

# A talpi mechanoreceptorok jelentősége a poszturális kontrollban

(doktori értekezés tézisei)

**Presznerne Domján Andrea PhD**

Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar

Egészségtudományi Doktori Iskola

e-mail: andrea@etszk.u-szeged.hu

## Bevezetés

Az egyensúly fenntartása hétköznapi, funkcionális mozgásaink, fizikai aktivitásunk alapvető feltétele. Az emberi test egyensúlyi állapotának szabályozása és fenntartása összetett folyamat, mely magába foglalja a szenzoros információk (vizuális, vesztibuláris, szomatoszenzoros rendszerek), a csont és izomrendszer, valamint a központi és perifériás idegrendszer összehangolt működését. Annak ellenére, hogy többszörös szenzoros bemenet áll a központi idegrendszer rendelkezésére, az általában egyidejűleg csak egyféle információra hagyatkozik az orientáció során, az információ pontosságán alapuló súlyozás révén.

A test pozíciójában nyugodt állás során bekövetkező változások és a talpi nyomásviszonyok változása összefüggenek egymással, így anatómiai helyzetüknek köszönhetően a talp bőrében található mechanoreceptorok részletes információt nyújtanak az alátámasztási felület tulajdonságairól, valamint a test helyzetéről és mozgásáról az alátámasztási felszínhez viszonyítva.

Az utóbbi években az egyensúllyal foglalkozó tudományos kutatások fókuszába egyre inkább a szomatoszenzoros rendszer, azon belül is a láb, a talp bőrében található mechanoreceptorok poszturális kontrollban betöltött szerepe került. Számos tanulmány igazolta a talp bőrében elhelyezkedő mechanoreceptorok részvételét a poszturális kontroll folyamatában, továbbá a talpi mechanikai stimuláció kedvező hatását a poszturális kontrollra, ugyanakkor nem tisztázott teljes egészében e stimulációs módok pontos hatásmechanizmusa. Nem találtunk a vonatkozó szakirodalomba adatot arra, hogy a manuális talpi ingerlés ízületi mobilizáció nélkül, mint mechanikai stimuláció önmagában, hogyan hat a poszturális stabilitásra, továbbá hatással van-e a talpi mechanoreceptorok érzékenységre, a talpi taktilis érzésküszöbre.

A szomatoszenzoros rendszert érintő korfüggő változásokat vizsgálatok igazolják. Nem találtunk tanulmányt arra vonatkozóan, hogy mechanikai ingerléssel befolyásolható-e a talpi érzékenység idős korban, továbbá a romló szenzoros és motoros funkciók mellett a talp manuális stimulációjával javíthatóak-e az egyensúlyi paraméterek.

## Célkitűzések

1. Munkánk célja a szomatoszenzoros rendszer, azon belül a talpi mechanoreceptorok poszturális kontrollban betöltött szerepének igazolása volt, egészséges fiatal és idős alanyok bevonásával. Feltételeztük, hogy a talpon alkalmazott mechanikai ingerlés hatására mindkét vizsgálati csoport egyensúlyi paraméterei javulnak, továbbá, hogy a mechanikai stimuláció hatása a vizuális információ hiányában érvényesül mindkét vizsgálati csoportban, azaz vizsgálatunk eredményei alátámasztják a szenzoros újrásúlyozás elméletét.
2. Vizsgálatunk az időskori, az egyensúlyi paramétereket és a talpi érzékenységet egyaránt érintő változások feltárását is célozta, feltételeztük, hogy az idős vizsgálati csoport szenzoros integrációjának és taktilis küszöbének vizsgálati eredményei alátámasztják a szenzoros rendszerek életkorfüggő változását.
3. Célunk volt továbbá kideríteni azt, hogy a manuális ingerlés milyen hatást gyakorol a talpi taktilis érzékenységre, igazolható-e olyan élettani változás, ami magyarázatot ad a stimuláció által előidézett pozitív egyensúlyi változásokra.

## Módszerek

### *Résztevők.*

A vizsgálatban 50 [34 nő, 16 férfi, átlagéletkor  $23 \pm 2$ ; átlagtestsúly  $67 \pm 9.5$  kg, átlagtestmagasság  $170 \pm 7.1$  cm, átlag BMI  $22.81 \pm 2.401$  kg/m<sup>2</sup> (átlag  $\pm$  Standard Error)] egészséges, fiatal önkéntes,

továbbá 50 [44 nő, 6 férfi, átlagéletkor  $66 \pm 5$ ; átlagtestsúly  $80 \pm 16.56$  kg, átlagtestmagasság  $163 \pm 8.34$  cm, átlag BMI  $29.85 \pm 4.53$  kg/m<sup>2</sup> (átlag  $\pm$  Standard Error)] egészséges, idős önkéntes vett részt. Egy résztvevő sem szenvedett akut betegségben, diagnosztizált neurológiai, vagy csont-, izomrendszeri megbetegedésben, nem volt ismert egyensúlyzavaruk, vagy károsodásuk és nem szedtek az egyensúlyt befolyásoló gyógyszereket. Valamennyi önkéntest tájékoztattuk a vizsgálat céljáról és folyamatáról, amely megfelelt intézményünk etikai előírásainak.

### ***Vizsgálati módszerek***

#### ***A statikus egyensúlyi paraméterek vizsgálata***

A testtömeg-középpont (TTK) erőmérő platformra vetített, horizontális síkú kitérését a NeuroCom Basic Balance Masterrel, a CTSIB program segítségével mértük fel. A CTSIB négy vizsgálati kondíciót tartalmaz: nyitott szem, kemény felszín; nyitott szem, szivacs felszín; csukott szem, kemény felszín; csukott szem, szivacs felszín.

A statikus egyensúlyi paramétereket nyugodt állás közben fix erőmérő platformon vizsgáltuk. A TTK kitérését mind anteroposterior (AP), mind mediolaterális (ML) irányokban, valamennyi vizsgálati kondícióban megmértük. A TTK kitérését minden vizsgálati kondícióban háromszor, alkalmanként 10 másodpercen át rögzítettük. Vizsgálati alanyaink mezítláb álltak az erőmérő platformon, először kemény felszínen nyitott és csukott szemmel, majd szivacs felszínen (NeuroCom, 46 x 46 x 13 cm) nyitott és csukott szemmel. A szivacs felület alkalmazásával célunk a külső alátámasztás felől érkező taktilis és nyomási információk mennyiségének és pontosságának csökkentése volt.

Az egyensúlyvizsgálat során alanyaink nyugodt, kényelmes álló pozícióban helyezkedtek el a platformon, két karjuk lazán a törzs mellett, előre tekintettek. A vizuális információk nélkül végzett mérések alatt megkértük őket, hogy csukják be a szemüket. A lábak pozícióját a NeuroCom platform jelzései alapján állítottuk be, a sarkak középvonalának távolsága 22 és 30 cm között változott, a vizsgálati alany testmagasságától függően.

#### ***A talpi taktilis érzésküszöb vizsgálata***

A SenseLab Aesthesiometer segítségével vizsgáltuk alanyaink talpi taktilis küszöbét. A meghatározott nominális erőt képviselő nylon monofilamentumok segítségével állapítottuk meg azt a legkisebb erőt, amivel a filamentum szálát a talp bőréhez nyomva, azt még érzi a vizsgálati alany. A taktilis küszöböt a manuális talpi ingerlést megelőzően és azt követően azonnal is meghatároztuk. A vizsgálatot a talp 6 pontján végeztük el - sarok, laterális talp él középső harmada, I. MTP, III. MTP, V. MTP, és a hallux párna.

#### ***A talpi mechanoreceptorok stimulálása***

##### ***Stimuláló felület***

Egy stimuláló hatású felület azonnali hatásának vizsgálata céljából egy speciális, vékony, gumitüskékkel ellátott felületet (a tüskék sűrűsége: 5 tüske/cm<sup>2</sup>, egy tüske magassága 7mm, ármérője 2mm) használtunk a statikus egyensúlyi paraméterek vizsgálata során, mely felületet a platformra, illetve a platformon elhelyezett szivacsra helyeztünk. Vizsgálatai alanyaink nem számoltak be kellemetlen vagy kényelmetlen érzésről a tüskés felület alkalmazása során. A tüskés felszín alkalmazása mellett megmértük a TTK kitérését mind kemény, mind szivacs felszínen, nyitott és csukott szemmel egyaránt. Minden kondícióban 3 mérést végeztünk, a mérések 10 másodpercen át tartottak.

##### ***Manuális stimuláció***

A stimulálás során alkalmazott manuális technika statikus és csúszó nyomó fogásokból, dörzsölésből állt a lábak talpi felszínén, különösen a sarok és a metatarsus fejek területén, tehát a lábak támaszkodási pontjain. A talpi ingerlés 10 percen át tartott, egyidejűleg mindkét talpat stimuláltuk, eközben alanyunk kényelmes ülő helyzetben helyezkedett el, lábait alátámasztottuk. A stimulációt követően 20 másodpercen át nyugodtan állt alanyunk az egyensúlyvizsgálat előtt, hogy elkerüljük a hirtelen felállás vizsgálati eredményekre gyakorolt negatív hatását. A statikus egyensúlyi paramétereket a manuális ingerlés előtt és után megmértük. A stimuláció előtt mért értékeket tekintettük alapadatoknak, ezek szolgáltak kontroll adatként a vizsgálat során.

## Statistikai analízis

### Talpi taktilis küszöb

A monofilamentumok átmérőjének megfelelően nominális nyomóerő diszkrét szám, így a talpi régióknét mért minimális nominális erő mediánját határoztuk meg és tekintettük alanyaink talpi taktilis küszöbének. A Statistica 8. programot, a Wilcoxon Signed Ranks tesztet használtuk a fiatal és idős csoport taktilis érzésküszöbének a normál talpi taktilis küszöbvel (0,21 g) történő összehasonlításához, valamint a manuális stimulációt megelőzően és azt követően mért talpi taktilis küszöb összehasonlítására.

