

A FEJMOZGÁS SZEREPE AZ EGYENSÚLYOZÓ KÉPESSÉGBEN

Kiss Bernadett, Kiss Rita M.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

betgo95@gmail.com

DOI: 10.17489/2018/1/05

Absztrakt

Az ember egy instabil rendszer, így folyamatosan működő szabályozás szükséges a stabilizálásához. Ezt a szabályozó rendszert jellemzi az egyensúlyozó képesség. A kutatás célja a dinamikus egyensúlyozó képesség elemzése hirtelen irányváltoztatás, ún. kilökéses tesztek segítségével. Ha az ember állását megzavarjuk, egyensúlyát veszti. Mivel a fejen belül a belső fülben a vesztibuláris rendszer továbbítja az agy felé az egyensúlyozáshoz szükséges megfelelő jeleket, jelen kutatásban a fejmozgás szerepét elemeztük, mint egy meghatározó tényezőt az egyensúlyozó képességben, hiszen itt található a mozgásunk detektálására alkalmas két legfontosabb érzékelőrendszer (látórendszer, vesztibulárisrendszer) is. A kutatás célja olyan új paraméterek definiálása, amelyek az emberi egyensúlyozó képességet megfelelő megbízhatósággal jellemzik.

A mérésben 2 nő és 9 férfi vett részt ($n = 11$; átlagos életkor: 22.82 ± 1.72 év; átlagos magasság: 179.42 ± 10.83 cm; átlagos testtömeg: 80.65 ± 19.90 kg). A mérésekben részt vevő alanyoknál a kiválasztás feltétele az volt, hogy ne rendelkezzenek mozgásrendszerbeli hátrányossággal.

A dinamikus egyensúlyozó képességet ún. kilökéses teszttel 6 különböző testhelyzetben (kétlábás állás nyitott és csukott szemmel 4 és 8 rugós felfüggesztésnél és egylábás állás mindkét lábbal nyitott szemmel 4 rugós felfüggesztésnél) vizsgáltuk egy PosturoMed[®] (Haider-Bioswing, Weiden, Németország) eszköz segítségével. Az alany fejére markerekkel felszerelt munkavédelmi sisakot rögzítettünk és a platformra markereket helyeztünk, melyek térbeli koordinátáit a BME MOGI Tanszékének Mozgáslaboratóriumában található Optitrack[®] Motion Capture kamerarendszer (NaturalPoint, Inc. DBA OptiTrack) segítségével rögzítettük a Motive[®] (NaturalPoint, Inc. DBA OptiTrack) és MUBMA (MOGI Universal Biomechanical Motion Analyzer) mérésvezérlő programok felhasználásával. A fejmozgást leíró paraméterek megbízhatóságának elemzéséhez a vizsgálatokat 4 alkalommal végeztük el. Minden alkalommal az alanyok mozgását 10-szer mértük. Az alkalmak között rendben 3, 9 és 3 nap kimaradás volt, hogy rövidtávú és hosszabb távú ismétléses tesztet is elvégezzünk.

A koordinátákból 37 paramétert számítottam és értékeltem ki Mathematica (Wolfram[®], v11.2) algoritmusokkal. A paramétereket a platformmozgásból, a fejmozgásból, valamint a fej és platform egymáshoz viszonyított mozgásából számítottam. Az eredmények kiértékelése során elemeztem a sikeres/sikertelen mérések arányát, a mérési alkalmak közötti szignifikáns különbségeket, a vizsgált paraméterek korrelációját és megbízhatóságukat a szakirodalomból ismert megbízhatósági együtthatók (ICC, CV, CVCR) számításával az IBM SPSS Statistics 22[®] program segítségével. A tesztek eredményei alapján a nem megbízható paramétereket kizártam, így 8 (ebből 5 új: PlatXMinmax, PlatXlokmax, PlatXlokmax_T, PlatPathX és PlatPathY) platformmozgásból számított és 2 új (DiffPathX és DiffMin_X) a fej és a platform egymáshoz viszonyított mozgását jellemző paraméter lett megbízható. A paramétereket olyan szempontból is elemeztem, hogy egyes vizsgált testhelyzetek mérési eredményei között melyek mutatnak szignifikáns különbségeket. A megbíz-

hatósági tesztek eredményeiből az is megállapítható, hogy a 4 rugós, kétlábás, nyitott és csukott szemes, valamint a 8 rugós, kétlábás, csukott szemes méréseket több paraméter jellemezte megbízhatóan, mint a többi testhelyzetben történt mérést. Célszerű ezeket a beállításokat alkalmazni, mivel megbízhatóságuk jelentősebb. A 10 megbízhatónak talált paraméter a 11 vizsgált testhelyzet összehasonlítási esetből minimum 6-nál szignifikáns különbséget mutatott. Így kijelenthető, hogy ezek a paraméterek az alkalmazott egyensúlyozási technikát és a vizsgált személy egyensúlyozó képességét megbízhatóan jellemzik. Ezekkel a paraméterekkel az emberi egyensúlyozásról átfogóbb képet alkothatunk.

Megállapítható, hogy a fejmozgásnak meghatározó szerepe van az egyensúlyozó képességben, modellezésére vannak olyan megbízható paraméterek, amelyek a szakirodalomban eddig nem ismertek. Ezeket - az egyensúlyozó képességet új szemszögből jellemző - paramétereket érdemes figyelembe venni jövőbeli kutatások során.

Kulcsszavak: egyensúlyozó képesség, kilökéses teszt, Posturomed, fejmozgás, ismétléses teszt

The role of head movement in human balancing

Abstract

Human is an unstable system unless a control system is continuously acting. This control system is characterized by the balancing ability. When upright human stance is perturbed, the vestibular system in the inner ear transmits the related signals to the brain, so the movement of the head can be a crucial determinant of the balancing capability. The goal of this research is to determine new parameters, derived from the movement of the head and the platform used in sudden perturbation tests, which characterizes the balancing ability with great reliability.

