitációjában a minőségirányítási rendszer tükrében. *Együtt-Működés I. Regionális rehabilitációs kongresszus* Szeged 2002 okt.24-25

Toth K., Kovacs Gy., Janositz G., Horvat Gy., **Nagy E.** Controlling posture in humans: How and why does it change respectively monitoring the time-course effect of extensive dynamic training. *4th CEOC (Central European Orthopaedic Congress)* 29 May - 01 June, 2002 Cavtat/Dubrovnik, Croatia

Nagy E., Toth K., Kovacs G., Janositz G., Horvath G.: The time-course effect of extensive dynamic training on controlling posture in humans. *XXVII. FIMS World Congress of Sport Medicine* June 5-9, 2002 Budapest, Hungary

Egyéb közlemények kongresszusi előadások

Eredeti közlemények:

Horvath G, Kekesi G, **Nagy E.**, Benedek G. The role of TRPV1 receptors in the antinociceptive effect of anandamide at spinal level. *Pain.* 134 (2008) 277-284

Nagy E., Feher-Kiss A., Prezenszki B., Varkonyi T. The characteristics of postural control in patients with type II diabetes *International Journal of Rehabilitation Research 30 Suppl. 1 79-80 August 2007*

Feher-Kiss A., **Nagy E.**, Horvath Gy Trunk assessment in weight bearing positions under normal and pathological conditions *International Journal of Rehabilitation Research 30 Suppl. 1 64-65 August 2007*

Nagy E., Fehérné Kiss A.: Neurális plaszticitás és a Bobath szemlélet *Mozgásterápia 2 7-9 2006*

Barnai M., **Nagy E.**, Rázsó K., Domján A., Horváth Gy.: Az akaratlagos apnoe idő változása az életkor és a fizikai kondíció függvényében *Mozgásterápia 2 10-15 2006*

Nagy Edit. Az ICF modellje (beszámoló, és fordítás) *Mozgásterápia 2 24-27 2006*

Barnai M., Domján A., Varga J., Somfay A., **Nagy E.**, Horváth Gy. *Exercise capacity of the 80 age-old people.* microCAD: 1-6, 2006.

Csoka I., Csanyi E., Zapantis G., **Nagy E.**, Feher-Kiss A., Horvath G., Blazso G., Eros I. In vitro and in vivo percutaneous absorption of topical dosage forms: case studies. *Int. J. Pharm.*; 291: 11-9, 2005.

Nagy Edit A funkcionális egyensúly vizsgálata egészséges felnőtteken *Mozgásterápia 4:13-17, 2002.*

Kongresszusi absztraktok

Nagy Edit, Fehérné Kiss Anna: Plaszticitás, mint a motoros tanulás alapja és a Bobath szemlélet, *Orvosi Rehabilitáció és Fizikális Medicina Magyarországi Társasága XXVII. Vándorgyűlése* Budapest, 2008. szeptember 4-6.

Fehérné Kiss Anna **Nagy Edit**: A motoros tanulás, mint a plaszticitás egyik formája és a Bobath szemlélet *Orvosi Rehabilitáció és Fizikális Medicina Magyarországi Társasága XXVII. Vándorgyűlése* Budapest, 2008. szeptember 4-6.

Nagy E., Feher Kiss A., Horvath Gy., Barnai M., Varkonyi T.: The characteristics of the postural control in patients with type 2 diabetes *World Congress of Physical Therapy 2-6 June 2007, Vancouver, Canada*

Feher Kiss A., **Nagy E.**, Barnai M., Varkonyi T., Horvath Gy.: Connection between postural control and sensory neuropathy in patients with type 1 diabetes *World Congress of Physical Therapy 2-6 June 2007, Vancouver, Canada*

Bornemisza E., Domjan-Preszner A., Barnai M., **Nagy E.**, Horvath Gy.: Sacroiliac joint pain and the weight-bearing *6th Mediterranean Congress of PRM 18- 21 October 2006, Vilamoura, Algarve, Portugal.*

Nagy E., Kiss-Feher A., Domjan-Preszner A., Bornemisza E., Horvath Gy.: The effect of type 1 diabetes on the postural control *6th Mediterranean Congress of PRM 18- 21, October 2006, Vilamoura, Algarve, Portugal.*

Domjan-Preszner A., **Nagy E.**, Bornemisza E., Horvath Gy.: The effect of PNF training on postural control – Case report *6th Mediterranean Congress of PRM 18- 21 October 2006, Vilamoura, Algarve, Portugal.*

Nagy E., Fehérné Kiss A., Várkonyi T., Lengyel Cs., Horváth Gy.: A poszturális kontroll jellegzetességei 1 típusú diabetes mellitus esetén /The characteristics of the postural control in patients with type I diabetes *Magyar Élettani Társaság LXX. Vándorgyűlése* 2006. június 7-9. Szeged, Hungary

Bornemisza É., Presznerné Domján A., Barnai M., **Nagy E.**, Horváth Gyöngyi: A medence aszimmetriák és a súlyviselés *Magyar Élettani Társaság LXX. Vándorgyűlése* Szeged 2006. június 7-9.