### Lengési út

A TTK erőmérő platform által, század-másodpercenként rögzített helyzetéből a TTK kitérését számszerűsítő lengési utat számoltunk valamennyi szenzoros kondícióban. A lengési utat mind ML ( $x$ ), mind AP ( $y$ ) irányban a következő képlet (1 és 2) alapján számoltuk, ahol  $n$  a vizsgált alanyok száma,  $i$  a számozás,  $s_x$  a TTK kitérésének hossza AP irányban és  $s_x$  laterális, azaz ML irányban:

$$s_x = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2} \quad (1)$$

$$s_y = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(y_{i+1} - y_i)^2} \quad (2)$$

A kapott adatokat variancia analízisnek vetettük alá a Statistica program segítségével, hogy összehasonlítsuk a különböző stimuláció típusokat és a vizsgálati kondíciókat, mint független változókat. Két-utas ANOVA segítségével analizáltuk a lengési adatokat kemény és szivacs felszínen a fő hatások igazolására, továbbá az interakciók kimutatására a két vizuális faktor (nyitott és csukott szem) és a három stimuláció faktor (alapadatok – stimuláció nélkül, manuális ingerlés, tüskés felület) között. Post hoc összehasonlításakor a Newmann-Keuls tesztet használtuk. Az adatelemzés során  $p < 0,05$  szignifikancia szintet fogadtunk el.

## Eredmények

### *A 10 perces manuális stimuláció és a stimuláló felület hatása az egyensúlyi paraméterekre kemény és szivacs felszínen a fiatal vizsgálati csoportban*

A kiinduló mérések során a vizuális információ főhatását észleltük mindkét felszínen mindkét irányban (AP  $p < 0,001$ ; ML  $p < 0,001$ ), azaz a vizuális információk hiányában szignifikánsan megnőtt a lengési út. Ezek a változások kemény felszínen eltűntek a manuális ingerlést követően mind AP, mind ML irányban, a tüskés felület alkalmazásakor pedig ML irányban. Eredményeink szerint szignifikáns interakció igazolódott a stimuláció és a vizuális információ között mind AP ( $p < 0,001$ ), mind ML ( $p < 0,001$ ) irányban kemény felszínen, azaz a mechanikai stimuláció hatása a vizuális információ hiányában érvényesült. Ugyanakkor szivacs felszínen az analízis nem igazolt interakciót a stimuláció és a vizuális információ között.

Kemény felszínen, csukott szemmel vizsgálva a poszturális stabilitást, a manuális talpi ingerlés főhatását észleltük mind AP ( $p < 0,001$ ), mind ML ( $p < 0,001$ ) irányban, azaz a kiinduló mérés adataival összehasonlítva szignifikánsan csökkent a lengési út.

A stimuláció további főhatásaként jelent meg, hogy a tüskés felület alkalmazása szignifikánsan csökkentette a lengési utat mindkét irányban AP ( $p < 0,001$ ), ML ( $p < 0,001$ ), amikor a vizuális információ nem volt elérhető. Ez a hatás ML irányban volt jelentősebb, a tüskés felület hatása kompenzálta a vizuális információk hiányát. Szivacs felszínen a tüskés felület nem befolyásolta a lengési utat. Az általunk alkalmazott stimulációk egyike sem okozott változást a lengési útban vizuális információk mellett sem AP, sem ML irányban.

### *A 10 perces manuális stimuláció és a stimuláló felület hatása az egyensúlyi paraméterekre kemény és szivacs felszínen az idős vizsgálati csoportban*

Kemény felszínen stimuláció nélkül vizsgálva a poszturális stabilitás alakulását, a vizuális információ főhatása igazolódott, a szem becsukása jelentősen növelte a lengési utat AP irányban ( $p < 0,004$ ), ez a szignifikáns növekedés azonban a manuális ingerlést követően már nem látható, azaz a talpi stimuláció részben pótolta a hiányzó vizuális információt.

Szivacs felszínen mindkét irányban és valamennyi stimulációs kondíció esetén igazolódott a vizuális információ főhatása, azaz a szem becsukására szignifikánsan növekedett a lengési út. A manuális ingerlést követően, csukott szemmel vizsgálva mindkét irányban AP ( $p < 0,032$ ), ML ( $p < 0,014$ ) megfigyelhető a talpi manuális stimuláció főhatása, azaz a kiinduló adatokkal összehasonlítva szignifikánsan csökkent a lengési út.

A stimuláló, tüskés felület nem bizonyult hatékonynak, egyik felszínen sem csökkentette a kitérést. Az alkalmazott stimulációk egyike sem okozott jelentős változást a lengési útban vizuális információk mellett, sem AP, sem ML irányban.

A fiatal és idős vizsgálati csoport talpi taktilis érzékenysége és annak változása a manuális stimulációt követően

A két csoport talpi tapintási érzékszűbét számszerűsítő nominális nyomóerőt összehasonlítva igazolódott, hogy az egészséges, ép szomatoszenzóriummal rendelkező idős alanyok talpi érzékenysége minden vizsgált talpi ponton jelentősen csökkent a fiatal alanyok talpi érzékenységéhez képest, azaz a mért, még éppen érzékelt legkisebb nyomóerő az idősek esetén lényegesen magasabb, a talp bőrében elhelyezkedő mechanoreceptorok érzékszűbete megemelkedett.

A fiatal vizsgálati csoportban a manuális ingerlés hatására a talp valamennyi vizsgált pontján szignifikánsan csökkent a még érzékelt nominális nyomóerő (I. MTP  $p < 0,002$ ; hallux  $p < 0,002$ ; III. MTP  $p < 0,000$ ; V. MTP  $p < 0,011$ ; laterális  $p < 0,000$ ; sarok  $p < 0,001$ ), azaz a talp egészén a tapintási érzékszűbő csökkenése, a talpi érzékenység fokozódása igazolódott.

Az idős vizsgálati csoportban a manuális ingerlést követően a talp három vizsgált pontján szignifikánsan csökkent a taktilis érzékszűbő (I. MTP  $p < 0,018$ ; hallux  $p < 0,026$ ; V. MTP  $p < 0,041$ ), míg a másik három ponton bekövetkezett csökkenés nem szignifikáns. Eredményeink szerint a stimuláció hatására részben fokozódott a talp taktilis érzékenysége.

### **Megbeszélés és következtetések**

Vizsgálatunk igazolta, hogy a talp 10 perces manuális stimulációja megnöveli az alátámasztási felszín felől érkező nyomási információk jelentőségét a poszturális kontroll során, ezáltal facilitálva a stabilitást. Eredményeink szerint a talp manuális stimulációja javulást eredményezett a poszturális kontrollban, ha a vizuális információ nem volt hozzáférhető, tehát a plantáris mechanoreceptorok 10 percen át tartó manuális stimulálása képes részlegesen kompenzálni a vizuális információ hiányát, továbbá a szivacs alátámasztási felszín felől érkező pontatlan mechanikai információ zavaró jellegét. Vizsgálatunkban a lengési út csökkenése a csukott szemes kondícióban, a manuális stimulációt követően, a központi idegrendszer alkalmazkodó mechanizmusát igazolja, amikor is a facilitált plantáris mechanoreceptorokból érkező információkat, mint alternatív szenzoros bemenetet használta a poszturális stabilitás és orientáció fenntartásához.

Idős alanyaink esetében, szemben a fiatalokkal, a manuális stimuláció hatékonysága leginkább szivacs felszínen vizsgálva mutatkozott meg. A talp manuális stimulációja csukott szemmel, szivacs felszínen vizsgálva mindkét irányban szignifikánsan csökkentette a lengési utat. Úgy véljük, ez az eredmény alátámasztja idős alanyaink esetén a vesztibuláris rendszer öregedését, hiszen abban a kondícióban tudták legjobban hasznosítani a manuális stimuláció hatását, ahol csak a vesztibuláris rendszerből érkező információ állt rendelkezésükre.

Eredményeink tehát az idős csoport esetén is jelentős interakciót mutatnak a manuális ingerlés és a vizuális kondíció között, igazolják a poszturális stabilitás befolyásolásának lehetőségét, továbbá alátámasztják a szenzoros újrásúlyozás fennállását idős korban is, annak ellenére, hogy a korfüggő változások következményeként a szenzoros információk pontatlanok, vagy csökkentek.

Eredményeink szerint, fiatal korban egy tüskés felület képes hozzájárulni a statikus egyensúlyi paraméterek javulásához kemény alátámasztási felszínen. Ugyanakkor, szemben a manuális ingerléssel, a tüskés felület hatástalannak bizonyult szivacs felszínen, illetve idős korban. A rövid ideig ható és kevésbé intenzív behatás nem volt képes kompenzálni a fiatalok esetén a szivacs felszín nyomási impulzusokat lecsökkentő tulajdonságát. Idős alanyaink számára a stimuláló felület által biztosított szomatoszenzoros információ a rövid hatóidő következtében hatástalan maradt, ami összefüggésbe hozható a korfüggő csökkent perifériás szenzitivitással.

Fiatal alanyaink esetén alacsony taktilis küszöböt mértünk kiinduló adatként, mely minden vizsgálati ponton szignifikánsan csökkent a mechanikai stimulációt követően. Eredményeink igazolják tehát azt a



feltételezésünket, miszerint a manuális stimuláció a talpi érzékenység fokozásán keresztül, a növekvő szomatoszenzoros afferenciáció révén fejti ki pozitív hatását a poszturális kontrollra.

Az idős vizsgálati csoportban emelkedett taktilis küszöböt tapasztaltunk valamennyi vizsgált ponton a kiinduló mérés során. A stimuláció hatására valamennyi vizsgált ponton csökkent az érzésküszöb, a hatból három ponton (I. MTP, hallux, V. MTP) statisztikailag jelentős csökkenést tapasztaltunk.

Kutatásunk bizonyította a szomatoszenzoros rendszer korfüggő változását. A talp érzékenysége az idős csoportban lényegesen alatta maradt a fiatalokra jellemző értékeknek. Eredményeink alátámasztják, hogy a manuális ingerlés a talpi érzékenység fokozásán keresztül tette lehetővé az alátámasztási felület nyomási információinak nagyobb mérvű hasznosulását. Ez a hatás olyan szenzoros kondíciókban érvényesült leginkább, ahol az egyéb érzékszervek által felvett és közvetített információ hiányzott, vagy pontatlan volt.

A manuális stimuláció egy egyszerű beavatkozás, amely minden fizioterapeuta rendelkezésére áll. Ugyan további vizsgálatot igényel annak feltárása, hogy a stimuláció érzékenységnövelő hatása meddig marad fenn, az mindenképpen kijelenthető, hogy alkalmas kiegészítő eszköze lehet a poszturális kontroll fejlesztésének, az elesések prevenciójának.