Sudden perturbation tests were carried out on a PosturoMed[®] device with 11 healthy people (average age: 22.82 ± 1.72 years; average height: 179.42 ± 10.83 cm; average weight: 80.65 ± 19.90 kg). The measurements involved 6 different positions combined from the eye, leg and spring conditions (double leg stance with eyes open and closed with both 4 and 8 springs in the system and single leg stance on both legs with eyes open with 4 springs in the system). The participants were measured on 4 occasions. The occasions were 3, 9 and 3 days apart from each other. The participants were measured 10 times in every position. During the measurements the 3D-coordinates of the head and the platform were recorded by the Optitrack[®] Motion Capture camera system in the Motion Laboratory of the TU Budapest. The recorded data was filtered and processed by a Wolfram Mathematica[®] algorithm. 37 parameters were considered in the statistical analysis which was carried out by using IBM SPSS Statistics 22[®] software. The parameters included known and new parameters calculated from the movement of the platform or from the movement of the head or from both the movement of the head and the platform.

We analysed the ratio of the successful/unsuccessful measurements, the significant differences between the occasions of the measurements, the correlation of the parameters and the reliability of the parameters, for which I calculated the Intraclass Correlation Coefficient (*ICC*), the covariance of variation (*CV*) and the *CV* compliance rate (*CVCR*). 8 (5 new) reliable parameters calculated from the movement of the platform and 2 new reliable parameters calculated from both the movement of the head and the platform were found. The tests also concluded, that more param-

eters could reliably characterize the measurements done with 4 springs in the system, in double leg stance with eyes open and closed and also with 8 springs in the system, in double leg stance with eyes closed than the measurements done with different settings. It is recommended to use these settings in future researches. We examined which parameter shows significant differences between the measurements done with different settings. The 10 reliable parameters showed in at least 6 of the 11 analysed cases significant differences. Therefore, it can be stated that these parameters characterize the balancing ability and used technique reliably and can contribute to a more comprehensive picture of the human balancing ability.

The research proves that the role of head movement is a determinant factor in human balancing and new parameters were found reliable in characterizing the balancing capability which were not investigated before. It is recommended to take these new parameters into consideration in future researches connected to balancing.

Keywords: balancing ability, head motion analysis, perturbation test, PosturoMed, statistical analysis

1. Bevezetés

Az ember egy instabil rendszer, így a stabilizálásához folyamatosan működő szabályozás szükséges. Ezt a szabályozó rendszert az egyensúlyozó képesség jellemzi. Az egyensúlyozó rendszert három fő szenzor építi fel: a vizuális rendszer a mozgásunk megtervezéséhez szükséges, a vestibuláris rendszer a giroszkóp, ami a lineáris- és a szöggyorsulást érzékeli, végül a szomatoszenzoros rendszer minden egyes testrészünk pozícióját és sebességét, valamint a gravitáció irányát érzékeli.¹

A kutatás célja a dinamikus egyensúlyozó képesség elemzésére használt hirtelen irányváltoztatás során alkalmazható, ún. kilökéses teszt fejlesztése, különös tekintettel a fejmozgások mérésére és jellemzésére. Ha az ember állását megzavarjuk, egyensúlyát veszti. A fej mozgása az egyensúlyozásban meghatározó, mivel a mozgásunk detektálására alkalmas két legfontosabb érzékelő rendszer (látórendszer, vestibuláris rendszer) itt található, továbbá a megtámasztási ponttól (talp) legtávolabb esik, így kisebb mozgása is lényegesen megváltoztatja a súlypont helyzetét. Munkám során a fej és a kilökéses tesztekhez használt platform mozgását külön-külön és együttesen

is elemeztem. A vizsgálat során optikai-alapú mozgásvizsgáló rendszerrel a platform és a fej mozgását rögzítjük, így rendelkezésre áll a platform és a fej térbeli helyzete az idő függvényében. Ennek ismeretében célunk olyan új paraméterek definiálása, amelyek az emberi egyensúlyozó képességet megfelelő megbízhatósággal jellemzik.

2. Módszerek

2.1. Vizsgált személyek

A kiválasztás legfontosabb kritériuma, hogy a vizsgált személy ne űzzön versenyszinten semmilyen sportot sem a mérés évében, sem az előtte lévő években. További feltétel volt a 30 év alatti életkor. Kizárási kritérium bármilyen és bármikori mozgásszervi sérülés/ elváltozás. A mérésben 2 nő és 9 férfi vett részt ($n = 11$; átlagos életkor: $22,82 \pm 1,72$ év; átlagos magasság: $179,42 \pm 10,83$ cm; átlagos testtömeg: $80,65 \pm 19,90$ kg).

2.2. Mérési módszer

A kilökéses vizsgálatokat Kiss munkája² alapján állítottuk össze, kiegészítve a fej mozgásának mérésével. A mérések szabadon lengő platformon, PosturoMed[®] (Haiden-Bioswing,