- Barnai M., Várhelyi G., **Nagy E.** A helyreállási időt befolyásoló tényezők *Magyar Élettani Társaság LXX. Vándorgyűlése Szeged 2006. június 7-9.*
- Bornemisza É., Presznerné Domján A., Barnai M., **Nagy E.**: A medence aszimmetriák és a súlyviselés *SZTE EFK 15 éves jubileumi kongresszus Szeged 2006 április 27-28*
- Nagy E.**, Fehérné Kiss A.: Plaszticitás – plaszticitás! *SZTE EFK 15 éves jubileumi kongresszus Szeged 2006 április 27-28*
- Fehérné Kiss A., **Nagy E.**: Spaszticitás – Spaszticitás? *SZTE EFK 15 éves jubileumi kongresszus Szeged 2006 április 27-28*
- Barnai M., **Nagy E.**, Rázsó K., Domján A., Horváth Gy.: Az akaratlagos apnoe idő és a fizikai teljesítmény összefüggései *SZTE EFK 15 éves jubileumi kongresszus Szeged 2006 április 27-28*
- Bornemisza É., **Nagy E.**, Goda A., Kálmán G.: A blokkolt térdízület hatása a fékezőerőkre és a térdízületi szögváltozásokra a járás támaszkodási fázisában *SZTE EFK 15 éves jubileumi kongresszus Szeged 2006 április 27-28*
- Presznerné Domján A., Laluska J., Liska B., **Nagy E.**: PNF technikák alkalmazása az egyensúly fejlesztésére – esetismertetés *SZTE EFK 15 éves jubileumi kongresszus Szeged 2006 április 27-28*
- Fehérné Kiss A., **Nagy E.**, Horváth Gy.: Trunk elongation and shortening during weight bearing in standing in healthy and hemiparetic individuals. *Evidence for Stroke Rehabilitation Conference 26-28 April 2006, Göteborg, Sweden,*
- Barnai M., Domján A., Varga J., Somfay A., **Nagy E.**, Horváth Gy.: Exercise capacity of the 80 age-old people. *microCAD 2006 International Scientific Conference 2006. márc.16-17, Miskolc, Hungary*
- Nagy E.**, Fehérné Kiss A. Agyi plaszticitás és a Bobath szemlélet – nemcsak neurológiai területen dolgozóknak. *A Magyar Gyógytornászok Társasága V. Kongresszusa Sopron 2005. november 17-19.*
- Bornemisza É., **Nagy E.**, Prezenszki B., Goda A. Járáselemzés I. A járás sebességének hatása a normál járás kinetikájára, kinematikájára a támaszkodási fázisban. *A Magyar Gyógytornászok Társasága V. Kongresszusa Sopron 2005. november 17-19.*
- Bornemisza É., **Nagy E.**, Kálmán G., Temesi A. Járáselemzés II. A blokkolt térdízület hatása a járás kinetikájára, kinematikájára a támaszkodási fázisban. *A Magyar Gyógytornászok Társasága V. Kongresszusa Sopron 2005. november 17-19.*
- Nagy E.**, Bornemisza É., Gelányi L., Bódi I., Gellai N. Járáselemzés III. Patológiás járás kinetikája, kinematikája a támaszkodási fázisban – esetelemzés *A Magyar Gyógytornászok Társasága V. Kongresszusa Sopron 2005 november 17-19.*
- Fehérné Kiss A., **Nagy E.**, Horváth Gy.: Minőség és mennyiség a hemiparetikus betegek vizsgálatában. *A Magyar Gyógytornászok Társasága V. Kongresszusa Sopron 2005. november 17-19.*
- Fehérné Kiss A., **Nagy E.**, Horváth Gy.: Trunk alignment changes during weight shifting in patients with hemiparesis. *21st Annual General Meeting of IBITA September 9 - 11, 2005 Leeds, UK*
- Fehér-Kiss A., **Nagy E.**, Horváth Gy.: Measuring of the quality of weight bearing in patients with hemiparesis. *Mediterranean Congress of Physical & Rehabilitation Medicine, September. 30 October 04 2004 Antalya, Turkey*
- Danka K., Várkonyi T., **Nagy E.** Horváth Gyöngyi I-es típusú diabéteszes betegek statikus egyensúlyának vizsgálata. *A Magyar Gyógytornászok Társasága IV. Kongresszusa, Keszthely 2003. október 16-17-18.*
- Halász K., Váró A., Sipka R., **Nagy E.**, Horváth Gy. Az artéria carotis interna jelentős szűkületének hatása a statikus egyensúlyra. *A Magyar Gyógytornászok Társasága IV. Kongresszusa, Keszthely 2003. október 16-17-18.*
- Fehérné Kiss A., **Nagy E.**, Varga M.: A Bobath koncepció helyzete a magyar fizioterápiában. *MGYT Neurológiai munkacsoport tudományos ülése Budapest 2003. március 28.*
- Nagy E.** A functional reach test jelentősége a gyógytornász munkájában. *SZAB Tudományos Ülése. Szeged Február 19. 2002.*

Relation between postural control and physical activity

PhD Theses

Edit Nagy

University of Pécs
Faculty of Medicine
Institute of Physiology
Pécs
2008

1. Introduction

Postural control is the ability to maintain the body's centre of mass over the base of support during quiet standing and movement. It is a perceptual-motor process that includes the sensation of position and motion from the visual, somatosensory and vestibular systems, the processing of the sensory information to determine orientation and movement, and the selection of motor responses that maintains or brings the body into equilibrium.

2. Review of literature

Only a few studies have reported the postural control of sportsmen, and most of these studied sportsmen who needed special skills in balance control. Ironman training does not require special practice in balance, and therefore it might be supposed that ironmen do not differ significantly in postural control compared with healthy, physically active subjects. It is well known that the ironman triathlon is an ultra-endurance race, which causes significant changes in various physiological parameters.