### Irodalomjegyzék

- Abdelhafiz AH, Austin CA** (2003) Visual factors should be assessed in older people presenting with falls or hip fracture. *Age Ageing* 32: 26–30
- Abrahamová D, Hlavačka F** (2008) Age-related changes of human balance during quiet stance. *Physiol. Res.* 57: 957-964
- Allison LK, Kiemel T, Jeka JJ** (2006) Multisensory reweighting of vision and touch is intact in healthy and fall-prone older adults. *Exp Brain Res* 175: 342–352
- Ángyán Lajos Dr:** Az emberi test mozgástana. (2005) Motio Kiadó, Pécs
- Aniss AM, Gandevia SC, Burke D** (1992) Reflex responses in active muscles elicited by stimulation of low-threshold afferents from the human foot. *J Neurophysiol* 67:1375-1384
- Bell-Krotoski JA, Fess EE, Figarola JH, Hiltz D** (1995) Threshold detection and Semmes-Weinstein monofilaments. *J Hand Ther* 8:155–162
- Benjuya E, Melzer I, Kaplanski J** (2004) Aging-Induced shifts from a reliance on sensory input to muscle cocontraction during balanced standing. *J Gerontol Med Sci* 59:166–171
- Berg J** (1989) Balance and its measure in the elderly: a review. *Physiotherapy Canada* 42:240-246
- Berne RM, Levy MN, Koeppen BM, Stanton BA** Principles of Physiology, 4th ed. (2006) Elsevier Mosby
- Bernard-Demanze L, Vuillerme N, Berger L, Rougier P** (2006) Magnitude and duration of the effects of plantar sole massages on the upright stance control mechanism of healthy individuals. *Int SportMed J* 7:154–169
- Bernard-Demanze L, Vuillerme N, Ferry M, Berger L** (2009) Tactile plantar stimulation improve postural control of persons with superficial plantar sensory deficit? *Aging Clin Exp Res* 21:62–68
- Brandt T, Daroff RB** (1979) The multisensory physiological and pathological vertigo syndromes. *Ann Neurol* 7:195-197
- Brandt T, Paulus W, Straube A** (1986) Vision and posture. In: Bles W, Brandt T (eds) Disorders of posture and Gait. Elsevier, Amsterdam, 157–175
- Caruso G, Nilsson J, Crisci C,** (1993) Sensory nerve findings by tactile stimulation of median and ulnar nerves in healthy subjects of different ages. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 89:392–398
- Corbin DM, Hart JM, McKeon PO, Ingersoll CD, Hertel J** (2007) The effect of textured insoles on postural control in double and single limb stance. *J Sport Rehabil* 16:363-72
- Creath R, Kiemel T, Horak F, Peterka R, Jeka J** (2005) A unified view of quiet and perturbed stance: simultaneous co-existing excitable modes. *Neurosci Lett* 377:75–80
- Cuypers K, Levin O, Thijs H, Swinnen SP, Meesen RLJ** (2010) Long-Term TENS treatment improves tactile sensitivity in MS patients *Neurorehab Neural Repair* 24:420-427
- Dhruv NT, Niemi JB, Harry JD, Lipsitz LA, Collins JJ** (2002) Enhancing tactile sensation in older adults with electrical noise stimulation. *NeuroReport* 13:597-600

- Dyck PJ, O'Brien PC, Kosanke JL, Gillen DA, Karnes JL** (1993) A 4, 2, and 1 stepping algorithm for quick and accurate estimation of cutaneous sensation threshold. *Neurology* 43:1508–1512
- Fallon JB, Bent LR, McNulty PA, Macefield VG** (2005) Evidence for strong synaptic coupling between single tactile afferents from the sole of the foot and motoneurons supplying leg muscles. *J Neurophysiol* 94: 3795–3804
- Fonyó Attila** Az orvosi élettan tankönyve – Sensoros működések – A somatosensoros rendszer (2003) Medicina Könyvkiadó RT. Budapest
- Gibbs J, Harrison LM, and Stephens JA** (1995) Cutaneomuscular reflexes recorded from the lower limb in man during different tasks. *J Physiol* 487: 237–242
- Goldreich D, Kanics IM** (2003) Tactile acuity is enhanced in blindness. *J Neurosci* 23:3438–3445
- Hayashi R, Miyake A, Watanabe S** (1988) The functional role of sensory inputs from the foot: stabilizing human standing posture during voluntary and vibration-induced body sway. *Neurosci Res* 5:203–213
- Henry SM, Fung J, Horak FB** (2001) Effect of stance width on multidirectional postural responses. *J Neurophysiol* 85:559–570
- Horak FB, Diener HC, Nashner LM** (1989) Influence of central set on human postural responses. *J Neurophysiol* 62:841–853
- Horak FB, Nashner LM, Diener HC** (1990) Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. *Exp Brain Res* 82:167–177
- Horak FB, Macpherson JM** (1996) Postural orientation and equilibrium. In: Shephard J, Rowell L, eds. *Handbook of physiology, section 12. Exercise: regulation and integration of multiple systems.* New York, Oxford University, 1996:255-292
- Ivers RQ, Norton R, Cumming RG, Butler M, Campbell AJ.** (2000) Visual impairment and hip fracture. *Am J Epidemiol* 152: 663–9
- Iwasaki T, Goto N, Goto J, Ezure, H, Moriyama, H** (2003) The aging of human Meissner's corpuscles as evidenced by parallel sectioning. *Okajimas Folia Anat Jpn* 79:185–189
- Jacobs JV, Horak FB** (2007) Cortical control of postural responses. *J Neural Transm* 114:1339-1348
- Jeka JJ, Easton RD, Bentzen BL, Lackner JR** (1996) Haptic cues for orientation and postural control in sighted and blind individuals. *Percept Psychophys* 58:409–423
- Johansson RS** (1978) Tactile sensibility in the human hand: receptive field characteristics of mechanoreceptive units in the glabrous skin area. *J Physiol* 281: 101-123
- Kalish T, Ragert P, Schwenkreis P, Dinse HR, Tegenthoff M,** (2009) Impaired tactile acuity in old age is accompanied by enlarged hand representations in somatosensory cortex. *Cereb Cortex* 19:1530-1538
- Karlsson A & Frykberg G** (2000) Correlations between force plate measurements for assessment of balance. *Clin Biomech* 15:365-369.
- Kavounoudias A, Roll R, Roll JP** (1998) The plantar sole is a 'dynamometric map' for human balance control. *Neuroreport* 9:3247–3252
- Kelly JW, Riecke B** (2008) Visual control of posture in real and virtual environments *Perception & Psychophysics* 70: 158-165
- Kennedy PM, Inglis JT** (2002) Distribution and behaviour of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole. *J Physiol* 538:995–1002
- Lee DL, Lishman JR** (1975) Visual proprioceptive control of stance. *J Hum Mov Studies* 1:87-95
- Lee DL, Lishman JR** (1977) Vision, the most efficient source of proprioceptive information for balance control. *Agressologie* 18:83–94
- Lord, S. R. és Dayhew, J.** (2001) Visual risk factors for falls in older people. *Journal of the American Geriatrics Society*, 49: 508–515
- Madhavan S, Shields RK** (2005) Influence of age on dynamic position sense: evidence using a sequential movement task. *Exp Brain Res* 164:18-28
- Magnusson M, Enbom H, Johansson R, Pykko I** (1990) Significance of pressor input from the human feet in anterior-posterior postural control. The effect of hypothermia on vibration induced body sway. *Acta Otolaryngol Stockh* 110:182–188
- 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
- Maki BE, Perry SD, Norrie RG, McIlroy WE** (1999) Effects of facilitation of sensation from plantar foot-surface boundaries on postural stabilization in young and older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 54:281–287
- Massion J** (1994) Postural control system. *Current Opinion in Neurobiol* 6:877–887
- Maurer C, Mergner T, Bolha B, Hlavacka F** (2001) Human balance control during cutaneous stimulation of the plantar soles. *Neurosci Lett* 302:45–48
- Mauritz KH, Dietz V** (1980) Characteristics of postural instability induced by ischemic blocking of leg afferents. *Exp Brain Res* 38:117–119
- Meyer PF, Oddson LI, De Luca CJ** (2004) The role of plantar cutaneous sensation in unperturbed stance. *Exp Brain Res* 156:505–512
- Nagy E, Toth K, Janositz G, Kovacs G, Feher-Kiss A, Angyan L, Horvath G** (2004) Postural control in athletes participating in an ironman triathlon. *Eur J Appl Physiol* 92:407–413
- Nagy E, Feher-Kiss A, Barnai M, Preszner-Domján A, Angyan L, Horvath G** (2007) Postural control in elderly subjects participating in balance training. *Eur J Appl Physiol* 100:97–104
- Nashner LM** (1982) Adaptation of human movement to altered environments. *Trends Neurosci* 5:351–361
- Nashner LM, Black FO, Wall C** (1982) Adaptation to altered support and visual conditions during stance: patients with vestibular deficits. *J Neurosci* 5:117–124 *Eur J Appl Physiol*
- Nashner LM, McCollum G** (1985) The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. *Behav Brain Sci* 8:135–172
- Nurse MA, Hulligar M, Wakeling JM, Nigg BM, Stefanyshyn DJ** (2005) Changing the texture of footwear can alter gait patterns. *J Electromyogr Kinesiol* 15:496–506
- Oie KS, Kiemel T, Jeka JJ** (2002) Multisensory fusion: simultaneous re-weighting of vision and touch for the control of human posture. *Cog Brain Res* 14:154–176
- Palluel E, Nougier V, Olivier I** (2008) Do spike insoles enhance postural stability and plantar-surface cutaneous sensitivity in the elderly? *Age* 30:53–61
- Palluel E, Nougier V, Olivier I** (2009) The lasting effects of spike insoles on postural control in the elderly. *Behav Neurosci* 123:1141–1147
- Park JJ, Tang Y, Lopez I, Ishiyama A** (2001) Age-related change in the number of neurons in the human vestibular ganglion. *J Comp Neurol* 431: 437–443
- Perry SD, McIlroy WE, Maki BE** (2000) The role of plantar cutaneous mechanoreceptors in the control of compensatory stepping reactions evoked by unpredictable, multi-directional perturbation. *Brain Res* 877:401–406
- Perry SD** (2006) Evaluation of age-related plantar-surface insensitivity and onset age of advanced insensitivity in older adults using vibratory and touch sensation tests. *Neurosci Lett* 392:62–67
- Peterka RJ, Black FO** (1990) Age-related changes in human posture control: sensory organization test. *J Vestib Res* 1:73–85
- Pitts DG** (1982) The effects of aging on selected visual function: dark adaptation, visual acuity, stereopsis and brightness contrast. In: *Aging and Human Visual Function*, Szerk.: Sekuler R, Kline DW, Dismukes K, New York: A.R. Liss. 135–159
- Porter MM, Vandervoort AA, Lexell J** (1995) Aging of human muscle: structure, function, and adaptability. *Scand J Med Sci Sports* 5:129–142.
- Priplata AA, Niemi JB, Harry JD, Lipsitz LA, Collins JJ** (2003) Vibrating insoles and balance control in elderly people. *Lancet* 362:1123–1124
- Schiebler TH, Junqueira LC, Carneiro J** (1996) *Histologie - Zytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg- New York
- Rosenhall U, Rubin W** (1975) Degenerative changes in the human vestibular sensory epithelia. *Acta Otolaryngol* 79:67–80
- Shumway-Cook A, Horak FB** (1986) Assessing the influence of sensory interaction on balance: suggestion from the field. *Phys Ther* 66:1548–1550
- Shumway-Cook A, Horak FB** (1989) Vestibular rehabilitation: an exercise approach to managing symptoms of vestibular dysfunction. *Semin Hearing* 10:196–205

