

# **PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM**

Biológiai és Sportbiológiai Doktori Iskola

## **Alsó végtagi neurokinematikai szabályozási mechanizmusok az instabil felületen történő egyensúlyozás és a pendulum teszt során**

*PhD értekezés*

**Nyisztorné Mayer Petra**

Témavezetők:

**Dr. Váczai Márk**

habilitált egyetemi docens

**Dr. Laczkó József**

habilitált egyetemi docens

**PÉCS, 2024**

# 1. BEVEZETÉS

Doktori munkám fókuszában az emberi mozgás, azon belül is az alsó végtag neurokinematikai vizsgálatai álltak. Kutatásom során lehetőségem nyílt két különböző, de a propiocepció, a szenzoros visszacsatolás és a motoros koordináció témakörében egymáshoz kapcsolódó két terület alapos vizsgálatára. Értekezésem így két részből épül fel. Egyrészt vizsgáltuk egy népszerű, instabil felszín biztosító, egyensúlyozó képesség fejlesztő eszköz, a Togu Jumper hatását. Két, különböző tulajdonságú oldalán történő egylábú egyensúlyozás során felmértük és összehasonlítottuk az alsó végtag izmainak elektromos aktivitását és az egyensúlyozó végtag kinematikai paramétereit. Másrészt vizsgáltuk a pendulum teszt során a testhelyzet, a végtagdominancia és a teszt speciális indításának hatását az alsó végtag izomtónusára egészséges egyénekénél.

Az egyensúlyozó képesség fejlesztésének leggyakoribb módszerei a testtartási (posturális) kontrollt és stabilitást, az ízületi helyzet- és mozgásérzékelést, valamint az izomerőt fejlesztő, speciális, aktív mozgásformák. Ezek a tréningek, alapjukban véve egymáshoz nagyon hasonlóak: egy vagy két lábon, statikusan vagy dinamikusan, vizuális kontroll mellett vagy anélkül, többnyire fokozatosan, egyre instabilabb felületeken, esetleg a figyelem megosztásával tovább nehezítve végeztenek feladatokat. A szakemberek ehhez a mindennapi gyakorlatban saját tapasztalat alapján használják az instabil eszközöket, felületeket, és hiányzik a kutatásokon vagy a gyártók ajánlásán alapuló használati javaslat, hogy melyiket, mikor és milyen fejlesztésre érdemes alkalmazni. A Togu Jumper (TJ) a gumi félgömb és a billenő deszka ötvöztetésével létrejött, egy, a két oldalán is használható egyensúlyozó eszköz. A félgömbön állva annak puhasága, a sík felszínen egyensúlyozva, a félgömb talajon való billegése ad kihívást a gyakorlatoknak. Számos vizsgálat igazolta a TJ-rel végzett edzések pozitív hatását a testtartás szabályozás, az egyensúlyozó képesség fejlesztés, a deréktáji panaszok, térd fájdalmak csökkentése és az izomerő növelés esetén, de egyik sem tanulmányozta, hogy ez a hatás köthető-e az eszköz valamelyik oldalához (Kowalczyk et al. 2019; Seo and Park 2014; Codorean et al. 2016). Gruber és munkatársai (2005) megfigyelték, hogy rögzített bokaízület esetén az egyensúlyozás kontrollja a lábszárizmokról feljebb kerül a combizmokra. A kemény-sík felületen történő egyensúlyozás, szemben a puha-domború felületen létrejövővel lehetséges, hogy más-más egyensúlyozási stratégiát indukál. Eddig még nem történt vizsgálat arra vonatkozólag, hogy ebben milyen kinematikai és dinamikai mechanizmusok játszanak szerepet.

A megváltozott izomtónus neuromuszkuláris rizikótényező a sportmozgásoknál, de a felsőmotoneuron lézió következtében kialakuló fokozott izomtónus (spasztcitás), ugyancsak súlyos hatással van az ezzel a tünettel élő, neurológiai betegek funkcionális képességeire. Az izomtónus mérése nélkülözhetetlen a spasztcitás mértékének megítéléséhez, változásainak követéséhez, ezáltal a megfelelő terápia beállításához. A quadriceps femoris izom spasztcitásának mérési lehetőségei közé tartozik a Wartenberg féle pendulum teszt, mely megfelelően objektív, egyszerűen kivitelezhető és műszeres vizsgálatokkal kiegészíthető, de protokollja nem egységes. Hiányoznak a szakirodalomból az egészséges fiatal felnőttek különböző vizsgálati helyzetekben pendulum tesztel mért izomtónus felmérései, a végtagdominancia pendulum tesztet befolyásoló hatásai és a teszt elengedésmódjának összehasonlító vizsgálatai. A pendulum tesztel vizsgálható quadriceps femoris izom, rectus femoris fejének hossza csípőcsonti eredése miatt eltérő háton fekvő és ülő helyzetekben. Egyes tanulmányok azt sugallják, hogy a spasztcitás testhelyzetfüggő és a testtartás miatt megváltozó testjellemzők – mint amilyen az izomorsók küszöbértékének és Ia afferens rostjai vezetési sebességének megváltozása (Malthora et al., 2008) vagy az ízület passzív szöveteiben bekövetkező viszkoelasztikus eltérések (van den Noort et al., 2009) – eredménye lehet az izomtónus megváltozása. Korábbi, gerincvelősérültekkel végzett kutatásunkban, mi is azt találtuk, hogy a lengések száma szignifikánsan alacsonyabb volt háton fekvő helyzetben mért pendulum tesztel, összehasonlítva a félülő helyzetben kapott paraméterekkel (Mayer et al., 2022). A lengésszám csökkenés izomtónus növekedést jelez. Tudomásunk szerint, eddig még nem végeztek összehasonlító vizsgálatokat a domináns és a nem-domináns oldalon található quadriceps femoris izom tónusára nézve, pendulum teszt használatával. Cerebrális parézises, spasztikus gyerekeknél pozitív összefüggést találtak a quadriceps femoris izom spasztcitása és az izom térfogata között (Pierce et al., 2012). Ha a végtagdominancia befolyásolja az izomtónust, akkor ennek a végtagjellemzőnek a figyelembevétele meghatározhatja a pendulum tesztel módszertanát. A vizsgálatok folyamán, interakció alakul ki a vizsgáló és a résztvevő személy között. Minél több mérési tapasztalata van az személynek, annál inkább képes a vizsgáló minimális kézmozdulataiból következtetni arra, mikor következik majd be a láb elengedés. Emiatt akaratlanul, de befolyásolhatja a lengőmozgás mintájának alakulását. Automata indítási móddal kivédhető ez a jelenség és objektívebbé válhat a teszt. Az irodalomban csak néhány ilyen automata módszerrel dolgozó pendulum teszt kutatással találkoztunk, melyekben vagy mágneses lábtartó eszközökkel (Winter, 2009; Lim et al., 2006) vagy a boka köré hurkolt zsinór átvágásával (Stein et al., 1996) oldották meg a váratlan teszt indítást.