The vestibular, visual and somatosensory systems, which all undergo changes with aging, may provide a diminished or inappropriate feedback to the postural control centres. Similarly, the muscle effectors may lack the capacity to respond appropriately to disturbances in postural stability. The age-related alterations in postural control strategies are also well known. A considerable number of studies have reported on the increase in postural sway with advancing age.

3. Objectives

1. Our investigation in one hand focused on the postural control of ironmen in comparison with that of healthy subjects who took part in regular physical activity. Furthermore, the second aim of this part was to examine postural control after an ironman triathlon race.

Since ironman training does not require special practice in balance, and therefore it might be supposed that ironmen do not differ significantly in postural control compared with healthy, physically active subjects.

2. On the other hand our aim was to investigate differences in postural control parameters between young and elderly people, and to explore how a combined aerob, balance

training can influence the balance parameters (AP, ML sway and frequency power), and functional performance in this specific age group.

We hypothesized that the participants would demonstrate better balance control, i.e. smaller postural sway than those who did not take part in the programme.

4. Method

4.1. Subjects

50 healthy subjects, with different age and physical condition took part in the study. Group 1: young adults, who do physical activity regularly (10), Group 2 Ironmen (10), Group 3 Students (11), Group 4 Elderly training (9), Group 5 Elderly control (10).

	Group 1 (Adult control)	Group 2 (Ironmen)	Group 3 (Students)	Group 4 (Elderly, training)	Group 5 (Elderly control)
Age (years)	33 ± 1.3	33 ± 2.4	22 ± 0.4	79 ± 1.6	76 ± 1.9
Weight (kg)	78 ± 2.8	74 ± 2.3	58 ± 2.9	73 ± 4.5	69 ± 5.1
Height (cm)	175 ± 1.5	175 ± 2.2	163 ± 0.025	157 ± 0.023	159 ± 0.029
BMI index (kg/m²)	25,47	24,17	21,83	29,62	27,29

4.2 Investigations

Static postural stability was measured during standing on a single force platform (Stabilometer, ZWE-PII) recording the Centre of Pressure (COP) displacement. Subjects stood barefoot on the platform, posturography was performed in first with the eyes open (EO) and then with the eyes closed (EC) in a quiet room. After the initial balance testing (pretest), the athletes took part in an ironman triathlon (3.8 km swimming, 180 km cycling and 42.195 km running; duration, 9–12 h). The after-exercise series of trials on the stabilometric platform began about 15 min from the end of the exercise (post-test 1) and was repeated 5 min later (post-test 2).

The elderly training group took part in an 8-week course of combined training, then posturographic measurements were repeated. To assess the functional mobility of the training participants, the Timed Up & Go (TUG) test was also applied, which means the time it takes

for a seated subject to stand, walk 10 ft (3 m), pass around an object, walk back to the chair and sit down again was recorded in seconds.

4.3 Ironman triathlon

The group 2, the athletes took part in an ironman triathlon (3.8 km swimming, 180 km cycling and 42.195 km running; duration, 9–12 h.

4.4 Combined balance training in the elderly

The Group 4, elderly subjects participated in combined training twice a week for 8 weeks in 45-min sessions. The exercise programme included combinations of lower extremity strength and flexibility exercises, static and dynamic balance exercises, and walking as an aerobic activity.

4.5 Data analysis

The sway path was calculated from data in AP and ML directions. The sway in both directions was subjected to spectral analysis. The frequency spectrum of the platform oscillations was calculated in the intervals of 0.1–0.3, 0.3–1, 1–3 Hz by fast Fourier transformation. All of the data were subjected to analysis of variance in order to make comparisons between the groups and the experimental situations, which constituted the independent variables. The post hoc test was the LSD multiple comparisons test. As concerns the TUG test, the Student t test was used to determine the level of difference. A level of significance of $P < 0.05$ was adopted throughout the data analysis.

5. Results

5.1. General effects of various physical activity on postural control

The main findings of the first part of the study were that the ironmen were significantly more stable and less dependent on vision for postural control than subjects who partook in regular physical activity.

5.2. Effects of extreme physical load on postural control

Furthermore, the endurance race caused significant increases in both the sway path in the A/P direction with EC. The second post-exercise trials indicated a trend in the decrease of postural changes. The frequency analysis also revealed some new findings, which were not significant in swaypath analysis. Thus at the low-frequency band, there were significant differences between the A/P and M/L power in ironmen in both visual conditions, but not in the control group, suggesting that this band might not be linked only with visual control. This

difference could be observed in this group at all frequency bands with EC, indicating a higher level of motor control in the M/L direction.

5.3. Age-related changes in postural control

The sway paths in both directions were significantly higher in the elderly subjects than in the young control group.

5.4. Influence of training on postural control of the elderly

The main findings were that the elderly who took part in the special training course exhibited a significant improvement in the functional performance test, and significant changes in the posturographic parameters. Thus, the training significantly increased the sway path in the ML direction without visual input. The frequency analysis revealed that the training increased the frequency power without visual control in the ML direction in both the low- and middle- frequency bands.

6. Discussion, Implementations

We have demonstrated that the exhaustive race significantly affects the ability of ironmen to maintain balance. Further studies of muscular activity, heart and breathing rates, and degree of dehydration, in parallel with posturography, are needed for a better understanding of the changes in postural control observed following the ironman triathlon.

In agreement with our hypothesis, our results indicated that the combined training exerted a positive effect on the balance performance of the participants, even at this advanced age and it is especially noteworthy that the improvement was in the risky ML direction and without visual control; however, these results may be specific to this type of population.