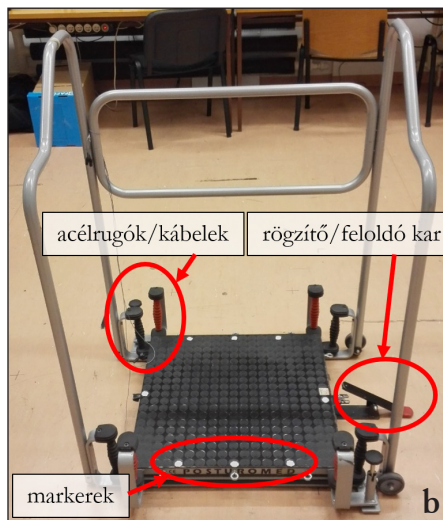
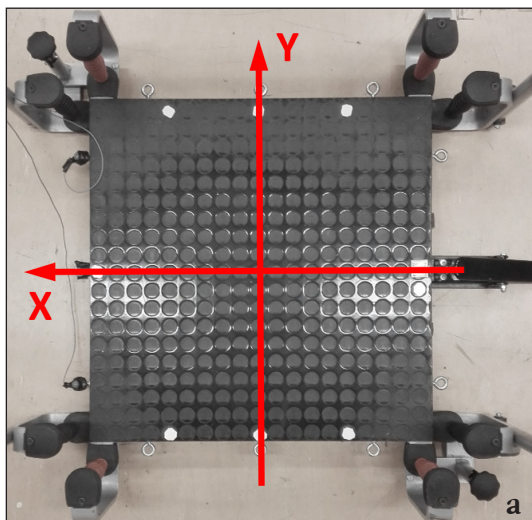
Weiden, Németország) eszközön történtek (1. ábra). A mozgásokat négy és nyolc rugóval történő felfüggesztés közben is mértük. A kilökéses vizsgálatokat kétlábán történő állás közben nyitott és csukott szemmel, valamint egylábán, nyitott szemmel történő állás közben is elvégeztük. A fejmozgást leíró paraméter megbízhatóságának elemzéséhez a vizsgálatokat 4 alkalommal hajtottuk végre. Minden alkalommal az alanyok mozgását tízszer mértük minden testhelyzetben. Az alkalmak között rendszerben 3, 9 és 3 nap kimaradás volt, hogy a rövidtávú és hosszabb távú ismétléses tesztet is elvégezhesük. A mérést végző személy minden esetben ugyanaz volt, hogy az ebből adódó különbözőségeket is elkerüljük. A méréseket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék Mozgáslaboratóriumában végeztük.

A merev lap mozgását és a vizsgált személyek fejmozgását a laboratóriumban felszerelt és kalibrált, 18 kamerából álló Optitrack[®] Motion Capture rendszer rögzítette. A lap mozgásának felvételét az arra szimmetri-

kusan felragasztott 8 fényvisszaverő marker (1. ábra) térbeli koordinátáinak rögzítésével valósítottuk meg. A fejmozgás követése a fejre stabilan rögzített munkavédelmi sisakra helyezett markerekkel történt (2. ábra). A megfelelően rögzített sisak biztosította, hogy a markerek a fejen elmozdulásmentesek legyenek, azaz a sisakra helyezett markerek valóban a fej mozgását rögzítették. A merev lapon és a sisakon lévő markerek térbeli helyzetét a kilökéses vizsgálat során a rendszerhez tartozó Motive[®] (NaturalPoint, Inc. DBA OptiTrack) vezérlő program 120 Hz-es mérési frekvenciával rögzítette. A mért koordinátákat a Tanszéken fejlesztett MUBMA (MOGI Universal Biomechanical Motion Analyzer) programmal exportáltuk a feldolgozáshoz.

A mérés megkezdése előtt a következő lépéseket kell megtenni:

1. Az OptiTrack[®] kamerarendszer kalibrálása.
2. A PosturoMed[®] eszköz elhelyezése a laboratóriumban a kamerák által jól látott részben úgy, hogy a platform élei a kame-



1. ábra. A méréshez használt PosturoMed eszköz markerekkel
 a) a feldolgozáshoz használt koordináta-rendszer értelmezése
 b) a teljes eszköz kioldott rögzítő/feloldó karral

rendszer koordinátatengelyeivel párhuzamosak legyenek.

3. A Motive© és MUBMA program futtatása, egymáshoz csatlakoztatása, és annak ellenőrzése, hogy mindkét program a sisak és a platform markereit és mozgását megfelelően látja-e.
4. A vizsgált személyre a fejmozgás rögzítéséhez szükséges sisak felhelyezése (2. ábra), az elmozdulás mentesség biztosítása.



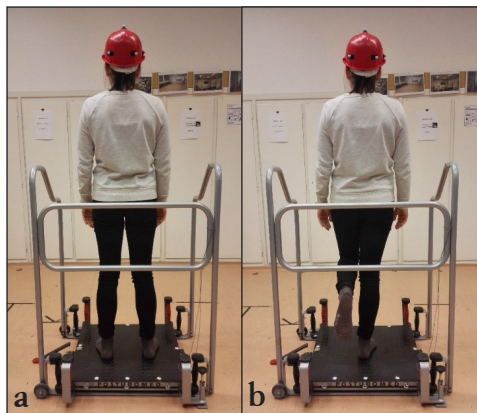
2. ábra. A méréshez felhasznált munkavédelmi sisak markerekkel

A mérés menetének részletei Kiss munkájában² található. A vizsgált testhelyzetek és rögebeállítások (3. ábra):

- a. 4 rugós, két lábas, nyitott szemmel,
- b. 4 rugós, két lábas, csukott szemmel,
- c. 4 rugós, jobb lábas, nyitott szemmel,
- d. 4 rugós, bal lábas, nyitott szemmel,
- e. 8 rugós, két lábas, nyitott szemmel,
- f. 8 rugós, két lábas, csukott szemmel.

A vizsgált személy a mérés megkezdése előtt kapott utasítás alapján a mérőlapot egyensúlyának visszanyerésével a lehető leggyorsabban csillapítja. A mérés során a merev keretet nem foghatja meg. A mérést csak akkor ismételtük meg, ha a mérés időtartama alatt a vizsgált személy feleslegesen mozgatta a fejét, vagy

megfogta az eszköz kapaszkodó keretét, vagy a platformon elesett. Ezért a mérőrendszer hibás felvételeit feldolgozás során javítottuk, vagy kizártuk a vizsgálatból.