## 2. CÉLKITŰZÉSEK

A tapasztalatilag azonos nehézségi fokú, de különböző tulajdonságokkal bíró egyensúlyozó eszközök pontos, alsó végtagra gyakorolt hatásának megismerése specifikusabbá és hatékonyabbá teheti az eszközök alkalmazását. A Togu Jumper oldalainak eltérő tulajdonságai miatt feltételeztük, hogy különböző egyensúlyozási stratégiát tesz szükségessé a rajta történő egylábos állás és ezzel más-más hatást gyakorolhat az alsó végtag különböző régióira. Tudomásunk szerint, nem vizsgálták még párhuzamosan az alsó végtag izmainak elektromos aktivitását és a boka, térd, valamint a csípőízület körüli végtagszegmensek kinematikáját a TJ két oldalán történő egyensúlyozás közben. Ezek alapján az alábbi célkitűzéseink voltak:

- Az alsó végtag izmok elektromos aktivitásának vizsgálata és összehasonlítása három különböző felszínen: sík talajon, a TJ domború és a TJ sík oldalán, egylábos egyensúlyozás közben.
- Az alsó végtag szegmenseinek (láb, lábszár, comb, medence) lineáris gyorsulás vizsgálata a három felszínen: sík talajon, a TJ domború és a TJ sík oldalán, egylábos egyensúlyozáskor.
- Az alsó végtag szegmenseinek (láb, lábszár, comb, medence) szegmentális szögváltozásának vizsgálata a három felszínen: sík talajon, a TJ domború és a TJ sík oldalán, egylábos egyensúlyozás közben.

A különböző vizsgálati helyzetek miatt eltérő rectus femoris izomhossz, a domináns és nem domináns végtagok eltérő használata és az indítási módok különbözősége miatt feltételeztük, hogy kifejezett különbségeket fogunk találni a pendulum teszt paramétereiben a vizsgált kondíciók között. Ezek ismeretében az alábbiakat tűztük ki célul:

- Fiatal korú, egészséges egyéneknél vizsgáljuk és összehasonlítjuk a lábszár, pendulum teszt során mért lengési paramétereit háton fekvésben és félülő helyzetben.
- Vizsgáljuk és összehasonlítjuk a domináns és a nem domináns oldali alsó végtag lengési paramétereit pendulum teszt alkalmazása közben.
- Megvizsgáljuk a lábszár lengési paramétereit a hagyományos kézi- és az automata indítási mód használatakor, pendulum teszt során.

### 3. MÓDSZEREK

#### **Egy lábon történő egyensúlyozás a Toгу Jumper két oldalán**

Vizsgálatunkban 14 fő, egyetemista korú, egészséges nő vett részt önkéntesen. Átlagéletkoruk:  $23,6 \pm 1,9$  év volt. A vizsgálati személyeknek három különböző felszínen – sík talajon, a TJ domború oldalán, a TJ sík oldalán – kellett a domináns oldali alsó végtagjukon egyensúlyozniuk. Először minden résztvevő a sík talajon végezte az egyensúlyozást, majd random sorrendben a TJ két oldalán felváltva. Az egyensúlyozási próbák 10 s-ig tartottak (Laudner and Koschnitzky 2010).

Az egyensúlyozás közben az alsó végtagi izmok elektromos aktivitásának adatait telemetrikusan gyűjtöttük. Felületi elektródákat helyeztünk el nyolc alsó végtagi izomra: m. tibialis anterior (TA), m. peroneus longus (PL), m. soleus (SOL), m. gastrocnemius medialis (GastM), m. biceps femoris (BF), m. vastus lateralis (VL), m. vastus medialis (VM) és a m. gluteus medius (GM).

A három felületen történő egyensúlyozó képességet a szegmentális kilengés módszerrel számszerűsítettük (Curtis et al. 2015, Ivusza et al. 2022): a láb, a lábszár, a comb és a medence szegmenseket inerciális mérőegységekkel láttuk el (Noraxon U.S.A. Inc., Scottsdale, United States). A szenzorok három, egymásra merőleges giroszkóppal vannak felszerelve, melyek alkalmasak a szögelfordulás és szögsebesség érzékelésére. Segítségükkel meg tudtuk határozni a szögeltérést a függőleges tengelytől (orientációs szög) a kiválasztott síkban. A függőleges tengely ( $0^\circ$ ) beállítása a kalibráció során történt, mikor a résztvevők 10 s-ig egyenes, zárt állásban maradtak. A gyártó ajánlásait követtük mind a szenzorok elhelyezése, mind a kalibráció kivitelezése során. A szenzorok a végtagsegmensekre kerültek.