In both part of the study we emphasised the static balance investigation – form dynamic tests only the TUG test was used – we focused on the spectral analysis of frequency power, which proved to be a useful tool to understand the nature of postural control and the delicate effect of different type of physical activities on postural control.

The second part of the study is very important from the point of view of physicaltherapy profession, our method enables to measure objectively the positive effects of a balance training, providing scientific evidence for physiotherapists' work.

8. References

- Amiridis IG, Hatzitaki V, Arabatzi F (2003) Age-induced modifications of static postural control in humans. *Neuroscience Letters* 350:137-140
- Ángyán L, Teczely T, Ángyán Z. (2007) Factors affecting postural stability of healthy young adults. *Acta Phys. Hung.* 94:289-299,.
- Ángyán Lajos Dr. Az emberi test mozgástana - Motoros viselkedés (2005) Motio Pécs
- Brooke-Wavell K, Perret LK, Howarth PA, Haslam RA (2002) Influence of the visual environment on the postural stability in healthy older women. *Gerontology* 48: 293-297
- Brown M, Sinacore DR, Host HH (1995) The relationship of strength to function in the older adult. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 50 A (spec. number):55-59
- Bousset S, Duchene JL (1994) Is body balance more perturbed by respiration in seating than in standing posture? *Neuroreport* 5: 957-960
- Buchner DM, Beresford SA, Larson EB, LaCroix AZ, Wagner EH (1992) Effects of physical activity on health status in older adults. II. Intervention studies. *Annu Rev Public Health* 13:469-488
- Bugnariu N, Svestrup H (2006) Age-related changes in postural responses to externally- and self-triggered continuous perturbations. *Archives of Gerontology and Geriatrics* 42:73-89
- Campbell AJ, Borri MJ, Spears GF (1989) Risk factors for falls in a community-based prospective study of people 70 years and older. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 44:112-117
- Carpenter MG, Frank JS, Silcher CP (1999) Surface height effects on postural control: a hypothesis for a stiffness strategy for stance. *J Vestib Res* 9:277-286
- Carpenter MG, Frank JS, Silcher CP, Peysar GW (2001) The influence of postural threat on the control of upright stance. *Exp Brain Res* 138:210-218
- Collins JJ, De Luca CJ, Burrows A, Lipsitz LA (1995) Age-related changes in open-loop and closed-loop postural control mechanisms. *Exp Brain Res* 104:480-492
- Conforto S, Schmid M, Camomilla V, D'Alessio T, Cappozzo A (2001) Hemodynamics as a possible internal mechanical disturbance to balance. *Gait & Posture* 14: 28-35
- De Luca CJ, LeFever LS, McCue MP, Xenakis LA (1982) Control scheme governing concurrently active human motor units during voluntary contractions. *J Physiol (London)* 329:129-142
- Derave W, De Clercq D, Bouckaert J, Pannier J-L (2001) The influence of exercise and dehydration on postural stability. *Ergonomics* 41: 782-789
- Derave W, Tombeux N, Cottyn J, Pannier J-L, De Clercq D (2002) Treadmill exercise negatively affects visual contribution to static postural stability. *Int J Sports Med* 23: 44-49
- Dietz V (1992) Human neuronal control of automatic functional movements: interaction between central programs and afferent input. *Physiol Rev* 72: 33-69
- Douglas PS, O'Toole ML, Hiller WD, Hackney K, Reichek N (1987) Cardiac fatigue after prolonged exercise. *Circulation* 76: 1206-1213
- Douglas PS, O'Toole ML, Katz SE (1998) Prolonged exercise alters cardiac chronotropic responsiveness in endurance athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 38: 158-163
- Fujita T, Nakamura S, Ohue M, Fujii Y, Miyauchi A, Takagi Y, Tsugeno H (2005) Effect of age on body sway assessed by computerised posturography. *J of Bone and Mineral Metabolism* 23:152-156
- Galganski ME, Fuglewand AJ, Enoka RM (1993) Reduced control of motor output in a human hand muscle of elderly subjects during submaximal contractions. *J Neurophysiol* 69:2108-2115