3. ábra. A Két lábas (a) és egy lábás mérés (b); a rögzítő/feloldó kar kioldott állapotban

2.3. Számított paraméterek

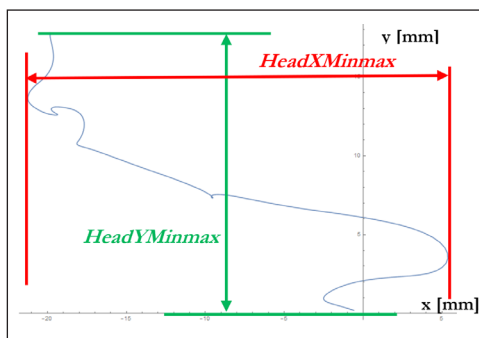
A mért adatokat a Mathematica (Wolfram©, v11.2) algoritmusokkal dolgoztuk fel. A mérőrendszer mérési hibája miatt a fej mozgását leíró adatsorokban kisebb kiugró értékek találhatóak. Ezért a fej mozgását leíró térbeli koordináták időbeli függvényében a kisebb kiugró értékek javítására mozgó átlagoló szűrést alkalmaztunk ~0,04 másodperces ablakkal. A vizsgált személyek fejmozgásában nem voltak hirtelen irányváltások, így mozgó átlagoló szűrés használható. A platform mozgását leíró térbeli koordinátákat ilyen módon nem szűrtük, mivel a szűrés a lengő mozgás csúcserőit csökkentette, így a számított paraméterek értékeit módosította volna.

A mérés kiértékeléséhez a kilökés időpontját ($T_{kilökés}$) és a mérés végidőpontját is ($T_{vége}$) definiálni kell³. $T_{kilökés}$ a platform kioldásának időpontja, itt kezdődik a platform mozgásának effektív mérése. Az ezt megelőző adathalmazt a vizsgálatból kizártuk. $T_{vége}$

a platform lengésének vége, amikor a lengés amplitúdója 4 mm alá csökkent. A továbbiakban a $T_{vége}$ és a $T_{kihökés}$ közötti időtartományban található adatokból a fej és a platform mozgásának jellemzésére³ a következő paramétereket számítottuk.

A fej mozgásának leírására használt paraméterek:

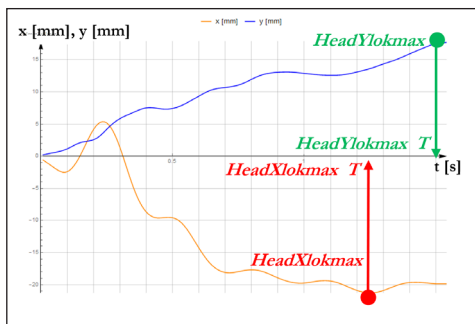
- *HeadPath*: a vizsgált személy feje által bejárt út hossza, amely a szomszédos adatpontokat összekötő vektorok összhossza. Az egyensúly visszanyerésében a fej beavatkozásának mértékét jellemzi.
- *HeadXMinmax*, *HeadYMinmax*: a fej *X* (*ML*) és *Y* (*AP*) koordinátáinak minimum és maximum értéke közötti különbség, vagyis a fejmozgás *X* (*ML*) és *Y* (*AP*) irányú terjedelme (4. ábra).



4. ábra. A fej mozgását az X-Y síkban ábrázoló grafikonon a *HeadXMinmax* és *HeadYMinmax* koordináták értelmezése

- *HeadXlokmax*, *HeadYlokmax*: a fej *X* (*ML*) és *Y* (*AP*) koordinátáinak abszolút maximuma a mérés kezdetétől ($T_{kihökés}$) a mérés végéig ($T_{vége}$) (5. ábra).
- *HeadXlokmax_T*, *HeadYlokmax_T*: a *HeadXlokmax* és *HeadYlokmax* értékek felvételének időpontja a mérés kezdetétől ($T_{kihökés}$) számítva. Ezek a paraméterek mutatják meg, hogy a vizsgált személy feje mikor tért ki legnagyobb mértékben (5. ábra).

- *Elojel_HeadXlokmax*, *Elojel_HeadYlokmax*: a *HeadXlokmax* és *HeadYlokmax* értékek előjele. Ezek a paraméterek megmutatják, milyen irányban (előre vagy hátra, illetve jobbra vagy balra) mozdult ki legnagyobb mértékben a vizsgált személy feje a mérés során.



5. ábra. A fej mozgását az idő függvényében ábrázoló grafikonon a *HeadXlokmax*, *HeadXlokmax_T*, *HeadYlokmax* és *HeadYlokmax_T* paraméterek értelmezése

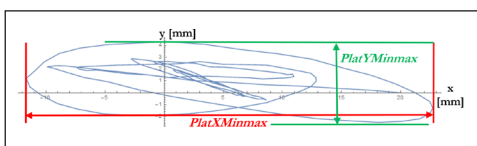
- *HeadpathX*, *HeadpathY*: a vizsgált személy feje által bejárt út hossza *X* (*ML*) és *Y* (*AP*) irányokban.
- *HeadR*: irányultsági arány a fej mozgására, az *X* (*ML*) és *Y* (*AP*) irányokban bejárt pályahosszak hányadosa:

$$HeadR = \frac{HeadpathX}{HeadpathY} \quad (1)$$

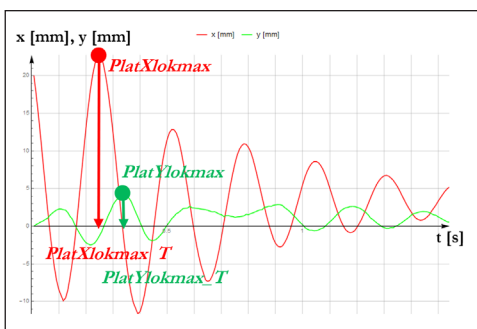
A merev lap/platform mozgásából számítható paraméterek:

- *Time*: beállási idő, amely a mérés vége ($T_{vége}$) és a mérés kezdete ($T_{kihökés}$) időpontok különbsége.
- *PlatPath*: a merev lap által bejárt út hossza, amely a szomszédos adatpontokat összekötő vektorok összhossza.
- *PlatXMinmax*, *PlatYMinmax*: a platform *X* (*ML*) és *Y* (*AP*) koordinátáinak minimum és maximum értéke közötti különbség, vagyis a platform mozgásának *X* (*ML*) és *Y* (*AP*) irányú terjedelme (6. ábra).