A nyers EMG jeleket 2000 Hz frekvenciával gyűjtöttük, szűrtük (20-500 Hz), majd a négyzetgyökátlag módszerrel (RMS) simítottunk, melyhez 50 ms-os mozgó ablakot alkalmaztunk. Végül, kiszámoltuk minden izom feldolgozott EMG átlagát a teljes, 10 s hosszú egyensúlyozás idejére.

A teszt folyamán Noraxon MyoMotion rendszerrel (Noraxon United States. Inc., Scottsdale, United States) az idő függvényében, 100 Hz-es adatgyűjtési frekvenciával rögzítettük a szegmentális orientációs szög és a lineáris gyorsulási adatokat mind frontális, mind sagittális síkban. Minden EMG és kinematikai adatot a myoRESEARCH 3.18 softwear-

rel szinkronizáltunk és dolgoztunk fel. A három különböző felszínen végzett egyensúlyozás három kísérletének átlagai kerültek statisztikai elemzésre.

A statisztikai analízis során a mért és kiszámított változókra átlagokat és szórásokat számoltunk. Minden adatot ellenőriztünk normalitás szempontjából (Shapiro-Wilk teszt). Az izmok relatív EMG-aktivitását a különböző kondíciók (felszínek) között két szempontos ANOVA-val hasonlítottuk össze, melyben független változó volt az izom (TA, PL, SOL, GastM, VL, VM, BF, GM) és a felszín (sík talaj, TJ domború oldal és TJ sík oldal). A kondíciók (sík talaj, TJ domború oldal és TJ sík oldal) és a testszegmensek (láb, lábszár, comb és medence) közötti interakciók vizsgálatához kétszemponos ANOVA-t alkalmaztunk a lineáris gyorsulás és a szegmentális kitérések adatainál, amelyeket frontális és szagittális síkban rögzítettünk a 10 s hosszú egyensúlytesztek során. Minden páronkénti összehasonlításnál Bonferroni-korrekciót végeztünk. A statisztikai szignifikancia értéke  $p = 0,05$  volt.

### **Izomtónus mérése pendulum teszttel**

Vizsgálatunkban 15 fő (9 fő férfi, 6 fő nő), egyetemista korú (18-32 éves), egészséges fiatal felnőtt vett részt önkéntesen. Vizsgálatunkhoz egy Zebris 3D-s, ultrahang alapú mozgásvizsgáló rendszert használtunk (ZEBRIS, CMS10, Medizintechnik GmbH, Isny, Germany). A berendezés alkalmas az izomaktivitás és a kinematikai adatok egyidejű rögzítésére, 8-8 csatornán.

Négy-négy Zebris markert helyeztünk el a végtagok laterális oldalán: a malleolus lateralis-on, a fibula fején, a femur lateralis epicondylus-án és a trochanter major-on. A felületi elektródákat négy combizomra tettük, a SENIAM ajánlása szerinti pozíciókba ([www.seniam.org](http://www.seniam.org)): m. vastus lateralis, m. vastus medialis, m. rectus femoris, m. biceps femoris. A tesztet két indítási móddal (a,b), háton fekvő – és fülülő helyzetben, a domináns és a nem-domináns végtaggal, így összesen nyolc kondícióban végeztettük és elemeztük.

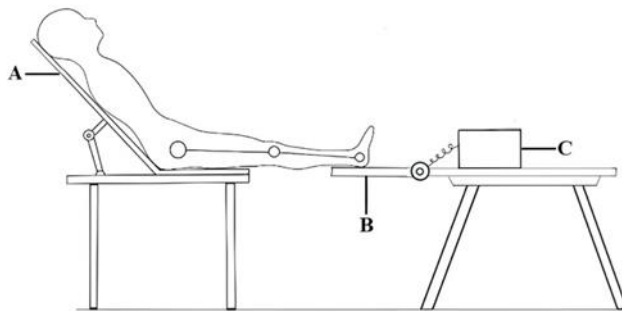
- a) *Vizsgáló általi indításmód:* a vizsgáló kezébe fogja a résztvevő bokáját, majd a lábszár megemelésével teljes extenzióba hozza a térdízületet, de a végtagot nem emeli el a kezelőasztalról. Felszólítja az személyt a teljes lazításra, majd váratlanul elengedi a végtagot, mely ezután szabadon leng.

*Automata indításmód:* a résztvevő bokája egy lábtartó falemezen (38 cm x 34 cm) nyugszik, mely csuklópántokkal kapcsolódik egy stabil asztalhoz. Térdízülete teljes extenzióban van, combja felfekszik a kezelőasztalra. Amikor a lábtartó zárt, egy erős elektromágnes tartja vízszintes helyzetben. Az izmok ellazítása után, amikor a vizsgáló

készületi jelzést küld a vezérlőegységnek, az 5-15 másodperc közötti, véletlenszerűen megválasztott időpontban kikapcsolja az elektromágneest, így a lábtartó váratlan lecsapódása indítja a tesztet (1. ábra).

A központi mérőegység 50 Hz mintavételi frekvenciával gyűjtötte a kinematikai markerek helyzetének adatait, melyeket sajátfejlesztésű MATLAB programmal és Python software-rel dolgoztunk fel. A térdhajlásszögek trigonometriai egyenletekkel kerültek kiszámításra. A relaxációs index (RI) kifejezi, hogy hogyan aránylik az első térd flexió hajlásszöge, a kezdeti hajlásszög és nyugalmi (végső) hajlásszög különbségéhez (Bajd és Vodovnik 1984). Az index, számos tanulmány szerint megbízhatóan jelzi a spaszticitást (Brown et al. 1988).