- Gauchard GS, Gangloff P, Vouriot A, Mallie JP, Perrin PP (2002) Effects of exercise-induced fatigue with and without hydration on static postural control in adult human subjects. *Int J Neurosci* 112: 1191-1206
- Giacomini PG, Sorace F, Magrini A, Alessandrini M (1998) Alterations in postural control: the use of spectral analysis in stability measurement. *Acta Otolaryngol Ital* 18: 83-87
- Ginsburg GS, O'Toole M, Rimm E, Douglas PS, Rifai N (2001) Gender differences in exercise-induced changes in sex hormone levels and lipid peroxidation in athletes participating in the Hawaii Ironman triathlon. *Ginsburg-gender and exercise-induced lipid peroxidation. Clin Chim Acta* 305: 131-139
- Golomer E, Cremieux J, Dupui P, Isableu B, Ohlmann T (1999) Visual contribution to self-induced body sway frequencies and visual perception of male professional dancers. *Neurosci Lett* 267:189-192
- Golomer E, Dupui P, Monod H (1997) Sex-linked differences in equilibrium reactions among adolescents performing complex sensorimotor tasks. *J Physiol (Paris)* 91: 49-55
- Golomer E, Dupui P, Sereni P, Monod H (1999) The contribution of vision in dynamic spontaneous sways of male classical dancers according to student or professional level. *J Physiol (Paris)* 93: 233-237
- Hashiba M (1998) Transient change in standing posture after linear treadmill locomotion. *Jpn J Physiol* 48: 499-504
- Henry SM, Fung J, Horak FB (1998) Control of stance during lateral and anterior/posterior surface translations. *IEEE Trans Rehabil Eng* 6:32-42
- Hodges PW, Gurfinkel VS, Brumagne S, Smith TC, Cordo PC (2002) Coexistence of stability and mobility in postural control: evidence from postural compensation for respiration. *Exp Brain Res* 144: 293-302
- Holtzhausen LM, Noakes TD (1995) The prevalence and significance of post- exercise (postural) hypotension in ultramarathon runners. *Med Sci Sports Exerc* 27: 1595-1601
- Horak FB (1997) Clinical assessment of balance disorders. *Gait and Posture* 6:76-84
- Hue OA, Seynnes O, Ledrole D, Colson SS, Bernard PL (2004) Effects of a physical activity program on postural stability in older people. *Aging Clin Exp Res* 16:356-362
- Hunter IW, Kearney RE (1981) Respiratory components of human postural sway. *Neurosci Lett* 25: 155-159
- Johnston RB, Howard ME, Cawley PW, Losse GM (1998) Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. *Med Sci Sports Exerc* 30: 1703-1707
- Judge JO (2003) Balance training to maintain mobility and prevent disability. *Am J Prev Med* 25:150-156
- Judge JO, Lindsey C, Underwood M, Winsemius D (1993) Balance improvements in older women: effects of exercise training. *Phys Ther* 73:254-262
- Judge JO, Whiple RH, Wolfson LI (1994) Effects of resistive and balance exercises on isokinetic strength in older persons. *J Am Geriatr Soc* 42:937-946
- Kincl LD, Bhattacharya A, Succop P, Clark CS (2002) Postural sway measurements: a potential safety monitoring technique for workers wearing personal protective equipment. *Appl Occup Environ Hyg* 17: 256-266
- Kohen-Raz R, Himmelfarb M, Tzur S, Kohen-Raz A, Shub Y (1996) An initial evaluation of work fatigue and circadian changes as assessed by multiplate posturography. *Percept Mot Skills* 82: 547-557
- Krafczyk S, Schlamp V, Dietrich M, Haberhauer P, Brandt T (1999) Increased body sway at 3.5 - 8 Hz in patients with phobic postural vertigo. *Neuroscience Letters* 259:149-152
- Laughton CA, Slavin M, Katdare K, Nolan L, Bean JF, Kerrigan DC, Phillips E, Lipsitz LA, Collins J (2003) Aging muscle activity, and balance control: physiologic changes associated with balance impairment. *Gait and Posture* 18:101-108
- Laursen PB, Rhodes EC, Langill RH, McKenzie DC, Taunton JE (2002) Relationship of exercise test variables to cycling performance in an ironman triathlon. *Eur J Appl Physiol* 87: 433-440

- Lepers R, Bigard AX, Diard JP, Gouteyron JF, Guezennec CY (1997) Posture control after prolonged exercise. *Eur J Appl Physiol* 76: 55-61
- Lepers R, Maffiuletti NA, Rochette L, Brugniaux J, Millet GY (2002) Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. *J Appl Physiol* 92: 1487-1493
- Loram ID, Lakie M (2002) Human balancing of an inverted pendulum: position control by small, ballistic-like throw and catch movements. *J Physiol* 540:1111-1124
- Lord SR, Ward JA, Williams P, Anstey K (1994) Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women. *J Am Geriatr Soc* 42:1110-1117
- Maki BE, Holliday PJ, Topper AK (1994) A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. *J Gerontol Med Sci* 49:M72-84
- Maki BE, Holliday PJ, Topper AK (1991) Fear of falling and postural performance in elderly. *J Gerontol* 46:M123-131
- Maki BE, McIlroy WE (1996) Postural control in the older adult. *Clin Geriatr Med* 12:635-658
- Maki BE, McIlroy WE (1997) The role of limb movements in maintaining upright stance: the "change-in-support" strategy. *Phys Ther* 77:488-507
- Manchester D, Wollacott M, Zederbauer-hylton N, Marin O (1989) Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in older adult. *J Gerontol Med Sci* 44:M118-M127
- Mazzeo RS, Cavanagh P, Evans WJ, Fiatarone M, Hagberg J, McAuley E, Startzell J (1998) ACSM position stand on exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 30:992-1008
- McClearnaghan BA, Williams HG, Dickerson J, Dwoda M, Thombs L, Eleazer P (1995) Spectral characteristics of aging postural control. *Gait and Posture* 3:123-131
- Millet GY, Lepers R, Maffiuletti N, Babault N, Martin V, Lattier G (2002) Alterations of neuromuscular function after an ultramarathon. *J Appl Physiol* 92: 486-492
- Mitchell SL, Collins JJ, De Luca CJ, Burrows A, Lipsitz LA (1995) Open-loop and closed-loop postural control mechanisms in Parkinson's disease: increased mediolateral activity during quiet standing. *Neurosci Lett* 197:133-136
- Nardone A, Tarantola A, Giordano A, Schieppati M (1997) Fatigue effects on body balance. *EEG Clin Neurophysiol* 105: 309-320
- Nardone A, Tarantola J, Galante M, Schieppati M (1998) Time course of stabilometric changes after a strenuous treadmill exercise. *Arch Phys Med Rehabil* 79: 920-924
- Nashner L, McCollum G (1985) The organisation of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis. *Behav Brain Sci* 8:135-172
- Nussbaum MA (2003) Postural stability is compromised by fatiguing overhead work. *AIHA Journal* 64: 56-61
- Nyland JA, Shapiro R, Caborn DN, Nitz AJ, Malone TR. (1997) The effect of quadriceps femoris, hamstring, and placebo eccentric fatigue on knee and ankle dynamics during crossover cutting. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1997 Mar;25(3):171-84.
- Onambele GL, Narici MV, Maganaris CN (2006) Calf muscle-tendon properties and postural balance in old age. *J Appl Physiol* 100:2048-2056
- Oppenheim U, Kohen-Raz R, Alex D, Kohen-Raz A, Azarya M (1999) Postural characteristic of diabetic neuropathy. *Diabetes Care* 22: 328-332
- Rifai N, Douglas PS, O'Toole M, Rimm E, Ginsburg GS (1999) Cardiac Troponin T and I, Electrocardiographic wall motion analyses, and ejection fractions in athletes participating in the Hawaii Ironman Triathlon. *Am J Cardiol* 83: 1085-1089
- Schmidt RA (1975) A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol Rev* 82:225-260