- Shumway-Cook A, Woollacott M.H.** Motor Control – Translating Research into clinical practice – Normal Postural Control (2012) Lippincott Williams&Wilkins
- Schlee G, Sterzing T, Milani TL** (2009) Foot sole skin temperature affects plantar foot sensitivity. *Neurophysiology*, 120:1548-1551
- Stål F, Fransson PA, Magnusson M, Karlberg M** (2003) Effects of hypothermic anesthesia of the feet on vibration-induced body sway and adaptation. *J Vestib Res* 13:39–52
- Taylor PK** (1984) Non-linear effects of age on nerve conduction in adults. *J Neurol Sci* 66:223–234.
- Teasdale N, Stelmach GE, Breunig A, Meeuwse HJ Res** (1991) Age differences in visual sensory integration. *Exp Brain* 85:691-696
- Vaillant J, Vuillerme N, Janvey A, Louis F, Braujou R, Juvin R, Nougier V** (2008) Effect of manipulation of the feet and ankles on postural control in elderly adults. *Brain Res Bull* 75:18–22
- Vaillant J, Rouland A, Martigne P et al** (2009) Massage and mobilization of the feet and ankles in elderly adults: effect on clinical balance performance. *Man Ther* 14:661–664
- Valerio BC, Nobrega JA, Tilbery CP** (2004) Neural conduction in hand nerves and the physiological factor of age. *Arq Neuropsiquiatr* 62:114–18
- Vandervoort AA, McComas AJ** (1986) Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J Appl Physiol* 61:361–367
- Vedel JP, Roll JP** (1982) Response to pressure and vibration of slowly adapting cutaneous mechanoreceptors in the human foot. *Neurosci Lett* 34:289–294
- Verrillo RT, Bolanowski SJ, Gescheider GA** (2002) Effect of aging on the subjective magnitude of vibration. *Somatosens Mot Res* 19:238 –244
- Visser JE, Bloem BR** (2005) Role of the basal ganglia in the balance control. *Neural Plasticity* 2-3:161-174
- Vuillerme N, Pinsault N** (2007) Re-weighting of somatosensory inputs from the foot and the ankle for controlling posture during quiet standing following trunk extensor muscles fatigue. *Exp Brain Res* 183:323–327
- Vuillerme N, Chenu O, Pinsault N, Fleury A, Demongeot J, Payan Y** (2008) Can a plantar pressure-based tongue-placed electrotactile biofeedback improve postural control under altered vestibular and neck proprioceptive conditions? *Neuroscience* 155:291–296
- Wade MG, Lindquist R, Taylor JR, Treat-Jacobson D** (1995) Optical flow, spatial orientation, and the control of posture in the elderly. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 50:51-58
- Winter DA** (1995) Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture* 3:193–214
- Winter DA, Prince F, Stergiou P, Powell C** (1993) Medial-lateral and anterior-posterior motor responses associated with center of pressure changes in quiet standing. *Neurosci Res Comm* 12:141–148
- Winter DA, Prince F, Frank JS Powell C, Zabjek KF** (1996) Unified theory regarding A/P and M/L balance in quiet stance. *J Neurophysio* 75:2334–2343
- Wolfson L, Judge, J, Whipple, R, & King, M** (1995) Strength is a major factor in balance, gait, and the occurrence of falls. *Journal of Gerontology* 50A, 64-67.
- Woollacott MH, Shumway-Cook A, Nashner L** (1986) Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination. *Int J Aging Hum Dev* 23:97–114
- Wu G, Chiang JH** (1996) The effect of surface compliance on foot pressure in stance. *Gait Posture* 4:12–129 *Eur J Appl Physiol*

#### *SAJÁT KÖZLEMÉNYEK ÉS KONFERENCIA ELŐADÁSOK JEGYZÉKE*

##### *Cikkek*

- Andrea Preszner-Domjan, Edit Nagy, Edit Szíver, Anna Feher-Kiss, Gyöngyi Horvath, Janos Kranicz** When does mechanical plantar stimulation promote sensory re-weighting: standing on a firm or compliant surface? *European Journal of Applied Physiology* 2012. 112:2979-2987 DOI: 10.1007/s00421-011-2277-5 IF: 2.147



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

IF: 1.6

**Anna Kiss-Fehér, Andrea Domján-Preszner, Edit Szíver, Edit Nagy, Maria Barnai:** ICF and client evaluation in neurological physiotherapy Romanian journal of physical therapy issue 25/2010, 41-44

**Koncsek K, Presznerné Domján A, Róka E, Szíver E, Horváth Gy:** Az MBT (Masai Barfuss Technologie) prompt hatása a testtartásra. Mozgásterápia 2006/2 16-19.

**Presznerné Domján A, Nagy E.:** A lumbális gerinc stabilizáló tréningprogramjának hatása a testtartás kontrollra. Acta Sana 2006. I. 34-38.

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

**Barnai M, Domján A, Varga J, Somfay A, Jeney K, Sárga N, Verebely B, Horváth Gy:** Az állóképesség fejleszthetősége nyolcvan éves korban. Acta Sana 2006.1: 26-33

**Bornemisza Éva, Presznerné Domján Andrea, Barnai Mária, Nagy Edit, Horváth Gyöngyi:** A súlyviselés és a poszturális kontroll alakulása sacroiliacalis (SI) ízületi fájdalom esetén Acta Sana, Szeged, 2007. I. szám

### *Könyvfejezet*

A fizioterápia alapjai. Presznerné Domján Andrea In: Általános ápolástan és gondozástan Szerk.: Bokor Nándor. 479-487. Medicina Könyvkiadó Zrt. Budapest, 2009.

### *Előadások, poszterek*

**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. Miskolc

**Presznerné Domján A, Laluska J, Liska B, Nagy E:** PNF minták és technikák alkalmazása az egyensúly fejlesztésére – esetismertetés (poszter) SZTE EFK Fizioterápiás Tanszék 15 éves Jubileumi Kongresszus 2006. Szeged

**Koncsek K, Róka E, Presznerné Domján A, Szíver E, Horváth Gy:** A gerinc vizsgálata. (poszter) SZTE EFK Fizioterápiás Tanszék 15 éves Jubileumi Kongresszus 2006. Szeged

**Barnai M, Nagy E, Rázsó K, Domján A, Horváth Gy:** Az akaratlagos apnoe idő és a fizikai teljesítmény összefüggései (poszter). SZTE EFK Fizioterápiás Tanszék 15 éves Jubileumi Kongresszus 2006. Szeged

**Bornemisza É, Presznerné Domján A, Barnai M, Nagy E:** A medence aszimmetriák és a súlyviselés. SZTE EFK Fizioterápiás Tanszék 15 éves Jubileumi Kongresszus 2006. Szeged

**Bornemisza É, Presznerné Domján A, Barnai M, Nagy E, Horváth Gy:** Medence aszimmetriák és a súlyviselés (poszter) Magyar Élettani Társaság LXX. Vándorgyűlése 2006. Szeged

**Presznerné Domján A, Nagy E, Bornemisza É, Horváth Gy:** The effect of PNF training on postural control – case report (poster) 6TH Mediterranean Congress of PRM Vilamoura, Portugália 18-21 2006. Abstract Book: p.181

**Nagy E, Fehérné Kiss A, Presznerné Domján A, , Bornemisza É, Horváth Gy:** The effect of Type I. diabetes on the postural control (poster) 6TH Mediterranean Congress of PRM Vilamoura, Portugália 18-21 2006. Abstract Book: p.190

**Bornemisza É, Presznerné Domján A, Barnai M, Nagy E, Horváth Gy:** The sacroiliac joint pain and the weight-bearing (poster) 6TH Mediterranean Congress of PRM Vilamoura, Portugália 18-21 2006. Abstract Book: p.134

**Presznerné Domján A, Nagy E, Bornemisza É:** PNF minták és technikák alkalmazása az egyensúly fejlesztésére- esetismertetés. Magyar Tudomány Ünnepe SZTE EFK Tudományos Rendezvény 2006.

**Barnai Mária, Domján Andrea, Monek Bernadett:** Aquaterápia a gyógytornászképzésben- Oktatás és wellness a szerb- vajdasági és a magyarországi dél- alföldi területeken, 2006. Gyula

**Monek Bernadett, Preszner Domján Andrea, Szíver Edit, Erdélyi Endre:** Effect of conservative therapy of foot in rheumatoid arthritis, a case report (poszter) 7th Central European Congress of Rheumatology 2008.

**Preszner Domján Andrea, Monek Bernadett, Szíver Edit, Bicskei Csilla, Guti Judit:** A rheumatoid arthritises lábdeformitások hatása az egyensúlyi paraméterekre. A Magyar Tudomány Ünnepe, 2009. Szeged.

**Preszner Domján Andrea, Monek Bernadett, Szíver Edit, Bicskei Csilla, Guti Judit:** A rheumatoid arthritises lábdeformitások hatása az egyensúlyi paraméterekre (poszter). Magyar Gyógytornászok Társasága VII. Kongresszusa, 2009. Balatonfüred.

