

**A dinamikus térd valgus összefüggéseinek  
vizsgálata marker nélküli mozgásminta szűrő  
eljárással**

Doktori tézisek

**Uhlár Ádám**

Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem  
Sporttudományok Doktori Iskola



MAGYAR TESTNEVELÉSI  
ÉS SPORTTUDOMÁNYI  
EGYETEM  
BUDAPEST

Témavezető: Dr. Lacza Zsombor kutatóprofesszor, DSc

Hivatalos bírálók: Dr. Váczi Márk egyetemi docens, PhD  
Dr. Uvacsek Martina egyetemi docens, PhD

Budapest

2023

## BEVEZETÉS

Az elülső keresztszalag (ACL) szakadások igen gyakoriak a népesség körében a világ minden tájékán. A fizikailag legaktívabb 20-29 éves korosztályban az éves ACL szakadások elérhetik akár a 140/100.000 db esetszámot is évente. Az összes ACL szakadás 70%-a sportoláshoz köthető, így a sportoló emberek a fizikailag inaktív populációhoz képest kitettebbek ennek a sérülési típusnak. Magyarországon évente több mint 3000 esetben történik keresztszalag pótlás, és ez az arány emelkedő tendenciát mutat.

Az összes keresztszalag sérülés 72%-a nem-kontaktussal járó helyzetben jön létre. Ezekben az esetekben a sérülések kialakulásának leggyakoribb oka a térdízületre ható valgus stressz, mely a térd medial irányú bedőlését okozza. A küszöb feletti valgus stressz Az ACL sérülések általában felugrásból való talajra érkezéskor, kitámasztáskor vagy irányváltoztatáskor történnek.

A nemzetközileg gyakran alkalmazott mozgásminta szűrő tesztek (Single Leg Test, LESS Test, Drop Jump Test), képesek a helytelen mozgások, mozgás hibák időben történő feltárására, ezáltal az alsóvégtagi sérülések megelőzésére. A rosszul megtanult mozgás technikákat felfedezve, korrekciós gyakorlatok végrehajtásán keresztül lehetőség nyílik azok javítására még a sérülések bekövetkezése előtt.

A mozgásminta szűrő tesztek mozgáselemző rendszerrel való kiértékelése még pontosabb visszajelzést ad a vizsgált személyek aktuális állapotáról.

## CÉLKITŰZÉSEK

Disszertációmban két kutatás eredményeit mutatom be. Az elmúlt években kutatásaim átfogó célja volt:

1. egy dinamikus térd valgust mérő, marker nélküli műszeres eljárás kifejlesztése;
2. egy és két lábbal végrehajtott mozgásminta szűrő tesztek karakterisztikájának feltérképezése;
3. az említett mozgásminta szűrő tesztek közötti korrelációs kapcsolatok feltárása;
4. és egy alsóvégtagi fejlesztő training térd valgusra gyakorolt hatásának vizsgálata.

## **A vizsgálatok során felállított hipotéziseim:**

### **I. Vizsgálat**

Az első vizsgálat során a kutatócsoportunk által használt Kinect Azure kamera összehasonlítását végeztük el két "gold standard" minősítésű mérőeszközzel, valamint az egylábás guggolás (SLS) karakterisztikájának feltérképezése történt meg.

**I/A Hipotézis:** A Kinect Azure kamera megbízható mérőeszköz az alsóvégtagi paraméterek mérésében.

**I/B Hipotézis:** Edzett személyeknél a térdhajlítás fokozásával együtt járó valgus növekedés kisebb, mint edzetlen személyeknél.

### **II. Vizsgálat**

A második vizsgálat során labdarúgó játékosok alsóvégtagi mozgásmintázatainak a feltérképezése, valamint az egyes mozgásminta szűrő tesztek eredményei közötti korrelációs kapcsolatok vizsgálata történt meg.

**II/A Hipotézis:** A rendszeres alsóvégtagi korrekciós tréninget végző sportolók kisebb mértékű dinamikus térd valgus értékeket produkálnak az SLS, SLJ és DJ tesztek során, a speciális alsóvégtagi fejlesztő gyakorlatokat nem végző sportolókhoz képest.

**II/B Hipotézis:** Az SLS és SLJ gyakorlatok eredményei között erős korrelációs kapcsolat van, míg az SLS és DJ, valamint az SLJ és DJ eredményei között nincs korrelációs kapcsolat.