- **PlatXlokmax**: a platform X (ML) koordinátáinak abszolút maximuma a mérés kezdete ($T_{kilökés}$) után $\sim 0,1$ másodperctől a mérés végéig ($T_{vége}$). Az X (ML) koordinátákban a maximumkeresést később kezdjük, hogy ne a kezdetben beállított 20 mm-es kitérítés legyen a maximum érték (7. ábra).



6. ábra. A fej mozgását az X-Y síkban ábrázoló grafikonon a **PlatXMinmax** és **PlatYMinmax** koordináták értelmezése



7. ábra. A platform mozgását az idő függvényében ábrázoló grafikonon a **PlatXlokmax**, **PlatXlokmax_T**, **PlatYlokmax** és **PlatYlokmax_T** paraméterek értelmezése

- **PlatYlokmax**: a platform Y (AP) koordinátáinak abszolút maximuma a mérés kezdetétől ($T_{kilökés}$) a mérés végéig ($T_{vége}$) (7. ábra).
- **PlatXlokmax_T**, **PlatYlokmax_T**: a **PlatXlokmax** és **PlatYlokmax** értékek felvételének időpontja a mérés kezdetétől ($T_{kilökés}$) számítva. Ezek a paraméterek megmutatják, mikor tért ki legnagyobb mértékben a platform X (ML) és Y (AP) irányban a csillapítás során (7. ábra).
- **Elojel_PlatXlokmax**, **Elojel_PlatYlokmax**: a **PlatXlokmax** és **PlatYlokmax** értékek előjele. Ezek a paraméterek megmutatják,

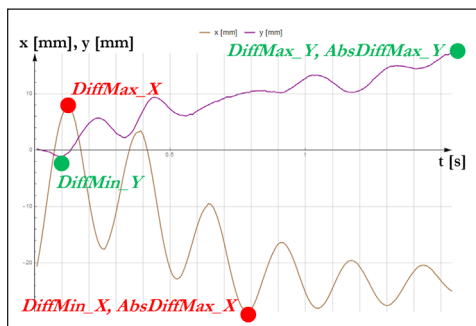
hogy milyen irányban (előre vagy hátra és jobbra vagy balra) mozdult ki legnagyobb mértékben a platform a mérés során.

- **PlatpathX**, **PlatpathY**: a platform által bejárt út hossza X (ML) és Y (AP) irányokban.
- **PlatR**: irányultsági arány a platform mozgására, az X (ML) és Y (AP) irányokban bejárt pályahosszak hányadosa:

$$PlatR = \frac{PlatpathX}{PlatpathY} \quad (2)$$

A fej és a platform egymáshoz viszonyított mozgását jellemző paraméterek a fej X (ML) és Y (AP) koordinátáiból a platform megfelelő koordinátáinak különbségként számíthatók.

- **DiffPath**: a különbség adatsor koordinátáival számolt megtett út hossza, amely a szomszédos adatpontokat összekötő vektorok összhossza.
- **DiffPathX**, **DiffPathY**: a különbség adatsor koordinátáival számolt X (ML) és Y (AP) irányokban megtett út hossza.
- **DiffMax_X**, **DiffMax_Y**: a különbség adatsor X (ML) és Y (AP) koordinátáinak maximuma a mérés kezdetétől ($T_{kilökés}$) a mérés végéig ($T_{vége}$) (8. ábra).



8. ábra. A különbség adatsort az idő függvényében ábrázoló grafikonon a **DiffMax_X**, **DiffMax_Y**, **DiffMin_X**, **DiffMin_Y**, **AbsDiffMax_X** és **AbsDiffMax_Y** paraméterek értelmezése

- **DiffMin_X**, **DiffMin_Y**: a különbség adatsor X (ML) és Y (AP) koordinátáinak mi-

nimuma a mérés kezdetétől ($T_{\text{kilökhés}}$) a mérés végéig ($T_{\text{vége}}$) (8. ábra).

- $AbsDiffMax_X$, $AbsDiffMax_Y$: a különbség adatsor X (ML) és Y (AP) koordinátáinak abszolút maximuma a mérés kezdetétől ($T_{\text{kilökhés}}$) a mérés végéig ($T_{\text{vége}}$) (8. ábra).
- $RatioX$, $RatioY$: A platform által X (ML) és Y (AP) irányban megtett utak és a fej által X (ML) és Y (AP) irányban megtett utak aránya:

$$RatioX = \frac{PlatpathX}{HeadpathX} \quad (3)$$

$$RatioY = \frac{PlatpathY}{HeadpathY} \quad (4)$$

- $RatioR$: A platform és a fej irányultsági arányainak hányadosa.

$$RatioR = \frac{PlatR}{HeadR} \quad (5)$$

A koordináták és paraméterek értelmezése a 2. ábrán látható koordináta-rendszerben történik.