Az adatok statisztikai elemzéséhez SPSS Statistics (Version 29) szoftvert használtunk. Az adatok normál eloszlását Shapiro-Wilk teszttel ellenőriztük. Azokon az adatsorokon, melyek normál eloszlást mutattak ( $p > 0,05$ ) páros t-próbát, azokon, amelyek nem voltak normál eloszlásúak ( $p \leq 0,05$ ) Wilcoxon tesztet alkalmaztunk. Összehasonlítottuk a két vizsgálati helyzet, a domináns és nem-domináns végtag, valamint a két teszt indítási mód adatait. A szignifikancia szint  $p = 0.05$  volt.



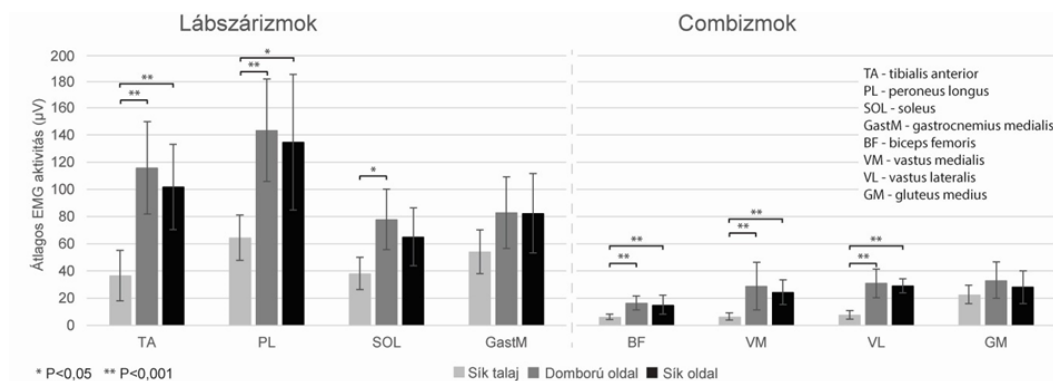
1. ábra: A pendulum teszt vizsgálati beállítása automata indítási mód alkalmazásakor. (A): állítható háttámla 45°-os fülülő helyzetben, (B): elektromágnessel rögzített lábtartó, (C): vezérlőegység

## 4. EREDMÉNYEK

### Egy lábon történő egyensúlyozás a Togu Jumper két oldalán

#### EMG eredmények

Az izmok elektromos aktivitásában, szignifikáns főhatást találtunk a felületre ( $F = 123.69$ ,  $p < 0.001$ ) és az izomra ( $F = 69.87$ ,  $p < 0.001$ ), szignifikáns felület-izom interakcióval ( $F = 13.18$ ,  $p < 0.001$ ). A főhatás *post-hoc* tesztje szerint az izmok elektromos aktivitása magasabb volt, amikor a TJ bármelyik oldalán történt az egyensúlyozás, mint amikor a sík talajon ( $p < 0.001$ ), ha az izmok elektromos aktivitását összegeztük egy-egy kondícióban belül, de nem volt az EMG-ben különbség a TJ két oldalán történő egyensúlyozásokat összevetve ( $p = 0.230$ ). A felület-izom interakció *post hoc* tesztje alapján elmondható, hogy a GM és a GastM izmok aktivitása nem különbözött a három kondícióban és a SOL izom aktivitása nagyobb volt a TJ domború oldalán, mint a TJ sík oldalán ( $p = 0.009$ ). A többi izom magasabb elektromos aktivitást mutatott a TJ kondíciókban, mint a sík talajon, de nem volt közöttük különbség, amikor a TJ oldalait hasonlítottuk össze (2. ábra).



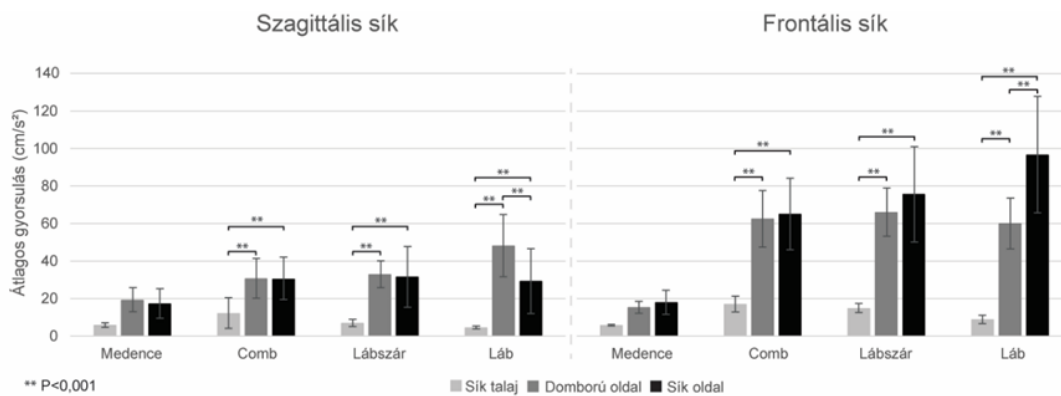
2. ábra: Átlagos EMG aktivitás (átlag±SD) három kondícióban (sík talaj, Togu Jumper domború oldal, Togu Jumper sík oldal), lábszár és comb izmokban, 10 s -ig tartó, egy lábás egyensúlyozás során. Statisztikailag szignifikáns különbségek: \*( $p < 0.05$ ), \*\*( $p < 0.001$ ).