**Fehérné Kiss Anna, Preszner Domján Andrea, Dr. Nagy Edit:** Client evaluation and icf in neurological rehabilitation – case study, Congress of „physical education and sports in the benefit of health” 2010. Nagyvárad

**Szíver Edit, Preszner Domján Andrea, Monek Bernadett, Tóth Kálmán, Balog Attila:** Egyensúly és funkcionális paraméterek gyulladós és degeneratív kórképekben a csípőízület érintettsége esetén, Magyar Gyógytornászok Társasága Reumatológiai Munkacsoport Találkozója, 2010. Budapest

**Preszner Domján Andrea, Szíver Edit, Dr. Nagy Edit, Fehérné Kiss Anna, Kráncz János:** The effect of manual stimulation of sole on postural stability, Congress of „physical education and sports in the benefit of health”, 2010. Nagyvárad

**Szíver Edit, Preszner Domján Andrea, Dr. Nagy Edit, Fehérné Kiss Anna, Kellermann Péter, Tóth Kálmán:** Functional parameters in degenerative and inflammatory diseases of the hip, Congress of „physical education and sports in the benefit of health”, 2010. Nagyvárad

**Szíver Edit, Preszner Domján Andrea, Monek Bernadett, Gál Vera, Nagy Edit, Fehérné Kiss Anna:** Szemléletváltás – dinamikus gyakorlatok rheumatoid arthritisen; Magyar Gyógytornászok Társasága VIII. Kongresszus, 2011. Pécs

**Monek Bernadett, Szíver Edit, Preszner Domján Andrea, Nagy Edit, Erdélyi E., Bicskei Csilla:** Új szemlélet a rheumatoid arthritisen láb kezelésében az eredmények tükrében; Magyar Gyógytornászok Társasága VIII. Kongresszus, 2011. Pécs

**Barnai Mária, Preszner Domján Andrea:** Az aquaterápia ma; Magyar Gyógytornászok Társasága VIII. Kongresszus, 2011. Pécs

**Lukács Ágnes, Fehérné Kiss Anna, Preszner Domján Andrea:** Epikritikus érzésképzések vizsgálata a proaktív és reaktív egyensúlyi paraméterek tükrében; Magyar Gyógytornászok Társasága VIII. Kongresszus, 2011. Pécs

**Pósa Tímea, Fehér Opletán Andrea, Preszner Domján Andrea:** Szomatoszenzoros talpi ingerlés hatása a statikus egyensúlyi paraméterekre; Magyar Gyógytornászok Társasága VIII. Kongresszus, 2011. Pécs

**Preszner-Domján A., Nagy E., Szíver E., Feher-Kiss A., Barnai M., Kráncz J.:** How does manual stimulation of sole alone affect the postural control? 16th International WCPT Congress 2011 Amsterdam

**Nagy E., Preszner-Domján A., Szíver E., Feher Kiss A.:** The effects of proprioceptive training on balance parameters in healthy young students 16th International WCPT Congress 2011. Amsterdam

**Szíver E., Preszner-Domján A., Nagy E., Feher-Kiss A., Toth K., Balog A.:** Postural control in degenerative and inflammatory diseases of the hip 16th International WCPT Congress 2011. Amsterdam

**Preszner Domján Andrea:** A talpi mechanoreceptorok jelentősége a poszturális stabilitásban Tudományos Fórum 2011, PTE ETK Pécs

**Preszner Domján Andrea:** A manuális talpi ingerlés hatása a talpi taktilis érzésküszöbre. A Magyar Tudomány Ünnepe, 2012. Szeged.

---

---

# The role of plantar mechanoreceptors in postural control

(doctoral thesis)

**Andrea Preszner-Domján PhD**

University of Pécs, Faculty of Health Sciences

Doctoral School of Health Sciences

e-mail: andrea@etszk.u-szeged.hu

## Introduction

Keeping our balance is an essential requirement of our everyday functional movements and physical activity. Controlling and maintaining the balance of the human body is a complex process, which includes the harmonised functioning of the sensory information (visual, vestibular, and somatosensory systems), the musculoskeletal system and the central and peripheral nervous system. Although multiple sensory inputs are available to the central nervous system, it usually relies on a single type of information at a time for orientation by weighing the information based on their accuracy.

Since the changes in body position and the changes in plantar pressures during a quiet stance are related, the plantar cutaneous mechanoreceptors, due to their anatomical location, provide detailed information about the properties of the supporting surface and the position and movement of the body in relation to that.

Over the past few years, the focus of scientific research on balance has gradually shifted to the role of the somatosensory system (and, more specifically, the plantar cutaneous mechanoreceptors) in postural control. Numerous studies have confirmed the participation of the plantar cutaneous mechanoreceptors in the process of postural control and the beneficial effect of plantar mechanical stimulation on postural control; however, the exact mechanism of action of these stimulation methods has not been fully clarified. No data have been found in the relevant literature about the effect of manual plantar stimulation without joint mobilisation, as a sole mechanical stimulation, on postural stability, and about whether it has an effect on the sensitivity of the plantar mechanoreceptors, and the plantar tactile threshold.

The age-dependent changes of the somatosensory system have been confirmed by studies. No studies have been found whether plantar sensitivity can be influenced by mechanical stimulation in the elderly, and whether balance parameters can be improved by the manual stimulation of the sole in case of worsening sensory and motor functions.

## Objectives

1. The purpose of our study was to confirm the role of the somatosensory system (and, more specifically, the plantar mechanoreceptors) in postural control in healthy young and elderly subjects. We assumed that the mechanical stimulation of the sole would result in improved balance parameters in both study groups, and that the effect of the mechanical stimulation would be evident in the absence of visual information in both groups, i.e., that the results of our study would support the theory of sensory re-weighing.
2. Our study was also aimed at exploring the changes that affect the balance parameters and the plantar sensitivity in the elderly, and we assumed that the study results regarding the sensory integration and tactile threshold of the elderly study group would support the age-dependent changes of the sensory systems.
3. In addition, we aimed at finding out what effects manual stimulation has on the plantar tactile sensitivity, and if a physiological change that would explain the positive changes in balance due to the stimulation can be demonstrated.

## Methods

### *Participants*

Fifty young, healthy volunteers [34 women, 16 men, mean age:  $23 \pm 2$ ; mean weight:  $67 \pm 9.5$  kg, mean height:  $170 \pm 7.1$  cm, mean BMI:  $22.81 \pm 2.401$  kg/m<sup>2</sup> (mean  $\pm$  Standard Error)] and fifty elderly, healthy

volunteers [44 women, 6 men, mean age: 66±5; mean weight: 80 ± 16.56 kg, mean height: 163 ± 8.34 cm, mean BMI 29.85 ± 4.53 kg/m<sup>2</sup> (mean ± Standard Error)] participated in the study. None of the participants suffered from any acute illness or had any diagnosed neurological or musculoskeletal disease, balance disorder or impairment, and none were taking medications with an effect on their balance. Each volunteer was informed about the purpose and the course of the study, in accordance with the ethical requirements of our institution.

### ***Study methods***

#### *Assessment of static balance parameters*

The horizontal excursion of the centre of gravity (COG) projected to a force platform was assessed by using the NeuroCom Basic Balance Master, the CTSIB programme. The CTSIB includes four test conditions: eyes open, firm surface; eyes open, foam surface; eyes closed, firm surface; and eyes closed, foam surface.

The static balance parameters were assessed during quiet stance, on a fixed force platform. The excursion of the COG was measured in both the anteroposterior (AP) and the mediolateral (ML) direction under each test condition. The excursion of the COG was recorded three times, for 10 seconds each, in every test condition. Our subjects stood barefoot on the force platform, first on a firm surface with eyes open and then eyes closed, and then on a foam surface (NeuroCom, 46 x 46 x 13 cm) with eyes open and then eyes closed. With the use of the foam surface, our purpose was to reduce the amount and accuracy of the tactile and pressure information from the external support.

For the balance test, our subjects assumed in a quiet, comfortable standing position on the platform, with their arms hanging loosely at the sides, facing forward. During the measurements without visual information, the subjects were asked to close their eyes. Their feet were positioned based on the signs of the NeuroCom platform; the distance between the midline of the heels ranged between 22 and 30 cm, depending on the height of the study subject.

#### *Assessment of the plantar tactile sensory threshold*

The plantar tactile threshold of our subjects was assessed using the SenseLab Aesthesiometer. Nylon monofilaments representing a specific nominal force were used to establish the minimum force with which the filament was pressed against the plantar skin and the study subject still felt it. The tactile threshold was determined before and immediately after the manual plantar stimulation. The assessment was performed in 6 regions of the sole – the heel, the lateral side of the midfoot, the first, the third and the fifth metatarsal head, and the hallux.

### ***Stimulation of the plantar mechanoreceptors***

#### *Stimulating surface*

To assess the immediate effect of a stimulating surface, a special, thin layer with rubber spikes (spike density: 5 spikes/cm<sup>2</sup>, height of one spike: 7 mm, diameter: 2 mm), placed over the platform or the foam on the platform, was used during the assessment of the static balance parameters. Our study subjects did not report any unpleasant or uncomfortable feelings during the use of the spiked layer. The excursion of the COG was measured with the spiked layer in place both on the firm and the foam surface, with the eyes open and closed. Three measurements were performed under each condition, and each measurement lasted for 10 minutes.

#### *Manual stimulation*

The manual technique used for the stimulation consisted of static and gliding-squeezing grips and rubs on the plantar surface of the feet, especially in the region of the heel and the metatarsal heads, that is, on the supporting points of the feet. The plantar stimulation was applied for 10 minutes, both soles were stimulated simultaneously, with the subject in a comfortable sitting position and with the feet supported. After the stimulation, the subject was standing quietly for 20 seconds before the balance test to avoid the negative effects of the sudden standing-up on the study results. The static balance parameters were measured before and after manual stimulation. The values measured before the stimulation were considered the baseline data, and these served as control data during the study.



## Statistical analysis

### Plantar tactile threshold

Since the nominal pressing force corresponding to the diameter of the monofilaments is a discrete number, the median of the minimum nominal force measured in each plantar region was determined and considered as the plantar tactile threshold of our subjects. The Statistica 8 software and the Wilcoxon signed ranks test were used to compare the tactile sensory threshold of the young and elderly groups with the normal plantar tactile threshold (0.21 g), and to compare the plantar tactile threshold measured before and after the manual stimulation.