# MÓDSZEREK

## Az első vizsgálat

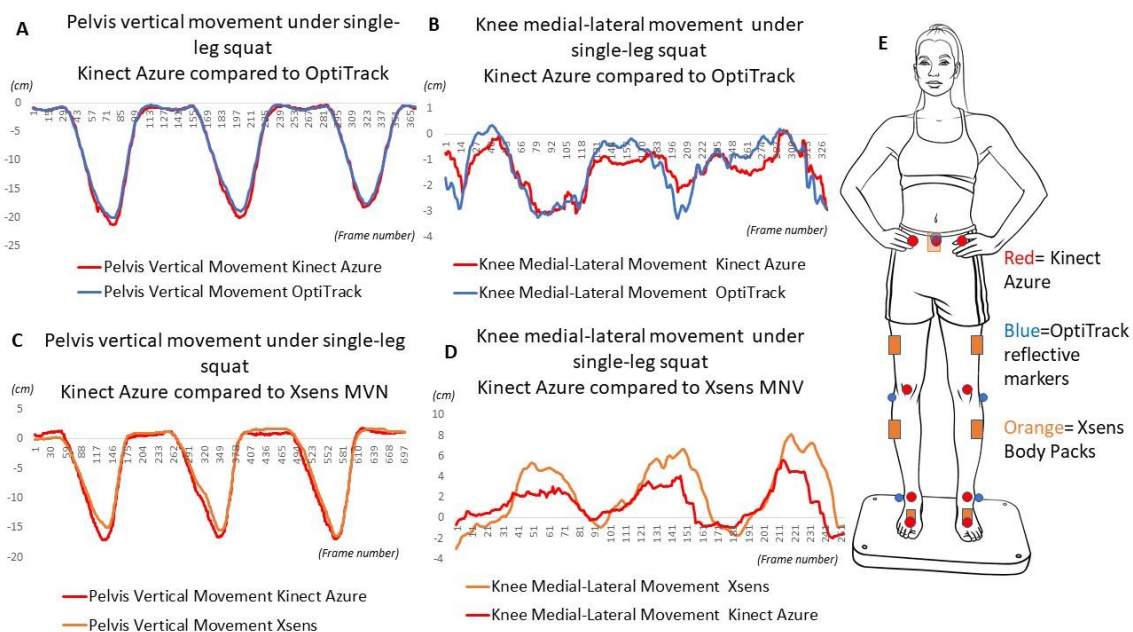
### **I. Részfeladat: A Kinect Azure, Xsens MVN és OptiTrack mozgáselemző rendszerek összehasonlítása**

Az első részfeladat során a Kinect Azure (Microsoft corp. Redmond, WA, USA) kamera pontosságát és megbízhatóságát összehasonlítottuk az OptiTrack (NaturalPoint corp., Corvallis, Oregon, USA) "gold standard" minősítésű mozgáselemző kamera rendszerrel, valamint az Xsens MVN (Xsens Technologies BV, Hollandia) szenzoros mozgáselemző rendszerrel. Az összehasonlítás során arra kerestük a választ, hogy a Kinect Azure, az OptiTrackhez és az Xsens MVN-hez képest, milyen adatokat szolgáltat a térd mediolateralis és a medence vertikális mozgásának tekintetében. Az említett két eszköz marker és szenzor alapú, biomechanikai laboratóriumokban alkalmazzák őket mozgáselemzési céllal, például járás és futás vizsgálatok során, mozgásszervrendszeri kutatásokban és filmes animációkban is egyaránt.

Vizsgálatunkban 5 fő (nő=2; életkor=33.6±9.4 év; testtömeg: 69.6±9.23 kg; testmagasság: 187.4±8.65 cm) egészséges és fizikailag aktív vizsgálati személy vett részt. Az Xsens MVN szenzorok az eszköz használati útmutatója szerint a lábfejre, a lábszárra és a combra kerültek tépőzárral rögzítésre, a keresztcsonti marker a rövidnadrág felső részére került felhelyezésre. Az Xsens MVN szenzorok felhelyezését követően a szenzorok kalibrálása történt meg az eszköz kézikönyve alapján. Az Xsens MVN mintavételezési frekvenciája 60 frame/sec volt.

A vizsgálatok során a Kinect Azure kamera 100 cm-es magasságban és 250 cm-es távolságban volt elhelyezve a vizsgálati személyekkel szemben, így a Kinect a frontális síkot rögzítette, vagyis az ízületek medial-lateral irányú elmozdulását. A vizsgálati személyek a Kinect kamera haránt tengelyével párhuzamos, attól 250 cm-re elhelyezkedő vonal mögé álltak, így a vizsgálatok során a kamerával végig szemben maradtak. A reflektív markerek a külső bokára, a femur külső epikondilusára, a singcsont íróvessző nyúlványára, valamint a keresztcsontra kerültek felhelyezésre. (1. ábra).