#### Lineáris gyorsulás

A statisztikai elemzés után főhatást találtunk a felületre frontális síkban ( $F = 72.38$ ,  $p < 0.001$ ) és szagittális síkban ( $F = 107.47$ ,  $p < 0.001$ ), valamint a szegmensre frontális síkban ( $F = 43.37$ ,  $p < 0.001$ ) és szagittális síkban ( $F = 24.11$ ,  $p < 0.001$ ). Ezenfelül szignifikáns felület-szegmens interakciót észleltünk mind frontális ( $F = 30.17$ ,  $p < 0.001$ ), mind szagittális síkban ( $F = 17.64$ ,  $p < 0.001$ ). A *post hoc* teszt szerint a láb gyorsulása szignifikánsan különbözött a három kondícióban ( $p < 0.001$ ), mindkét sík esetén. Szagittális síkban a legnagyobb a TJ



domború oldalán, míg a legkisebb a sík taljon volt. Frontális síkban a legnagyobb a TJ sík oldalán és legkisebb szintén a sík talaj kondícióban volt. A lábszár és a comb szegmenseknél, mindkét síkban, mindkét TJ oldalon nagyobb gyorsulást találtunk, mint a sík talajon, de nem volt különbség a TJ domború és sík oldala között. Nem találtunk különbséget a gyorsulás értékeiben a medence szegmensnél, a három kondíciót összevetve, egyik sík esetén sem (minden  $p > 0.05$ )(3. ábra).



3. ábra: Átlagos lineáris gyorsulás (átlag $\pm$ SD) három kondícióban (sík talaj, Togu Jumper domború oldal, Togu Jumper sík oldal) végzett egy lábás, 10 s idejű egyensúlyozás közben, az alsó végtag szegmenseinél, frontális és szagittális síkban. A jelölt szignifikancia szint:  $** (p < 0.001)$ .

#### Szegmentális orientációs szögváltozás

A szegmentális orientációs szögváltozásban szignifikáns főhatást találtunk a felszínre, mindkét síkban (frontális sík:  $F = 66.92$ ,  $p < 0.001$ , szagittális sík:  $F = 20.01$ ,  $p < 0.001$ ) és szignifikáns felület-szegmens interakciót ( frontális sík:  $F = 51.54$ ,  $p < 0.001$ , szagittális sík:  $F = 5.12$ ,  $p < 0.001$ ). A láb szegmens esetén, frontális síkban a *post hoc* teszt szerint szignifikáns különbség volt a szegmentális orientációs szögváltozásban mindhárom kondíció között ( $p < 0.001$ ), szagittális síkban pedig a szegmentális orientációs szögváltozás nagyobb volt a TJ domború oldalán történő egyensúlyozáskor, mint a két másik kondícióban ( $p < 0.001$ ) és nem volt különbség a sík talaj és a TJ sík oldala között ( $p = 0.260$ ). Nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a három kondícióban mért szegmentális orientációs szögváltozások között egyik síkban sem, a lábszár, a comb és a medence szegmensek esetén (minden  $p > 0.05$ ).

## Izomtónus mérése pendulum teszttel

### *Lengésszám eredmények*

A statisztikai elemzések alapján, félülő és a háton fekvő helyzetben mért lengésszámok összehasonlításakor, vizsgáló általi elengedés esetén, nem találtunk szignifikáns különbséget a domináns végtagnál, de a nem-dominánsnál a lengésszám magasabb volt félülő helyzetben, mint fekvő helyzetben, viszont csak megközelítőleg szignifikánsan ( $p=0.06$ ,  $p = 0.07$ ). Automata elengedésmódnál, a lengésszám magasabb volt a nem-domináns végtag esetén félülő helyzetben, mint fekvő helyzetben ( $p = 0.03$ ), mely a quadriceps femoris izom, fekvő helyzetben megjelenő magasabb izomtónusára utal. Összehasonlítva a domináns és nem-domináns oldali alsó végtag lengésszámait, azt találtuk, hogy a nem-domináns oldalon automata elengedésmód esetén mindkét testhelyzetben szignifikánsan magasabb lengésszámokat mértünk, mint a domináns oldalon ( $p = 0.009$ ,  $p < 0.001$ ) és ugyanilyen eltérést kaptunk a vizsgáló általi elengedésmódnál, háton fekvő helyzetben ( $p < 0.001$ ). Ezek az eredmények a domináns oldali quadriceps izom magasabb tónusát jelzik a nem-dominánshoz képest. A vizsgáló általi (kézi) elengedésmódban mért lengésszámokat összehasonlítva az automata elengedésmód lengésszámaival, azt az eredményt kaptuk, hogy nincs szignifikáns különbség közöttük egyik teszt-kondícióban sem.

### *Relaxációs index eredmények*

A félülő és az ülő helyzetben számolt RI eredmények összehasonlításakor azt kaptuk, hogy nincs szignifikáns különbség közöttük a vizsgáló általi elengedésmód esetén, de automata indításmódnál az RI értékek háton fekvő helyzetben alacsonyabbak voltak, mint félülő helyzetben a domináns ( $p = 0.005$ ) és a nem-domináns ( $p < 0.001$ ) végtag esetén is, mely megerősíti a magasabb quadriceps femoris izomtónus meglétét, háton fekvő helyzetben. Az RI értékek, a domináns és a nem-domináns oldal összehasonlításakor szignifikánsan kisebbek voltak a nem-domináns oldalon, mindkét elengedésmód esetén (minden  $p < 0.05$ ). Ezek az eredmények a nem-domináns végtagnál jeleznek nagyobb izomtónust. A vizsgáló általi (kézi) elengedés RI-jét, összehasonlítva az automata elengedésmódnál számolt relaxációs indexekkel a domináns végtagnál nem találtunk szignifikáns különbséget a két elengedésmód között, míg a nem-domináns végtag RI értékeit vizsgálva ellentmondásos eredményt kaptuk, miszerint háton fekvésben, a vizsgáló általi elengedés esetén ( $p = 0.01$ ), félülő helyzetben pedig az automata elengedésmódnál voltak magasabbak az RI értékei ( $p = 0.009$ ).