### Sway path

The sway path that quantifies the excursion of the COG was calculated under each sensory condition from the position of the COG recorded by the force platform every hundredth second. The sway path was calculated in both the ML (x) and the AP (y) direction based on the following formulae (1 and 2), where n is the number of subjects, i is the numbering, sy is the excursion length of the COG in the AP direction and sx is that in the lateral, i.e. the ML direction:

$$s_x = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2} \quad (1)$$

$$s_y = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(y_{i+1} - y_i)^2} \quad (2)$$

Variance analysis with the Statistica software was performed on the resulting data to compare the different stimulation types and the test conditions as independent variables. The sway data on firm and foam surfaces were analysed with two-way ANOVA to confirm the main effects, and to demonstrate the interactions between the two visual factors (eyes open and closed) and the three stimulation factors (baseline data – without stimulation, manual stimulation, and spiked layer). The Newmann-Keuls test was used for a post hoc comparison. A significance level of  $p < 0.05$  was accepted during data analysis.

## Results

### *The effect of the 10-minute manual stimulation and the stimulating surface on balance parameters in case of the firm and the foam surfaces in the young study group*

During the baseline measurements, the main effect of the visual information was observed on both surfaces and in both directions (AP  $p < 0.001$ ; ML  $p < 0.001$ ), i.e., the sway path was significantly increased in the absence of visual information. These changes were not present in either the AP or the ML direction in the case of the firm surface after manual stimulation, and in the ML direction, when the spiked layer was used. According to our results, a significant interaction was confirmed between the stimulation and the visual information both in the AP ( $p < 0.001$ ) and the ML ( $p < 0.001$ ) directions on firm surface, i.e., the effect of mechanical stimulation prevailed in the absence of visual information. On the foam surface, however, the analysis did not confirm an interaction between the stimulation and the visual information.

When assessing postural stability on firm surface, with the eyes closed, we observed the main effect of the manual plantar stimulation in both the AP ( $p < 0.001$ ) and the ML ( $p < 0.001$ ) directions, i.e., the sway path was significantly decreased, compared with the data of the baseline measurement.

An additional main effect of the stimulation was that the use of the spiked layer decreased the sway path significantly in both the AP ( $p < 0.001$ ) and the ML ( $p < 0.001$ ) directions, when visual information was not available. This effect was more significant in the ML direction, the effect of the spiked layer compensated for the absence of visual information. On foam surface, the spiked layer did not have an effect on the sway path. In the presence of visual information, none of the stimulations we used led to a change in the sway path, either in the AP or in the ML direction.

***The effect of the 10-minute manual stimulation and the stimulating surface on balance parameters in case of the firm and the foam surfaces in the elderly study group***

When assessing postural stability on firm surface, without stimulation, the main effect of the visual information was confirmed; closing the eyes increased the sway path significantly in the AP direction ( $p < 0.004$ ), although this significant increase was not evident after manual stimulation, i.e., the plantar stimulation partially made up for the missing visual information.

On foam surface, the main effect of the visual information was confirmed in both directions and under all stimulation conditions, i.e., the sway path was significantly increased after closing the eyes. After manual stimulation, with the eyes closed, the main effect of the plantar manual stimulation can be observed in both the AP ( $p < 0.032$ ) and the ML ( $p < 0.014$ ) directions, i.e., the sway path was significantly decreased, compared with the baseline data.

The stimulating spiked layer did not prove to be effective, and it did not decrease the excursion on either surface. In the presence of visual information, none of the stimulations used led to a significant change in the sway path, either in the AP or in the ML direction.

***Plantar tactile sensitivity in the young and the elderly study groups, and its change after manual stimulation***

By comparing the nominal pressing force that quantifies the plantar tactile sensory threshold between the two groups, it was confirmed that the plantar sensitivity of the healthy elderly subjects with an intact somatosensory system was significantly lower than that of the young subjects in every studied plantar region, i.e., the measured minimum pressing force still felt by the elderly subjects is significantly higher, the sensory threshold of the mechanoreceptors in the skin of the sole is increased.

In the young study group, the manual stimulation significantly decreased the nominal pressing force still felt in every studied region of the sole (first metatarsal head  $p < 0.002$ ; hallux  $p < 0.002$ ; third metatarsal head  $p < 0.000$ ; fifth metatarsal head  $p < 0.011$ ; lateral  $p < 0.000$ ; heel  $p < 0.001$ ), i.e., a decrease in the tactile sensory threshold and an increase in plantar sensitivity were confirmed.

In the elderly study group, the tactile sensory threshold was significantly decreased in three studied regions of the sole following the manual stimulation (first metatarsal head  $p < 0.018$ ; hallux  $p < 0.026$ ; fifth metatarsal head  $p < 0.041$ ), whereas the decrease in the other three regions was not significant. According to our results, the stimulation partially increased the tactile sensitivity of the sole.

**Discussion and conclusions**

Our study confirmed that a 10-minute manual stimulation of the sole increased the significance of the pressure information coming from the supporting surface during postural control thus facilitating stability. According to our results, the manual stimulation of the sole improved postural control in the absence of visual information, and therefore, the 10-minute manual stimulation of the plantar mechanoreceptors can compensate for the missing visual information and for the interfering nature of the inaccurate mechanical information coming from the foam supporting surface. In our study, the decrease in the sway path under the eyes closed condition and following manual stimulation confirms the adaptation mechanism of the central nervous system, when it used the information from the facilitated plantar mechanoreceptors as an alternative sensory input to maintain postural stability and orientation.

In the case of our elderly subjects, unlike in the young subjects, the efficacy of manual stimulation was observed mainly when assessed on foam surface. The manual stimulation of the sole, when assessed with the eyes closed and on foam surface, significantly decreased the sway path in both directions. We think that this result supports the aging of the vestibular system in the case of our elderly subjects, since they could utilize the effect of manual stimulation the most under the condition in which only the information from the vestibular system was available to them.

Our results, therefore, showed a significant interaction between the manual stimulation and the visual condition also in the elderly group, confirmed the possibility of influencing postural stability, and supported the presence of sensory re-weighting also in the elderly, despite the fact that, as a result of age-dependent changes, the sensory information was inaccurate or reduced.

Based on our results, in young subjects, a spiked layer could contribute to the improvement of the static balance parameters on a firm supporting surface. As opposed to manual stimulation, however, the spiked

surface was found to be inefficient on foam surface or in the elderly. Short and less intense impact could not compensate in the young subjects for the foam surface property of reducing pressure impulses. For our elderly subjects, the somatosensory information provided by the stimulating surface was inefficient because of the short acting time, which may be related to the age-dependent reduced peripheral sensitivity.

In our young subjects, a low tactile threshold was measured at baseline, which significantly decreased in all studied regions after mechanical stimulation. Our results, therefore, confirmed our hypothesis that manual stimulation exerts its positive effect on postural control by increasing plantar sensitivity through the increasing somatosensory afferentation.

In the elderly study group, an increased tactile threshold was found in all studied regions at the baseline measurement. The stimulation resulted in a decreased sensory threshold in each studied region, and a statistically significant reduction was observed in three out of the six regions (first metatarsal head, hallux, and fifth metatarsal head).

Our research has confirmed the age-dependent change of the somatosensory system. The plantar sensitivity in the elderly group was significantly lower than the values characteristic to the young subjects. Our results support that manual stimulation enabled the pressure information from the supporting surface to be utilized to a greater extent by increasing plantar sensitivity. This effect was most evident under sensory conditions in which the information received and transmitted by the other sensory organs was absent or inaccurate.

Manual stimulation is a simple procedure that is available to every physiotherapist. Although further investigation is required to find out how long the sensitivity-increasing effect of the stimulation lasts, it can be stated that it may be a suitable additional tool for the improvement of postural control and for the prevention of falls.

## References

- Abdelhafiz AH, Austin CA** (2003) Visual factors should be assessed in older people presenting with falls or hip fracture. *Age Ageing* 32: 26–30
- Abrahamová D, Hlavačka F** (2008) Age-related changes of human balance during quiet stance. *Physiol. Res.* 57: 957-964
- Allison LK, Kiemel T, Jeka JJ** (2006) Multisensory reweighting of vision and touch is intact in healthy and fall-prone older adults. *Exp Brain Res* 175: 342–352
- Ángyán Lajos Dr:** Az emberi test mozgástan. (2005) Motio Kiadó, Pécs
- Aniss AM, Gandevia SC, Burke D** (1992) Reflex responses in active muscles elicited by stimulation of low-threshold afferents from the human foot. *J Neurophysiol* 67:1375-1384
- Bell-Krotoski JA, Fess EE, Figarola JH, Hiltz D** (1995) Threshold detection and Semmes-Weinstein monofilaments. *J Hand Ther* 8:155–162
- Benjuya E, Melzer I, Kaplanski J** (2004) Aging-Induced shifts from a reliance on sensory input to muscle cocontraction during balanced standing. *J Gerontol Med Sci* 59:166–171
- Berg J** (1989) Balance and its measure in the elderly: a review. *Physiotherapy Canada* 42:240-246
- Berne RM, Levy MN, Koeppen BM, Stanton BA** Principles of Physiology, 4th ed. (2006) Elsevier Mosby
- Bernard-Demanze L, Vuillerme N, Berger L, Rougier P** (2006) Magnitude and duration of the effects of plantar sole massages on the upright stance control mechanism of healthy individuals. *Int SportMed J* 7:154–169
- Bernard-Demanze L, Vuillerme N, Ferry M, Berger L** (2009) Tactile plantar stimulation improve postural control of persons with superficial plantar sensory deficit? *Aging Clin Exp Res* 21:62–68
- Brandt T, Daroff RB** (1979) The multisensory physiological and pathological vertigo syndromes. *Ann Neurol* 7:195-197
- Brandt T, Paulus W, Straube A** (1986) Vision and posture. In: Bles W, Brandt T (eds) Disorders of posture and Gait. Elsevier, Amsterdam, 157–175
- Caruso G, Nilsson J, Crisci C,** (1993) Sensory nerve findings by tactile stimulation of median and ulnar nerves in healthy subjects of different ages. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 89:392–398
- Corbin DM, Hart JM, McKeon PO, Ingersoll CD, Hertel J** (2007) The effect of textured insoles on postural control in double and single limb stance. *J Sport Rehabil* 16:363-72