- Schieppati M, Hugon M, Grasso M, Nardone A, Galante M (1994) The limits of equilibrium in young and elderly normal subjects and in Parkinsonians. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 93: 286-298
- Sheldon JH (1963) The effect of age on the control of sway. *Gerontol Clin (Basel)* 5:129-138
- Vuillerme N, Danion F, Forestier N, Nougier V (2002) Postural sway under muscle vibration and muscle fatigue in humans. *Neurosci Lett* 333: 131-135
- Vuillerme N, Danion F, Marin L, Boyadjian A, Prieur J, Weise I, Nougier V (2001) The effect of expertise in gymnastics on postural control. *Neurosci Lett* 303: 83-86
- Vuillerme N, Nougier V, Prieur J (2001) Can vision compensate for a lower limbs muscular fatigue for controlling posture in humans? *Neurosci Lett* 308: 103-106
- Vuillerme N, Nougier V, Teasdale N (2000) Effects of reaction time task on postural control in humans. *Neurosci Lett* 291: 77-80
- Whiple RH, Wolfson RI, Amerman PM (1987) The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents: an isokinetic study. *J Am Geriatr Soc* 35:13-20
- Whyte G, Lumley S, George K, Gates P, Sharma S, Prasad K, McKenna WJ (2000) Physiological profile and predictors of cycling performance in ultra-endurance triathletes. *J Sports Med Phys Fitness* 40: 103-109
- Williams HG, McCleanaghan BA, Dickerson J (1997) Spectral characteristic of postural control in elderly individuals. *Arch Phys Med Rehabil* 78:737-744
- Winter DA, Prince F, Frank JS, Powell C, Zabjek KF (1996) Unified theory regarding A-P and M-L balance in quiet stance. *J Neurophysiol* 75:2334-2343
- Wolfson R, Judge J, Whipple R, King M (2005) Strength is a major factor in balance, gait, and the occurrence of falls. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 50A:64-67
- Yaggie JA, McGregor SJ (2002) Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits. *Arch Phys Med Rehabil* 83: 224-228
- Yarasheski KE (2003) Exercise, aging, and muscle protein metabolism. *J Gerontol* 58 A:918-922

Publications:

- Nagy Edit**, Fehérné Kiss Anna A poszturális kontroll fejleszhetősége idős korban *Magyar Orvos* 2007 XV évf. 2007/11, 28-32
- Nagy Edit**, Feher-Kiss Anna, Barnai Maria, Domjan-Preszner Andrea, Angyan Lajos, Horvath Gyöngyi Postural control in elderly subjects participating in balance training *European Journal of Applied Physiology* 2007 May;100(1):97-104. Epub 2007 Feb 28. Impact factor: 1.6
- Nagy Edit**, Toth Kalman, Janositz Gabor, Kovacs Gyula, Feher-Kiss Anna, Angyan Lajos, Horvath Gyöngyi. Postural control in athletes participating in ironman triathlon. *European Journal of Applied Physiology* 92: 407-414, 2004. Impact factor: 1,33
- Nagy Edit**, Tóth Kálmán, Janositz Gábor, Kovács Gyula, Fehérné Kiss Anna, Horváth Gyöngyi Az ironman triatlon hatása a testtartás kontrollra / The effect of ironman triathlon on postural control. *Magyar Sporttudományi Szemle* 2/3: 43-47, 2004.

Congresses:

- Nagy E.**, Fehérné Kiss A., Horváth Gy.: A poszturális kontroll jellegzetességei idős korban / Postural control characteristics in elderly persons. *Magyar Élettani Társaság LXIX. Vándorgyűlése* 2005. június 2-4, Budapest Hungary
- Nagy E.**, Domján-Preszner A., Fehér-Kiss A., Horváth Gy. The effect of physical training on postural control. *5th Mediterranean Congress of Physical & Rehabilitation Medicine* September 30 October 04. 2004, Antalya, Turkey
- Nagy E.**, Fehérné Kiss A., Horváth Gy. Az egyensúlyfejlesztés lehetőségei idős korban. *Magyar Gerontológiai Társaság Kongresszusa*, Szeged 2004. március 26-27.
- Nagy E.**, Fehérné Kiss A., Mátyás R., Ór A., Horváth Gy. Aerob tréning hatása az idős emberek egyensúlyi paramétereire. *A Magyar Gyógytornászok Társasága IV. Kongresszusa*, Keszthely 2003. október 16-17-18.
- Nagy E.**, Tóth K., Kovács Gy., Janositz G., Fehérné Kiss A., Horváth Gy. Az ironman triatlon hatása a testtartás kontrollra. *IV. Országos Sporttudományi Kongresszus*, Szombathely, 2003. október 17-18.
- Feher Kiss A., **Nagy E.**, Horvath Gy: The Spectral Analysis Of Sway In Hemiparetic Patients. *2nd World Congress of International Society of Physical and Rehabilitation Medicine*, 18-22 May 2003, Prague, Czech Republic
- Nagy E.**, Toth K., Kovacs Gy., Janositz G., Horvath Gy., Feherne Kiss A.: Effect of endurance race on motor control performance of ironman. *European Congress of Sport Medicine* 14-16 May 2003 Hasselt, Belgium
- Nagy E.**, Horvath Gy., Feherne Kiss A.: Postural control after short-lasting extensive dynamic training. *International Congress and Exhibition of CSP*, 10-13 Oct. 2002 Birmingham, UK
- Laluskáné Ritz J., **Nagy E.** Ápolók és gyógytornászok együttműködése a gondozottak rehabilitációjában a minőségirányítási rendszer tükrében. *Együtt-Működés I. Regionális rehabilitációs kongresszus* Szeged 2002 okt.24-25
- Toth K., Kovacs Gy., Janositz G., Horvat Gy., **Nagy E.**: Controlling posture in humans: How and why does it change respectively monitoring the time-course effect of extensive dynamic training. *4th CEOC (Central European Orthopaedic Congress)* 29 May - 01 June, 2002 Cavtat/Dubrovnik, Croatia
- Nagy E.**, Toth K., Kovacs G., Janositz G., Horvath G.: The time-course effect of extensive dynamic training on controlling posture in humans. *XXVII. FIMS World Congress of Sport Medicine* June 5-9, 2002 Budapest, Hungary

Other publications:

- Horvath G, Kekesi G, **Nagy E.**, Benedek G. The role of TRPV1 receptors in the antinociceptive effect of anandamide at spinal level. *Pain*. 134 (2008) 277-284
- Nagy E.**, Feher-Kiss A., Prezenszki B., Varkonyi T. The characteristics of postural control in patients with type II diabetes *International Journal of Rehabilitation Research* 30 Suppl. 1 79-80 August 2007
- Feher-Kiss A., **Nagy E.**, Horvath Gy Trunk assessment in weight bearing positions under normal and pathological conditions *International Journal of Rehabilitation Research* 30 Suppl. 1 64-65 August 2007

Nagy E., Fehérné Kiss A.: Neurális plaszticitás és a Bobath szemlélet *Mozgásterápia 2* 7-9 2006

Barnai M., **Nagy E.**, Rázsó K., Domján A., Horváth Gy.: Az akaratlagos apnoe idő változása az életkor és a fizikai kondíció függvényében *Mozgásterápia 2* 10-15 2006

Nagy Edit: Az ICF modellje (beszámoló, és fordítás) *Mozgásterápia 2* 24-27 2006

Barnai M., Domján A., Varga J., Somfay A., **Nagy E.**, Horváth Gy. *Exercise capacity of the 80 age-old people*. microCAD: 1-6, 2006.

Csoka I., Csanyi E., Zapantis G., **Nagy E.**, Feher-Kiss A., Horvath G., Blazso G., Eros I. In vitro and in vivo percutaneous absorption of topical dosage forms: case studies. *Int. J. Pharm.*; 291: 11-9, 2005.

Nagy Edit A funkcionális egyensúly vizsgálata egészséges felnőtteken *Mozgásterápia 4*:13-17, 2002.

Congresses:

Nagy Edit, Fehérné Kiss Anna: Plaszticitás, mint a motoros tanulás alapja és a Bobath szemlélet, *Orvosi Rehabilitáció és Fizikális Medicina Magyarországi Társasága XXVII. Vándorgyűlése* Budapest, 2008. szeptember 4-6.

Fehérné Kiss Anna **Nagy Edit**: A motoros tanulás, mint a plaszticitás egyik formája és a Bobath szemlélet *Orvosi Rehabilitáció és Fizikális Medicina Magyarországi Társasága XXVII. Vándorgyűlése* Budapest, 2008. szeptember 4-6.

Nagy E., Feher Kiss A., Horvath Gy., Barnai M., Varkonyi T.: The characteristics of the postural control in patients with type 2 diabetes *World Congress of Physical Therapy* 2-6 June 2007, Vancouver, Canada

Feher Kiss A., **Nagy E.**, Barnai M., Varkonyi T., Horvath Gy.: Connection between postural control and sensory neuropathy in patients with type 1 diabetes *World Congress of Physical Therapy* 2-6 June 2007, Vancouver, Canada

Bornemisza E., Domjan-Preszner A., Barnai M., **Nagy E.**, Horvath Gy.: Sacroiliac joint pain and the weight-bearing *6th Mediterranean Congress of PRM* 18- 21 October 2006, Vilamoura, Algarve, Portugal.

Nagy E., Kiss-Feher A., Domjan-Preszner A., Bornemisza E., Horvath Gy.: The effect of type 1 diabetes on the postural control *6th Mediterranean Congress of PRM* 18- 21, October 2006, Vilamoura, Algarve, Portugal.

Domjan-Preszner A., **Nagy E.**, Bornemisza E., Horvath Gy.: The effect of PNF training on postural control – Case report *6th Mediterranean Congress of PRM* 18- 21 October 2006, Vilamoura, Algarve, Portugal.