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

### **Egy lábon történő egyensúlyozás a Togu Jumper két oldalán**

Dolgozatomban bemutattam, hogy a sík talajon és a Togu Jumper (TJ) egyensúlyozó képesség fejlesztő eszköz két, különböző tulajdonságokkal bíró felületén történő, egylábás egyensúlyozás során hogyan változik az alsó végtagi izmok elektromos aktivitása. Annak ellenére, hogy az eszköz két oldala más-más tulajdonságokkal bír, nem volt különbség az izmok elektromos aktivitásában a TJ két oldalán, az egy lábon való egyensúlyozások során. Ezenfelül, dolgozatomban bemutattam az alsó végtag szegmenseinek (láb, lábszár, comb, medence) lineáris gyorsulását és szegmentális szögelhajlását egylábás egyensúlyozás közben, sík talajon és a TJ két oldalán. A lineáris gyorsulás frontális síkban, a TJ sík oldalán volt a legnagyobb a láb szegmens esetében. A medence gyorsulása nem változott a kondíciók között. A szegmentális szögváltozás frontális síkban, a TJ domború oldalán volt a legnagyobb a láb szegmensnél. Ezekből azt a következtetést vontam le, hogy a TJ két oldalán történő egylábás egyensúlyozáshoz különböző egyensúlyozási stratégiára van szükség a láb szegmens esetén és a medence szegmens egyensúlyozási paraméterei nem változnak a vizsgált felszíneken.

### **Izomtónus mérése pendulum teszttel**

Dolgozatomban bemutatásra került, hogy a testhelyzet, a végtagdominancia és egy automata elengedési mód milyen hatással van egészséges fiatalok izomtónusára, Wartenberg féle pendulum teszt alkalmazásakor. A lengésszámok magasabbak voltak félülő helyzetben, mint háton fekvő helyzetben, ha automata elengedésmódot használtunk, mely alacsonyabb izomtónusra enged következtetni. A nem domináns végtagnál a lengések száma magasabb volt, mint a domináns oldalon, mindkét testhelyzetben, amikor automata elengedést alkalmaztunk. A vizsgáló általi elengedés esetén ezt csak háton fekvésben tapasztaltuk. A lengések számában nem találtunk szignifikáns különbséget a vizsgáló általi elengedés és az automata elengedés között egyik kondícióban sem. Emellett bemutatásra kerültek a pendulum teszt során felmért lábszárlengések paramétereiből számított relaxációs index értékek. Automata elengedésmód esetén, a relaxációs index magasabb volt háton fekvő helyzetben, mint félülő helyzetben, mely kisebb izomtónusra utal háton fekvésben. A relaxációs index értékei nem minden teszt kondícióban támasztották alá a lengések számából következtethető izomtónus eredményt. A kutatás eredményei azt sugallják, hogy a jövőben a gyakorlatban célszerű lenne az automatikus indítási módszert használni a pendulum tesztnél, mivel ez pontosabb és megbízhatóbb adatokat biztosíthat a testhelyzetek összehasonlításában, és mindenképpen figyelembe kell venni a végtagdominanciát.

## 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bajd, T., & Vodovnik, L. (1984). Pendulum testing of spasticity. *Journal of biomedical engineering*, 6(1), 9-16.
- Brown RA, Lawson DA, Leslie GC, Part NJ. Observations on the applicability of the Wartenberg pendulum test to healthy, elderly subjects. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* 1988;51(9), 1171-1177.  
<https://doi.org/10.1136/jnnp.51.9.1171>
- Codorean H, Codorean IB, Cojocaru V (2016) Functional rehabilitation of the knee joint after cruciate ligament reconstruction in the football players-recovery in therapy room. *Medicina Sportiva: Journal of Romanian Sports Medicine Society* 12:2792-2797
- Curtis, D. J., Hansen, L., Luun, M., Løberg, R., Woollacott, M., Saavedra, S., ... & Bencke, J. (2015). Measuring postural sway in sitting: a new segmental approach. *Journal of motor behavior*, 47(5), 427-435.
- Gruber, M., Bruhn, S., & Gollhofer, A. (2005). Specific adaptations of neuromuscular control and knee joint stiffness following sensorimotor training. *International journal of sports medicine*, 636-641.
- Ivusza, P., Hortobágyi, T., Sebesi, B., Gáspár, B., Fésüs, Á., Varga, M., ... & Vácz, M. (2022). No difference in the acute effects of randomization vs. Blocking of units of lower-extremity proprioceptive training on balance and postural control in young healthy male adults. *Frontiers in Physiology*, 13, 824651.
- Kowalczyk M, Tomaszewski P, Bartoszek N, Popieluch M (2019) Three-Week Intensive Neuromuscular Training Improves Postural Control in Professional Male Soccer Players. *Polish Journal of Sport and Tourism* 26:14-20. doi: 10.2478/pjst-2019-0009
- Laudner KG, Koschnitzky MM (2010) Ankle muscle activation when using the Both Sides Utilized (BOSU) balance trainer. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 24:218-222. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c490d4
- Lim HK, Cho KH, Kim BO, Lee YS. (2006) Pendulum Test and Parameters for Quantitative Evaluation of Spasticity. *Key Engineering Materials*;326, 859-862.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.326-328.859>