2.4. Statisztikai módszerek

A statisztikai vizsgálatba az előző alfejezetben leírt 37 paramétert vontuk be. A kiszámított paraméterértékeket a különböző statisztikai vizsgálatokhoz Mathematica[©] szoftverrel rendeztük össze, az analízis IBM SPSS Statistics 22[®] szoftverrel történt. A 6 testhelyzetre MANOVA (Multivariate ANOVA) típusú varianciatesztet alkalmaztunk, ahol az ismétlési faktor az alkalomszám és a mérésszám voltak. Az alkalomszám azt jelenti, hogy a 4 mérési alkalomból hányadikat vizsgáljuk. A mérésszám azt jelenti, hogy egy alkalmon belül az adott pózban a 10 mérésből hányadiknál tartunk. A varianciateszttel az 1. és 4. alkalom eredményeit és az első (1.) és utolsó (10.) mérésszámú eredményeket hasonlítottuk össze, amelyhez a MANOVA teszt „Pairwise comparison” táblázatát használtuk fel. Ebben a táblázatban az

összehasonlítás párosított T-próbával történt,⁴ a szignifikancia szint $\alpha = 0,05$ volt.

A számolt paraméterek együtt mozgását, azaz azonos információ tartalmát korrelációs mátrix számításával ellenőriztük, ahol két paramétert együtt mozgónak tekintjük, ha korrelációs együtthatójuk nagyobb, mint 0,95.

Intraclass korrelációs együtthatót (ICC) Fleiss⁵ ajánlása alapján mindegyik pózban mindegyik paraméterre számítottunk, amikor mind a 10 mérés sikeres volt. Az ICC számításához 95%-os megbízhatósági intervallummal One-Way Random számítási módot alkalmaztunk⁶. Az elégséges, jó és kiváló ICC minősítésű esetekben a relatív szórás (CV), és a relatív szórás megfelelési aránya ($CVCR$)⁷ Excel[®] (Microsoft Office[®] 2016) szoftverrel számolható.

A vizsgált paraméterekre újabb MANOVA (Multivariate ANOVA) típusú varianciatesztet végeztünk, ahol az ismétlési faktor a testhelyzet volt. Az összes vizsgált személy mérési eredményére a teszt együttesen végezhető. A „Pairwise comparison” táblázat megmutatja, mely paraméterek mutatnak a legtöbb testhelyzet között szignifikáns különbséget.

3. Eredmények

Az egyes testhelyzetekben kiértékelhető mérések száma a 1. táblázatban került összefoglalásra. Minden testhelyzetben összesen 440 mérést rögzítettünk. A mérésekből kiszűrtük azokat, amelyeknél a beállási idő nagyobb volt, mint 5 másodperc, vagy hibás rögzítés történt. A mérőrendszer hibás felvételei a mérések során egyenletesen oszlottak el, nem volt olyan alkalom vagy testhelyzet, amikor kimagaslóan több hiba fordult elő, ezért a kiértékelhető mérések száma jól tükrözi a vizsgált személyek sikertelen egyensúlyozási kísérleteit. A 4 rugós, kétlábás beállításnál szignifikánsan több kiértékelhető mérés készült, mint 8 rugós, kétlábás

beállításnál. A 4 rugós egylábás mérések kiértékelhetőségének aránya hasonló a 8 rugós, kétlábás beállításához. Ebből arra következtethetünk, hogy a 4 rugós, kétlábás mérések szignifikánsan könnyebben teljesíthetők, mint a 8 rugós kétlábás vagy 4 rugós egylábás mérések.

Az összes testhelyzet méréseiből kiszűrt hibás mérések eloszlását alkalmak és vizsgált személyek szerinti bontásban a 9. ábra szemlélteti. Az egyes alkalmak hibás méréseinek száma a mérési alkalmak számának növekedésével nem csökken, így a vizsgált személyek a hirtelen irányváltoztatás egyensúlyozási gyakorlatban nem mutatnak fejlődési folyamatot.

A paramétermegbízhatósági vizsgálatok alkalmazásának alapkövetelménye, hogy csak egységes mérési eredményekre használhatók,

Testhelyzet	Kiértékelhető mérések száma
4 rugós, kétlábás, csukott szemmel	436
4 rugós kétlábás, nyitott szemmel	430
8 rugós, kétlábás, csukott szemmel	400
8 rugós kétlábás, nyitott szemmel	411
4 rugós, bal lábás, nyitott szemmel	391
4 rugós, jobb lábás, nyitott szemmel	412

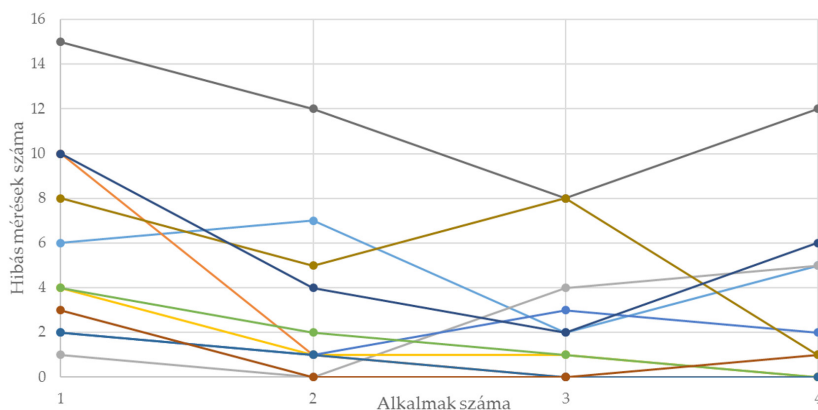
1. táblázat. A kiértékelhető mérések testhelyzetek szerinti eloszlása

vagyis csak olyan mérések eredményeit vizsgálhatjuk, amelyekben nem voltak szignifikáns változások⁸. A szignifikáns változás tanulási folyamatra utalhat. Ezért a megbízhatósági vizsgálatok során az egyes testhelyzeteknél és egyes személyeknél azok a paraméterek nem értékelhetők, ahol az 1. és 4. alkalom mérései, vagy az alkalmakon belül az első (1.) és utolsó (10.) mérések között a vizsgált személyek több mint 60%-ánál szignifikáns különbség mutatkozott.