Nagy E., Fehérné Kiss A., Várkonyi T., Lengyel Cs., Horváth Gy.: A poszturális kontroll jellegzetességei 1 típusú diabetes mellitus esetén /The characteristics of the postural control in patients with type I diabetes *Magyar Élettani Társaság LXX. Vándorgyűlése* 2006. június 7-9. Szeged, Hungary

Bornemisza É., Presznerné Domján A., Barnai M., **Nagy E.**, Horváth Gyöngyi: A medence aszimmetriák és a súlyviselés *Magyar Élettani Társaság LXX. Vándorgyűlése* Szeged 2006. június 7-9.

Barnai M., Várhelyi G., **Nagy E.** A helyreállási időt befolyásoló tényezők *Magyar Élettani Társaság LXX. Vándorgyűlése* Szeged 2006. június 7-9.

Bornemisza É., Presznerné Domján A., Barnai M., **Nagy E.**: A medence aszimmetriák és a súlyviselés *SZTE EFK 15 éves jubileumi kongresszus* Szeged 2006 április 27-28

Nagy E., Fehérné Kiss A.: Plaszticitás – plaszticitás! *SZTE EFK 15 éves jubileumi kongresszus* Szeged 2006 április 27-28

Fehérné Kiss A., **Nagy E.**: Spaszticitás – Spaszticitás? *SZTE EFK 15 éves jubileumi kongresszus* Szeged 2006 április 27-28

Barnai M., **Nagy E.**, Rázsó K., Domján A., Horváth Gy.: Az akaratlagos apnoe idő és a fizikai teljesítmény összefüggései *SZTE EFK 15 éves jubileumi kongresszus* Szeged 2006 április 27-28

Bornemisza É., **Nagy E.**, Goda A., Kálmán G.: A blokkolt térdízület hatása a fékezőerőkre és a térdízületi szögváltozásokra a járás támaszkodási fázisában *SZTE EFK 15 éves jubileumi kongresszus* Szeged 2006 április 27-28

Presznerné Domján A., Laluska J., Liska B., **Nagy E.**: PNF technikák alkalmazása az egyensúly fejlesztésére – esetismertetés *SZTE EFK 15 éves jubileumi kongresszus* Szeged 2006 április 27-28

- Fehér Kiss A., **Nagy E.**, Horváth Gy.: Trunk elongation and shortening during weight bearing in standing in healthy and hemiparetic individuals. *Evidence for Stroke Rehabilitation Conference* 26-28 April 2006, Göteborg, Sweden,
- Barnai M., Domján A., Varga J., Somfay A., **Nagy E.**, Horváth Gy.: Exercise capacity of the 80 age-old people. *microCAD 2006 International Scientific Conference 2006. márc.16-17*, Miskolc, Hungary
- Nagy E.**, Fehérné Kiss A. Agyi plaszticitás és a Bobath szemlélet – nemcsak neurológiai területen dolgozóknak. *A Magyar Gyógytornászok Társasága V. Kongresszusa* Sopron 2005. november 17-19.
- Bornemisza É., **Nagy E.**, Prezenszki B., Goda A. Járáselemzés I. A járás sebességének hatása a normál járás kinetikájára, kinematikájára a támaszkodási fázisban. *A Magyar Gyógytornászok Társasága V. Kongresszusa* Sopron 2005. november 17-19.
- Bornemisza É., **Nagy E.**, Kálmán G., Temesi A. Járáselemzés II. A blokkolt térdízület hatása a járás kinetikájára, kinematikájára a támaszkodási fázisban. *A Magyar Gyógytornászok Társasága V. Kongresszusa* Sopron 2005. november 17-19.
- Nagy E.**, Bornemisza É., Gelányi L., Bódi I., Gellai N. Járáselemzés III. Patológias járás kinetikája, kinematikája a támaszkodási fázisban – esetelemzés *A Magyar Gyógytornászok Társasága V. Kongresszusa* Sopron 2005 november 17-19.
- Fehérné Kiss A., **Nagy E.**, Horváth Gy.: Minőség és mennyiség a hemiparetikus betegek vizsgálatában. *A Magyar Gyógytornászok Társasága V. Kongresszusa* Sopron 2005. november 17-19.
- Fehér Kiss A., **Nagy E.**, Horváth Gy.: Trunk alignment changes during weight shifting in patients with hemiparesis. *21st Annual General Meeting of IBITA* September 9 - 11, 2005 Leeds, UK
- Fehér-Kiss A., **Nagy E.**, Horváth Gy.: Measuring of the quality of weight bearing in patients with hemiparesis. *Mediterranean Congress of Physical & Rehabilitation Medicine*, September. 30 October 04 2004 Antalya, Turkey
- Danka K., Várkonyi T., **Nagy E.**, Horváth Gy. Gyöngyi I-es típusú diabéteszes betegek statikus egyensúlyának vizsgálata. *A Magyar Gyógytornászok Társasága IV. Kongresszusa*, Keszthely 2003. október 16-17-18.
- Halász K., Váró A., Sipka R., **Nagy E.**, Horváth Gy. Az artéria carotis interna jelentős szűkületének hatása a statikus egyensúlyra. *A Magyar Gyógytornászok Társasága IV. Kongresszusa*, Keszthely 2003. október 16-17-18.
- Fehérné Kiss A., **Nagy E.**, Varga M.: A Bobath koncepció helyzete a magyar fizioterápiában. *MGYT Neurológiai munkacsoport tudományos ülése* Budapest 2003. március 28.
- Nagy E.** A functional reach test jelentősége a gyógytornász munkájában. *SZAB Tudományos Ülése*. Szeged Február 19. 2002.