- Malhotra, S., Cousins, E., Ward, A., Day, C., Jones, P., Roffe, C., & Pandyan, A. (2008). An investigation into the agreement between clinical, biomechanical and neurophysiological measures of spasticity. *Clinical rehabilitation*, 22(12), 1105-1115.
- Mayer P, Zentai N, Mravcsik M, Bartok H, Radeleczi B, Laczko J. (2022) The effect of body position on the spasticity of quadriceps muscle after spinal cord injury. Program No. 303.15 Neuroscience Meeting Planner. San Diego, CA: Society for Neuroscience; Online
- Seo DH, Park GD (2014) Effect of Togu-exercise on lumbar back strength of women with chronic low back pain. *Journal of physical therapy science* 26:637-639. <https://doi.org/10.1589/jpts.26.637>
- Stein RB, Zehr EP, Lebedowska MK., Popovic DB, Scheiner A, Chizeck HJ. (1996) Estimating mechanical parameters of leg segments in individuals with and without physical disabilities. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering* ;4(3), 201-211. <https://doi.org/10.1109/86.536776>
- van den Noort, J. C., Scholtes, V. A., & Harlaar, J. (2009). Evaluation of clinical spasticity assessment in cerebral palsy using inertial sensors. *Gait & posture*, 30(2), 138-143.
- Winter DA. (2009) Biomechanics and motor control of human movement. John Wiley & sons;97-98. <https://doi.org/10.1002/9780470549148.ch5>

## 7. SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

### A disszertáció alapjául szolgáló közlemények

**Mayer P**, Sebesi B, Vadász K, Laczkó J, Zentai N, Balázs B, Váczi M. (2023) Kinematics and muscle activity of the lower limb during single-leg stance on the two sides of the Togu Jumper FRONTIERS IN PHYSIOLOGY 14 Paper: 1049035 , 9 p. (Q1; IF: 4,755)

**Mayer P**, Bodor A, Szabó D, Laczkó J, Zentai N. (2024) The effect of body position, leg dominance, and automatic releasing mechanism on quadriceps muscle tone assessed by Pendulum Test in able-bodied persons IDEGGYÓGYÁSZATI SZEMLE-Clinical Neuroscience (elfogadva, szerkesztés alatt) (Q4; IF: 0,9)

### A disszertáció témájához kapcsolódó magyar és idegen nyelvű konferenciaközlemények

**Mayer, P.**, Vass, L., & Váczi, M. (2019). KINEMATICS AND MUSCLEACTIVITY OF THE LOWER LIMB DURING ONE LEG STAND ON DIFFERENT SURFACES (PILOT STUDY). In 24th Annual Congress of the EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE - BOOK OF ABSTRACTS (pp. 649–650).

**Mayer P**, Sebesi B, Balázs B, Vadász K, Vass L, Laczkó J, Váczi M. (2021) Alsó végtagi izomaktivitás és kinematika vizsgálata instabil felületen végzett egyensúlyozás közben MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 22. : 91(3) pp. 82-82. , 1 p.

**Mayer P**, Zentai N, Mravcsik M, Bartok H, Radeleczi B, Laczko J. (2022) The effect of body position on the spasticity of quadriceps muscle after spinal cord injury. Program No. 303.15 Neuroscience Meeting Planner. San Diego, CA: Society for Neuroscience; Online

**Mayer, P.**, Bartók, H., Zentai, N., Radeleczi, B., & Mravcsik, M. (2022). Spaszticitás mérése mozgásanalizáló készülékkel éptestű és gerincvelősérült személyeknél. REHABILITÁCIÓ: A MAGYAR REHABILITÁCIÓS TÁRSASÁG FOLYÓIRATA, 32(3), 49.

**Mayer, P.**, Bodor, A., Laczkó, J., & Zentai, N. (2023). Spaszticitás Pendulum teszttel való mérésének függése a testhelyzettől és a teszt indításának módjától. REHABILITÁCIÓ: A MAGYAR REHABILITÁCIÓS TÁRSASÁG FOLYÓIRATA, 33(2–3.), 55–55.

**Mayer, P.**, Bodor, A., Laczkó, J., Szabó, D., & Zentai, N. (2024). A testhelyzet, a végtagdominancia és a pendulum teszt speciális indításainak hatása az alsó végtag izomtónusára. MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE, 25(108), 82–82.

**Mayer P**, Zentai N, Bodor A, Laczko J. (2024): Comparison of investigator-release and automata-release mechanisms when applying Pendulum Test to assess quadriceps muscle tone in able bodied persons. Accepted for presentation at Neuroscience 2024, Annual Meeting of the Society for Neuroscience, taking place October 5, In Chicago, IL, USA

## Nem a disszertáció témájához kapcsolódó közlemények

Váczi M, **Nyisztorné Mayer P**, Vass L, Vadász K, Pozsgai M, Sebesi B, Mészler B, Atlasz T. (2018) Térdízületet stabilizáló izmok erejének és aktivitásának szerepe unilaterális felugrásnál és leérkezésnél MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 19 : 75(3) pp. 94-94. , 1 p.

Varga M, **Nyisztorné Mayer P**, Vass L, Vadász K, Sebesi B, Mészler B, Atlasz T, Váczi M. (2018) Térdízületi és medencestabilizáció frontális síkú neurokinematikai mechanizmusai unilaterális felugrásnál MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 19 : 77(5) pp. 78-78. , 1p.

Sebesi B, **Mayer P**, Vass L, Vadász K, Varga M, Mészler B, Atlasz T, Váczi M. (2018) The role of hip joint abductors in stabilizing the knee joint during unilateral jumping and unilateral landing on unstable surface.