- Creath R, Kiemel T, Horak F, Peterka R, Jeka J** (2005) A unified view of quiet and perturbed stance: simultaneous co-existing excitable modes. *Neurosci Lett* 377:75–80
- Cuyppers K, Levin O, Thijs H, Swinnen SP, Meesen RLJ** (2010) Long-Term TENS treatment improves tactile sensitivity in MS patients *Neurorehab Neural Repair* 24:420-427
- Dhruv NT, Niemi JB, Harry JD, Lipsitz LA, Collins JJ** (2002) Enhancing tactile sensation in older adults with electrical noise stimulation. *NeuroReport*13:597-600
- Dyck PJ, O'Brien PC, Kosanke JL, Gillen DA, Karnes JL** (1993) A 4, 2, and 1 stepping algorithm for quick and accurate estimation of cutaneous sensation threshold. *Neurology* 43:1508–1512
- Fallon JB, Bent LR, McNulty PA, Macefield VG** (2005) Evidence for strong synaptic coupling between single tactile afferents from the sole of the foot and motoneurons supplying leg muscles. *J Neurophysiol* 94: 3795–3804
- Fonyó Attila** Az orvosi élettan tankönyve – Sensoros működések – A somatosensoros rendszer (2003) Medicina Könyvkiadó RT. Budapest
- Gibbs J, Harrison LM, and Stephens JA** (1995) Cutaneomuscular reflexes recorded from the lower limb in man during different tasks. *J Physiol* 487: 237–242
- Goldreich D, Kanics IM** (2003) Tactile acuity is enhanced in blindness. *J Neurosci* 23:3438–3445
- Hayashi R, Miyake A, Watanabe S** (1988) The functional role of sensory inputs from the foot: stabilizing human standing posture during voluntary and vibration-induced body sway. *Neurosci Res* 5:203–213
- Henry SM, Fung J, Horak FB** (2001) Effect of stance width on multidirectional postural responses. *J Neurophysiol* 85:559–570
- Horak FB, Diener HC, Nashner LM** (1989) Influence of central set on human postural responses. *J Neurophysiol* 62:841-853
- Horak FB, Nashner LM, Diener HC** (1990) Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. *Exp Brain Res* 82:167–177
- Horak FB, Macpherson JM** (1996) Postural orientation and equilibrium. In: Shephard J, Rowell L, eds. *Handbook of physiology, section 12. Exercise: regulation and integration of multiple systems.* New York, Oxford University, 1996:255-292
- Ivers RQ, Norton R, Cumming RG, Butler M, Campbell AJ.** (2000) Visual impairment and hip fracture. *Am J Epidemiol* 152: 663–9
- Iwasaki T, Goto N, Goto J, Ezure, H, Moriyama, H** (2003) The aging of human Meissner's corpuscles as evidenced by parallel sectioning. *Okajimas Folia Anat Jpn* 79:185–189
- Jacobs JV, Horak FB** (2007) Cortical control of postural responses. *J Neural Transm* 114:1339-1348
- Jeka JJ, Easton RD, Bentzen BL, Lackner JR** (1996) Haptic cues for orientation and postural control in sighted and blind individuals. *Percept Psychophys* 58:409–423
- Johansson RS** (1978) Tactile sensibility in the human hand: receptive field characteristics of mechanoreceptive units in the glabrous skin area. *J Physiol* 281: 101-123
- Kalish T, Ragert P, Schwenkreis P, Dinse HR, Tegenthoff M,** (2009) Impaired tactile acuity in old age is accompanied by enlarged hand representations in somatosensory cortex. *Cereb Cortex* 19:1530-1538
- Karlsson A & Frykberg G** (2000) Correlations between force plate measurements for assessment of balance. *Clin Biomech* 15:365-369.
- Kavounoudias A, Roll R, Roll JP** (1998) The plantar sole is a 'dynamometric map' for human balance control. *Neuroreport* 9:3247–3252
- Kelly JW, Riecke B** (2008) Visual control of posture in real and virtual environments *Perception & Psychophysics* 70: 158-165
- Kennedy PM, Inglis JT** (2002) Distribution and behaviour of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole. *J Physiol* 538:995–1002
- Lee DL, Lishman JR** (1975) Visual proprioceptive control of stance. *J Hum Mov Studies* 1:87-95
- Lee DL, Lishman JR** (1977) Vision, the most efficient source of proprioceptive information for balance control. *Aggressologie* 18:83–94
- Lord, S. R. és Dayhew, J.** (2001) Visual risk factors for falls in older people. *Journal of the American Geriatrics Society*, 49: 508–515



- Madhavan S, Shields RK** (2005) Influence of age on dynamic position sense: evidence using a sequential movement task. *Exp Brain Res* 164:18-28
- Magnusson M, Enbom H, Johansson R, Pyykko I** (1990) Significance of pressor input from the human feet in anterior-posterior postural control. The effect of hypothermia on vibration induced body sway. *Acta Otolaryngol Stockh* 110:182-188
- 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
- Maki BE, Perry SD, Norrie RG, McIlroy WE** (1999) Effects of facilitation of sensation from plantar foot-surface boundaries on postural stabilization in young and older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 54:281-287
- Massion J** (1994) Postural control system. *Current Opinion in Neurobiol* 6:877-887
- Maurer C, Mergner T, Bolha B, Hlavacka F** (2001) Human balance control during cutaneous stimulation of the plantar soles. *Neurosci Lett* 302:45-48
- Mauritz KH, Dietz V** (1980) Characteristics of postural instability induced by ischemic blocking of leg afferents. *Exp Brain Res* 38:117-119
- Meyer PF, Oddson LI, De Luca CJ** (2004) The role of plantar cutaneous sensation in unperturbed stance. *Exp Brain Res* 156:505-512
- Nagy E, Toth K, Janositz G, Kovacs G, Feher-Kiss A, Angyan L, Horvath G** (2004) Postural control in athletes participating in an ironman triathlon. *Eur J Appl Physiol* 92:407-413
- Nagy E, Feher-Kiss A, Barnai M, Preszner-Domján A, Angyan L, Horvath G** (2007) Postural control in elderly subjects participating in balance training. *Eur J Appl Physiol* 100:97-104
- Nashner LM** (1982) Adaptation of human movement to altered environments. *Trends Neurosci* 5:351-361
- Nashner LM, Black FO, Wall C** (1982) Adaptation to altered support and visual conditions during stance: patients with vestibular deficits. *J Neurosci* 5:117-124 *Eur J Appl Physiol*
- Nashner LM, McCollum G** (1985) The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. *Behav Brain Sci* 8:135-172
- Nurse MA, Hulligar M, Wakeling JM, Nigg BM, Stefanyshyn DJ** (2005) Changing the texture of footwear can alter gait patterns. *J Electromyogr Kinesiol* 15:496-506
- Oie KS, Kiemel T, Jeka JJ** (2002) Multisensory fusion: simultaneous re-weighting of vision and touch for the control of human posture. *Cog Brain Res* 14:154-176
- Palluel E, Nougier V, Olivier I** (2008) Do spike insoles enhance postural stability and plantar-surface cutaneous sensitivity in the elderly? *Age* 30:53-61
- Palluel E, Nougier V, Olivier I** (2009) The lasting effects of spike insoles on postural control in the elderly. *Behav Neurosci* 123:1141-1147
- Park JJ, Tang Y, Lopez I, Ishiyama A** (2001) Age-related change in the number of neurons in the human vestibular ganglion. *J Comp Neurol* 431: 437-443
- Perry SD, McIlroy WE, Maki BE** (2000) The role of plantar cutaneous mechanoreceptors in the control of compensatory stepping reactions evoked by unpredictable, multi-directional perturbation. *Brain Res* 877:401-406
- Perry SD** (2006) Evaluation of age-related plantar- surface insensitivity and onset age of advanced insensitivity in older adults using vibratory and touch sensation tests. *Neurosci Lett* 392:62-67
- Peterka RJ, Black FO** (1990) Age-related changes in human posture control: sensory organization test. *J Vestib Res* 1:73-85
- Pitts DG** (1982) The effects of aging on selected visual function: dark adaptation, visual acuity, stereopsis and brightness contrast. In: *Aging and Human Visual Function*, Szerk.: Sekuler R, Kline DW, Dismukes K, New York: A.R. Liss. 135-159
- Porter MM, Vandervoort AA, Lexell J** (1995) Aging of human muscle: structure, function, and adaptability. *Scand J Med Sci Sports* 5:129-142.
- Priplata AA, Niemi JB, Harry JD, Lipsitz LA, Collins JJ** (2003) Vibrating insoles and balance control in elderly people. *Lancet* 362:1123-1124
- Schiebler TH, Junqueira LC, Carneiro J** (1996) *Histologie - Zytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg- New York

- Rosenhall U, Rubin W** (1975) Degenerative changes in the human vestibular sensory epithelia. *Acta Otolaryngol* 79:67-80
- Shumway-Cook A, Horak FB** (1986) Assessing the influence of sensory interaction on balance: suggestion from the field. *Phys Ther* 66:1548–1550
- Shumway-Cook A, Horak FB** (1989) Vestibular rehabilitation: an exercise approach to managing symptoms of vestibular dysfunction. *Semin Hearing* 10:196-205
- Shumway-Cook A, Woollacott M.H.** *Motor Control – Translating Research into clinical practice – Normal Postural Control* (2012) Lippincott Williams&Wilkins
- Schlee G, Sterzing T, Milani TL** (2009) Foot sole skin temperature affects plantar foot sensitivity. *Neurophysiology*, 120:1548-1551
- Stål F, Fransson PA, Magnusson M, Karlberg M** (2003) Effects of hypothermic anesthesia of the feet on vibration-induced body sway and adaptation. *J Vestib Res* 13:39–52
- Taylor PK** (1984) Non-linear effects of age on nerve conduction in adults. *J Neurol Sci* 66:223–234.
- Teasdale N, Stelmach GE, Breunig A, Meeuwse HJ Res** (1991) Age differences in visual sensory integration. *Exp Brain* 85:691-696
- Vaillant J, Vuillerme N, Janvey A, Louis F, Braujou R, Juvin R, Nougier V** (2008) Effect of manipulation of the feet and ankles on postural control in elderly adults. *Brain Res Bull* 75:18–22
- Vaillant J, Rouland A, Martigne P et al** (2009) Massage and mobilization of the feet and ankles in elderly adults: effect on clinical balance performance. *Man Ther* 14:661–664
- Valerio BC, Nobrega JA, Tilbery CP** (2004) Neural conduction in hand nerves and the physiological factor of age. *Arq Neuropsiquiatr* 62:114–18
- Vandervoort AA, McComas AJ** (1986) Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J Appl Physiol* 61:361–367
- Vedel JP, Roll JP** (1982) Response to pressure and vibration of slowly adapting cutaneous mechanoreceptors in the human foot. *Neurosci Lett* 34:289–294
- Verrillo RT, Bolanowski SJ, Gescheider GA** (2002) Effect of aging on the subjective magnitude of vibration. *Somatosens Mot Res* 19:238 –244
- Visser JE, Bloem BR** (2005) Role of the basal ganglia in the balance control. *Neural Plasticity* 2-3:161-174
- Vuillerme N, Pinsault N** (2007) Re-weighting of somatosensory inputs from the foot and the ankle for controlling posture during quiet standing following trunk extensor muscles fatigue. *Exp Brain Res* 183:323–327
- Vuillerme N, Chenu O, Pinsault N, Fleury A, Demongeot J, Payan Y** (2008) Can a plantar pressure-based tongue-placed electro-tactile biofeedback improve postural control under altered vestibular and neck proprioceptive conditions? *Neuroscience* 155:291–296
- Wade MG, Lindquist R, Taylor JR, Treat-Jacobson D** (1995) Optical flow, spatial orientation, and the control of posture in the elderly. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 50:51-58
- Winter DA** (1995) Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture* 3:193–214
- Winter DA, Prince F, Stergiou P, Powell C** (1993) Medial-lateral and anterior-posterior motor responses associated with center of pressure changes in quiet standing. *Neurosci Res Comm* 12:141–148
- 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 L, Judge, J, Whipple, R, & King, M** (1995) Strength is a major factor in balance, gait, and the occurrence of falls. *Journal of Gerontology* 50A, 64-67.
- Woollacott MH, Shumway-Cook A, Nashner L** (1986) Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination. *Int J Aging Hum Dev* 23:97–114
- Wu G, Chiang JH** (1996) The effect of surface compliance on foot pressure in stance. *Gait Posture* 4:12–129 *Eur J Appl Physiol*