Az együtt mozgó paramétereket és azok korrelációs együtthatóit a 2. táblázat összefoglalóan tartalmazza.

Együtt mozgó paraméterek		Korrelációs együttható
HeadPath	DiffPath	0,95
DiffPathX	DiffPath	0,99
AbsDiffMax_X	HeadXMinmax	0,97
AbsDiffMax_X	HeadXlokmax	1,00
HeadXMinmax	HeadXlokmax	0,97
AbsDiffMax_Y	HeadYMinmax	0,98
AbsDiffMax_Y	HeadYlokmax	1,00
HeadYMinmax	HeadYlokmax	0,98
PlatYlokmax	PlatYMinmax	0,97

2. táblázat. Az együtt mozgó paraméterek korrelációs együtthatói



9. ábra. Hibás mérések alkalmak szerinti megoszlása (különböző vizsgált személyek külön színekkel)

Két együtt mozgó paraméterből az egyiket ki lehet szűrni, mivel a nagy korrelációs értékek azt mutatja, hogy hasonló információt hordoznak. Egy adott tulajdonság jellemzésére egy paraméter elegendő, célunk az egyensúlyozó képesség minél kevesebb megbízható paraméterrel történő jellemzése. Ezért a további vizsgálatokból a 2. táblázat értékei szerint a következő paramétereket ki kell zárni:

- *DiffPath*,
- *AbsDiffMax_X*,
- *HeadXlokmax*,
- *AbsDiffMax_Y*,
- *HeadYlokmax*,
- *PlatYlokmax*.

Paraméter	DiffPathX	DiffMin_X
Elégséges	0	2
Jó	2	0
Kiváló	1	0

4. táblázat. A fej mozgásából számolt minimum megfelelő minősítésű paraméterek

Paraméter	Time	PlatPath	PlatX Minmax	PlatX lokmax	PlatX lokmax_T	PlatPathX	PlatPathY	PlatR
Elégséges	0	1	1	3	1	2	1	2
Jó	3	0	2	2	0	0	0	1
Kiváló	0	3	0	0	1	3	0	0

3. táblázat. A platform mozgásából számolt minimum megfelelő minősítésű paraméterek

Paraméter	DiffPathX	DiffMin_X
1	4 rugós, kétlábás, csukott szemmel	4 rugós, kétlábás, nyitott szemmel
2	8 rugós, kétlábás, csukott szemmel	4 rugós, kétlábás, csukott szemmel
3	8 rugós, kétlábás, nyitott szemmel	4 rugós, kétlábás, nyitott szemmel
4	4 rugós, kétlábás, nyitott szemmel	4 rugós, jobb lábás, nyitott szemmel
5	4 rugós, kétlábás, nyitott szemmel	4 rugós, bal lábás, nyitott szemmel
6	4 rugós, kétlábás, csukott szemmel	4 rugós, jobb lábás, nyitott szemmel
7	4 rugós, kétlábás, csukott szemmel	4 rugós, bal lábás, nyitott szemmel
8	8 rugós, kétlábás, nyitott szemmel	4 rugós, jobb lábás, nyitott szemmel
9	8 rugós, kétlábás, nyitott szemmel	4 rugós, bal lábás, nyitott szemmel
10	8 rugós, kétlábás, csukott szemmel	4 rugós, jobb lábás, nyitott szemmel
11	8 rugós, kétlábás, csukott szemmel	4 rugós, bal lábás, nyitott szemmel

5. táblázat. Az összehasonlított testhelyzetek

Az előző tesztek alapján megfelelő paraméterekre a minősítést az ICC számokra vonatkozóan *Fleiss*⁹ alapján, a CV és CVCR számokra vonatkozóan *Nagymáté*⁷ alapján végeztük el. Az ICC értéke megmutatja, a vizsgált csoport egységei mennyire hasonlóak, ami a paraméter megbízhatóságát jellemzi. Az egységek hasonlóságát a CV és CVCR számok fejezik ki. A 3. és 4. táblázatokban paraméterek szerint azoknak a testhelyzeteknek a száma (összesen 6 vizsgált testhelyzet volt) látható, amelyeknél a CV és CVCR számok alapján jó minősítésű, és az ICC számok alapján megfelelő, jó vagy kiváló minősítésű lett az adott paraméter. A 3. táblázatból látható, hogy a platform mozgásából számolt paraméterek között a szakirodalomban^{3,10} már megjelenő *Time*, *PlatPath* és *PlatR* paraméterek több esetben is megfelelően, jól vagy kiválóan megbízhatóak. Ezzel a szűrési folyamat és a megbízhatósági vizsgálatok létjogosultsága bizonyítható. Az egyensúlyozás jellemzésére platformmozgásból számított *PlatXMinmax*, *PlatXlokmax*, *PlatXlokmax_T*,

PlatPathX és *PlatPathY* új paraméterek, míg a fej és a platform egymáshoz viszonyított mozgását jellemző paraméterek közül a *DiffPathX* és a *DiffMin_X* paraméterek megbízhatónak. Az elvégzett megbízhatósági tesztek alapján csak a fej mozgásából számított paraméterek közül egy sem megbízható.