Sebesi B, **Nyisztorné Mayer P**, Vass L, Vadász K, Varga M, Mészler B, Atlasz T, Váczi M. (2018) Térdízületi stabilizáció unilaterális felugrásnál és instabil leérkezésnél Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország 2018.12.07. - 2018.12.08. Budapest: Magyar Sporttudományi Társaság,

Sebesi B, **Mayer P**, Vass L, Vadász K, Varga M, Mészler B, Atlasz T, Váczi M. (2019) The role of gluteus medius muscle in stabilizing the knee joint during jumping and landing on unstable surface In: Proceedings of Global Congress on Physiotherapy, Physical rehabilitation & Sports Medicine 2019-04-22-24. [Dubai, Egyesült Arab Emírségek] pp. 55-55. , 1 p.

Varga M, Atlasz T, Vadász K, Vass L, Mészler B, **Mayer P**, Sebesi B, Váczi M. (2019) Frontal plane neurokinematical mechanisms of knee joint and pelvis stabilization during unilateral vertical jump In: Proceedings of Global Congress on Physiotherapy, Physical rehabilitation & Sports Medicine 2019-04-22-24. [Dubai, Egyesült Arab Emírségek] pp. 56-56. , 1 p.

Sebesi B, **Nyisztorné Mayer P**, Vass L, Vadász K, Varga M, Mészler B, Atlasz T, Váczi M. (2019) The role of hip joint abductors in stabilizing the knee joint during unilateral jumping and unilateral landing on unstable surface In: Csiszár, Beáta; Bódog, Ferenc (szerk.) Medical Conference for PhD Students and Experts of Clinical Sciences : Book of abstracts Pécs, Magyarország : Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat, 87 p. p. 25

Vadász K, **Nyisztorné Mayer P**, Vass L, Varga M, Sebesi B, Mészler B, Atlasz T, Váczi M. (2019) Medenceövi izmok aktivitása unilaterális felugrásnál In: IV. Sporttudományi PhD Szimpózium : Program- és absztraktfüzet p. 58 , 58 p.

Sebesi B, **Nyisztorné Mayer P**, Vass L, Vadász K, Varga M, Mészler B, Atlasz T, Váczi M. (2020) A térdízület direkt és indirekt stabilizációjának biomechanikai vizsgálata = Direct and indirect stabilization mechanisms in the knee joint In: Prisztóka, Gyöngyvér; Pfefferkorn, Laura-Jane; Kertai, Bendegúz (szerk.) XVIII. Szentágothai János Multidiszciplináris Konferencia és Hallgatói Verseny Absztrakt kötet XVIII. János Szentágothai Multidisciplinary Conference and Student Competition Book of Abstracts Pécs, Magyarország : János Szentágothai Scholastic Honorary Society, Faculty of Sciences, University of Pécs 187 p. pp. 173-174. , 2 p.

Varga M, Atlasz T, Vadász K, Vass L, Mészler B, **Mayer P**, Sebesi B, Váczi M. (2020) Összefüggés a gluteus medius aktivitása és a térd valgus között unilaterális felugrással = Association between gluteus medius activity and knee valgus during unilateral vertical jump In: Prisztóka, Gyöngyvér; Pfefferkorn, Laura-Jane; Kertai, Bendegúz (szerk.) XVIII. Szentágothai János Multidiszciplináris Konferencia és Hallgatói Verseny Absztrakt kötet XVIII. János Szentágothai Multidisciplinary Conference and Student Competition Book of Abstracts Pécs: János Szentágothai Scholastic Honorary Society, Faculty of Sciences, University of Pécs 187p. pp 175-177. , 2 p.

Vadász K, **Nyisztorné Mayer P**, Varga M, Sebesi B, Váczi M. (2021) Medenceövi izmokban mért neurokinematikai mechanizmusok unilaterális felugrásnál MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 22. : 91(3) pp. 121-121. , 1 p.

Szabó, D., Kiss, G., Tékus, E., **Mayer, P.**, Váczi, M., Fekete, J. D., ... Mintál, T. (2024). Therapeutic Effectiveness of Postural Treatment on Youth Swimmers' Anterior Shoulder Pain—An Interventional Study. APPLIED SCIENCES-BASEL, 14(4). <http://doi.org/10.3390/app14041486>

## **Nem a disszertáció témájához kapcsolódó magyar és idegen nyelvű konferenciaközlemények**

**Nyisztorné, M. P.**, Vass, L., & Váczi, M. (2018). Lábszárizmok erejének, aktivitásának és a boka propriocepciójának vizsgálata bokaszalag sérülteknél a sportrehabilitáció kezdetén. MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE, 19(3(75)), 71–72.

**Mayer, P.**, & Vass, L. (2019). Hosszú távú, gyalogos zárandoklatok testmozgást befolyásoló hatásai. MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE, 20(2(79)), 63.

Vadász K, **Nyisztorné Mayer P**, Vass L, Varga M, Sebesi B, Meszler B, Atlasz T, Váczi M. (2019) Gluteus medius, quadratus lumborum és erector spinae izmok aktivitása különböző terhelésű függőleges felugrási kondíciók alatt In: XVI. János Szentágothai Multidisciplinary Conference and Student Competition – Abstracts. Pécs, Magyarország : János Szentágothai Scholastic Honorary Society, Faculty of Sciences, University of Pécs, pp. 212-212. , 1 p

Vadász K, **Nyisztorné Mayer P**, Vass L, Varga M, Sebesi B, Meszler B, Atlasz T, Váczi M.(2019) Gluteus medius, quadratus lumbroum, and erector spinae muscle activity during vertical jump with various loads In: Bunc, V.; Tsolakidis, E. (szerk.) 24th Annual Congress of the european college of sport science - book of abstracts. Köln, Németország : European College of Sport Science, pp. 29-29. , 1 p.