*LIST OF OWN PUBLICATIONS AND CONFERENCE PRESENTATIONS**Papers*

**Andrea Preszner-Domjan, Edit Nagy, Edit Szíver, Anna Feher-Kiss, Gyöngyi Horvath, Janos Kranicz** When does mechanical plantar stimulation promote sensory re-weighing: standing on a firm or compliant surface? *European Journal of Applied Physiology* 2012. 112:2979-2987 DOI: 10.1007/s00421-011-2277-5 IF: 2.147

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

**Anna Kiss-Fehér, Andrea Domján-Preszner, Edit Szíver, Edit Nagy, Maria Barnai:** ICF and client evaluation in neurological physiotherapy *Romanian journal of physical therapy* issue 25/2010, 41-44

**Koncsek K, Presznerné Domján A, Róka E, Szíver E, Horváth Gy:** Az MBT (Masai Barfuss Technologie) prompt hatása a testtartásra. *Mozgásterápia* 2006/2 16-19.

**Presznerné Domján A, Nagy E.:** A lumbális gerinc stabilizáló tréningprogramjának hatása a testtartás kontrollra. *Acta Sana* 2006. I. 34-38.

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

**Barnai M, Domján A, Varga J, Somfay A, Jeney K, Sárga N, Verebély B, Horváth Gy:** Az állóképesség fejleszthetősége nyolcvan éves korban. *Acta Sana* 2006.1: 26-33

**Bornemisza Éva, Presznerné Domján Andrea, Barnai Mária, Nagy Edit, Horváth Gyöngyi:** A súlyviselés és a poszturális kontroll alakulása sacroiliacalis (SI) ízületi fájdalom esetén *Acta Sana, Szeged, 2007. I. szám*

*Book chapter*

A fizioterápia alapjai. Presznerné Domján Andrea In: Általános ápolástan és gondozástan Szerk.: Bokor Nándor. 479-487. *Medicina Könyvkiadó Zrt. Budapest, 2009.*

*Presentations, posters*

**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. Miskolc*

**Presznerné Domján A, Laluska J, Liska B, Nagy E:** PNF minták és technikák alkalmazása az egyensúly fejlesztésére – esetismertetés (poszter) *SZTE EFK Fizioterápiás Tanszék 15 éves Jubileumi Kongresszus 2006. Szeged*

**Koncsek K, Róka E, Presznerné Domján A, Szíver E, Horváth Gy:** A gerinc vizsgálata. (poszter) *SZTE EFK Fizioterápiás Tanszék 15 éves Jubileumi Kongresszus 2006. Szeged*

**Barnai M, Nagy E, Rázsó K, Domján A, Horváth Gy:** Az akaratlagos apnoe idő és a fizikai teljesítmény összefüggései (poszter). *SZTE EFK Fizioterápiás Tanszék 15 éves Jubileumi Kongresszus 2006. Szeged*

**Bornemisza É, Presznerné Domján A, Barnai M, Nagy E:** A medence aszimmetriák és a súlyviselés. *SZTE EFK Fizioterápiás Tanszék 15 éves Jubileumi Kongresszus 2006. Szeged*

**Bornemisza É, Presznerné Domján A, Barnai M, Nagy E, Horváth Gy:** Medence aszimmetriák és a súlyviselés (poszter) *Magyar Élettani Társaság LXX. Vándorgyűlése 2006. Szeged*

**Presznerné Domján A, Nagy E, Bornemisza É, Horváth Gy:** The effect of PNF training on postural control – case report (poster) *6TH Mediterranean Congress of PRM Vilamoura, Portugália 18-21 2006. Abstract Book: p.181*

**Nagy E, Fehérné Kiss A, Presznerné Domján A, , Bornemisza É, Horváth Gy:** The effect of Type I. diabetes on the postural control (poster) *6TH Mediterranean Congress of PRM Vilamoura, Portugália 18-21 2006. Abstract Book: p.190*

**Bornemisza É, Presznerné Domján A, Barnai M, Nagy E, Horváth Gy:** The sacroiliac joint pain and the weight-bearing (poster) *6TH Mediterranean Congress of PRM Vilamoura, Portugália 18-21 2006. Abstract Book: p.134*

**Preszner Domján A, Nagy E, Bornemisza É:** PNF minták és technikák alkalmazása az egyensúly fejlesztésére- esetismertetés. Magyar Tudomány Ünnepe SZTE EFK Tudományos Rendezvény 2006.

**Barnai Mária, Domján Andrea, Monek Bernadett:** Aquaterápia a gyógytornásképzésben- Oktatás és wellness a szerb- vajdasági és a magyarországi dél- alföldi területeken, 2006. Gyula

**Monek Bernadett, Preszner Domján Andrea, Szíver Edit, Erdélyi Endre:** Effect of conservative therapy of foot in rheumatoid arthritis, a case report (poszter) 7th Central European Congress of Rheumatology 2008.

**Preszner Domján Andrea, Monek Bernadett, Szíver Edit, Bicskei Csilla, Gutti Judit:** A rheumatoid arthritises lábdeformitások hatása az egyensúlyi paraméterekre. A Magyar Tudomány Ünnepe, 2009. Szeged.

**Preszner Domján Andrea, Monek Bernadett, Szíver Edit, Bicskei Csilla, Gutti Judit:** A rheumatoid arthritises lábdeformitások hatása az egyensúlyi paraméterekre (poszter). Magyar Gyógytornászok Társasága VII. Kongresszusa, 2009. Balatonfüred.

**Fehérné Kiss Anna, Preszner Domján Andrea, Dr. Nagy Edit:** Client evaluation and icf in neurological rehabilitation – case study, Congress of „physical education and sports in the benefit of health” 2010. Nagyvárad

**Szíver Edit, Preszner Domján Andrea, Monek Bernadett, Tóth Kálmán, Balog Attila:** Egyensúly és funkcionális paraméterek gyulladáso és degeneratív kórképekben a csípőizület érintettsége esetén, Magyar Gyógytornászok Társasága Reumatológiai Munkacsoport Találkozója, 2010. Budapest

**Preszner Domján Andrea, Szíver Edit, Dr. Nagy Edit, Fehérné Kiss Anna, Kráncz János:** The effect of manual stimulation of sole on postural stability, Congress of „physical education and sports in the benefit of health”, 2010. Nagyvárad

**Szíver Edit, Preszner Domján Andrea, Dr. Nagy Edit, Fehérné Kiss Anna, Kellermann Péter, Tóth Kálmán:** Functional parameters in degenerative and inflammatory diseases of the hip, Congress of „physical education and sports in the benefit of health”, 2010. Nagyvárad

**Szíver Edit, Preszner Domján Andrea, Monek Bernadett, Gál Vera, Nagy Edit, Fehérné Kiss Anna:** Szemléletváltás – dinamikus gyakorlatok rheumatoid arthritisben; Magyar Gyógytornászok Társasága VIII. Kongresszus, 2011. Pécs

**Monek Bernadett, Szíver Edit, Preszner Domján Andrea, Nagy Edit, Erdélyi E., Bicskei Csilla:** Új szemlélet a rheumatoid arthritises láb kezelésében az eredmények tükrében; Magyar Gyógytornászok Társasága VIII. Kongresszus, 2011. Pécs

**Barnai Mária, Preszner Domján Andrea:** Az aquaterápia ma; Magyar Gyógytornászok Társasága VIII. Kongresszus, 2011. Pécs

**Lukács Ágnes, Fehérné Kiss Anna, Preszner Domján Andrea:** Epikritikus érzéskélesések vizsgálata a proaktív és reaktív egyensúlyi paraméterek tükrében; Magyar Gyógytornászok Társasága VIII. Kongresszus, 2011. Pécs

**Pósa Tímea, Fehér Opletán Andrea, Preszner Domján Andrea:** Szomatoszenzoros talpi ingerlés hatása a statikus egyensúlyi paraméterekre; Magyar Gyógytornászok Társasága VIII. Kongresszus, 2011. Pécs

**Preszner-Domján A., Nagy E., Szíver E., Fehér-Kiss A., Barnai M., Kráncz J.:** How does manual stimulation of sole alone affect the postural control? 16th International WCPT Congress 2011 Amsterdam

**Nagy E., Preszner-Domján A., Szíver E., Fehér Kiss A.:** The effects of proprioceptive training on balance parameters in healthy young students 16th International WCPT Congress 2011. Amsterdam

**Szíver E., Preszner-Domján A., Nagy E., Fehér-Kiss A., Toth K., Balog A.:** Postural control in degenerative and inflammatory diseases of the hip 16th International WCPT Congress 2011. Amsterdam

**Preszner Domján Andrea:** A talpi mechanoreceptorok jelentősége a poszturális stabilitásban Tudományos Fórum 2011, PTE ETK Pécs

**Preszner Domján Andrea:** A manuális talpi ingerlés hatása a talpi taktilis érzéskézőre. A Magyar Tudomány Ünnepe, 2012. Szeged.