A minimum megfelelően megbízható paramétereket a vizsgált testhelyzetek szerint is összesítettem. Megállapítható, hogy a 4 rugós, kétlábás nyitott és csukott szemes, valamint a 8 rugós, kétlábás, csukott szemes testhelyzetek jellemzésére található a legtöbb megbízható paraméter, így jövőbeli vizsgálatok során ilyen testhelyzetekben ajánlott méréseket készíteni. A testhelyzetek közötti szignifikáns különbségeket vizsgáló MANOVA teszten összehasonlított testhelyzetek, vagyis a szignifikancia szempontjából vizsgált esetek az 5. táblázatban láthatók.

Az előzőekben megbízhatónak nyilvánított paraméterek által kimutatott szignifikáns különbségek száma a 6. táblázatban található. Látható, hogy mindegyik kiemelt paraméter minimum 6 esetben mutatott szignifikáns különbséget, így a megbízható paraméterek az egyensúlyozó képesség testhelyzet szerinti

Paraméter	Szignifikáns különbséget mutató esetek száma
Time	9
PlatPath	9
PlatXMinmax	10
PlatXlokmax	7
PlatXlokmax_T	10
PlatpathX	9
PlatpathY	10
PlatR	10
DiffPathX	8
DiffMin_X	6

6. táblázat. A fej mozgásából számolt minimum megfelelő minősítésű paraméterek

változását megfelelően jellemzik. Ezzel belátható, hogy az új paraméterek az egyensúlyozó technika leírására alkalmasak.

4. Összefoglalás

A kutatás célja az egyensúlyozó képesség új paraméterekkel történő megbízható jellemzése. Ehhez a platform mozgását leíró paramétereket a fej mozgását leíró paraméterekkel és fej és a platform egymáshoz viszonyított mozgását jellemző paraméterekkel egészítettük ki (2.3 fejezet). Az így definiált 37 paraméterből először korrelációs vizsgálattal a hasonló információt hordozó paramétereket zártuk ki. A következő lépésben megbízhatósági vizsgálattal a nem megbízható paraméterek zárhatók ki. A vizsgálatok alapján a 37 paraméterből 10 paraméter lett megbízható, amelyek egymástól független módon jellemzik az egyensúlyozó képességet.

Az eredmények kiértékelése során a sikeres/sikertelen mérések arányát elemeztem. Megállapítható, hogy a vizsgált személyek teljesítményében ebből a szempontból nem volt tanulási folyamat, viszont a mérési alkalmak közötti és azokon belüli szignifikáns különbségek alapján azok a paraméterek kizárhatók, amelyeknél tanulási folyamat mutatkozott.

A vizsgált paraméterekből a szakirodalomból ismert megbízhatósági együttműködők (*ICC*, *CV*, *CVCR*) alapján a nem megbízható paraméterek kizárása után 8 (ebből 5 új: *PlatXMinmax*, *PlatXlokmax*, *PlatXlokmax_T*, *PlatPathX* és *PlatPathY*) platformmozgásból számított, és 2 új (*DiffPathX* és *DiffMin_X*) a fej és a platform egymáshoz viszonyított mozgását jellemző paramétert találtunk megbízhatónak. A megbízhatósági tesztek eredményeiből az is megállapítható, hogy a 4 rugós, kétlábás, nyitott és csukott szemes, valamint a 8 rugós, kétlábás, csukott szemes méréseket, több paraméter jellemezte megbízhatóan, mint a többi testhely-

zetben történt mérést. Célszerű ezeket a beállításokat alkalmazni, mivel megbízhatóságuk erősebb. Egyes vizsgált testhelyzetek mérési eredményei közötti szignifikáns különbségek elemzése azt mutatja, hogy a 10 megbízhatónak talált paraméter a 11 vizsgált testhelyzet összehasonlításból minimum 6-nál szignifikáns különbséget mutatott. Így kijelenthető, hogy ezek a paraméterek az alkalmazott egyensúlyozási technikát és a vizsgált személy egyensúlyozó képességét megbízhatóan jellemzik. Ezekkel

a paraméterekkel az emberi egyensúlyozásról átfogóbb képet alkothatunk.

A fejmozgásnak meghatározó szerepe van az emberi egyensúlyozó képességben, modellezésére vannak olyan megbízható paraméterek, amelyek a szakirodalomban nem ismertek. Ezeket az egyensúlyozó képességet új szempontból jellemző paramétereket érdemes figyelembe venni jövőbeli kutatások során.

IRODALOM

1. *Winter DA.* Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture* 1995;3(4):193–214.
2. *Kiss RM.* A new parameter for characterizing balancing ability on an unstable oscillatory platform. *Med. Eng. Phys.* 2011;33(9):1160–66.
3. *Kiss B.* Vitorlázók egyensúlyozó képességének vizsgálata mozgáselemző rendszerrel. Tudományos Diákköri Konferencia 2016.
4. *Cardinal R. Aitken M.* ANOVA for the behavioural sciences researcher. Erlbaum L.; 2006.
5. *Fleiss JL.* Reliability of Measurement. The Design and Analysis of Clinical Experiments. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011:1–32.
6. *Bartko JJ.* The Intraclass Correlation Coefficient as a Measure of Reliability. *Psychol. Rep.* 1966;19(1):3–11.
7. *Nagymáté G, Orlovits Z, Kiss RM.* Reliability analysis of a sensitive and independent stabilometry parameter set. *PLoS One*; 2018. (In press)
8. *Dinya E.* Biometria az orvosi gyakorlatban. Medicina Publisher; 2007.
9. *Cicchetti DV.* Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychol. Assess.* 1994;6(4):284–90.
10. *Petró B, Papachatzopoulou A, Kiss RM.* Devices and tasks involved in the objective assessment of standing dynamic balancing – A systematic literature review. *PLoS One* 2017 Sep;12(9)

A közlemény az OTKA K115894 azonosítószámú pályázatának támogatásával készült.

Kiss Bernadett

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

H-1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 4-6.

Tel.: (+36) 30 653-9660