Az OptiTrack esetében az elhelyezett markerekkel szintén a térd mediolateralis, valamint a keresztcsonti függőleges elmozdulását vizsgáltuk. A technikai beállítások után a vizsgálati személyek 10-10 db egylábás guggolást (SLS) végeztek el jobb és bal lábon is.



1. Ábra: A Kinect Azure, OptiTrack és Xsens eszközök összehasonlító vizsgálata. A kék vonalak és a kék pontok bemutatják az OptiTrack markerek elhelyezkedését és azok guggolás közbeni mozgását. A piros szín a Kinect által rögzített jeleket reprezentálja, míg a narancssárga az Xsens szenzorok elhelyezkedését és mozgását mutatja be. Az A-B panelek ugyanazon vizsgálati személy három egymást követő egylábás guggolását ábrázolják a Kinect és az OptiTrack szimultán történő összehasonlítása során. Az A panel a medence függőleges mozgását jeleníti meg, vagyis a medence vertikális (y tengely mentén történő), elmozdulását. A görbe 3 legmélyebb pontja, az egymást követő 3 db egylábás guggolás legmélyebb pontja. Amikor az ábrán látható vonal a nullát érinti, akkor tartózkodott a vizsgálati személy teljesen felegyenesedett, egylábás álló helyzetben. A B panel eközben az A panelen feltüntetett guggolások közben mért térd medial-lateral irányú (x tengelyen mért) kitérését ábrázolja. A C és D panelek –az A és B panelek mintájának megfelelően– ugyanezt a sémát követik, csak a Kinect és az Xsens műszerek összehasonlításának tekintetében. Észrevehető, hogy az egyes műszereket reprezentáló görbék igen jól egymásra fekszenek, minimális eltérés csak a guggolás legelső pontján tapasztalható (A és C panel). Ennek oka a mérési módszertani különbségekben keresendő. A térd medial-lateral mozgásában mért különbségek a keresztcsont mozgásához viszonyítva számszakilag igen egyformák, a vizuálisan tapasztalható különbségek a kisebb értékhatárokból adódnak, ahol a kilengések

milliméteres nagyságrendűek. Az E panel bemutatja a markerek, szenzorok, rögzített pontok emberi testen való elhelyezkedését.

## **II. Részfeladat: A térd valgus és a guggolási mélység összefüggéseinek vizsgálata**

Az első kutatás második részében arra kerestük a választ, hogy hogyan tudunk olyan módszertant kidolgozni, mellyel jól, és egyszerűen kimutatható a térd mediolateralis mozgása, valamint a guggolási mélység és a térd valgus közötti összefüggés. Huszonkét fő (nő=9; életkor=24.5±10 év) egészséges és fizikailag aktív személy volt bevonva ebbe a vizsgálatba. A résztvevők olyan enyhe térdpanaszokkal, például futás után jelentkező patellofemorális fájdalommal, vagy éppen túrázás után megjelenő közepes térdfájdalommal – patológiás és funkcionális elváltozások nélkül– kerültek bevonásra ebbe a kutatásba, melyek nem igényeltek orvosi felügyeletet. Az 1-től 10-ig terjedő Tegner skála alapján átlagban az 5-ös kategóriába kerültek, mely kerékpározást, városi futást, rekreációs sportok üzését vagy nehéz fizikai munka végzését jelenti heti több mint 3 alkalommal. A vizsgálatok során kizárólag a Kinect Azure kamerát használtuk, mely 100 cm-es magasságban és 250 cm-es távolságban került elhelyezésre a vizsgálati személyektől. A Kinect Azure a frontális síkot rögzítette, vagyis az ízületek medial-lateral irányú elmozdulását (az első részfeladathoz hasonlóan). A Kinect kamerától 250 cm-re a kamera frontális síkjával megegyezően egy plexiből készített, 3 cm magas plató került elhelyezésre a talajon, mely biztosította, hogy a vizsgálati személyek a kamerával végig szemben maradjanak. A vizsgálati személyek ezen a platón állva végezték el az SLS tesztet. Ez a beállítás lehetővé tette, hogy a vizsgálati személyek teljes teste látszódjon a felvételek során.

Az eszköz beállítása után a vizsgálati személyek csípőszéles terpeszben elhelyezkedtek az erre a célra kialakított platón, és mind a két kezüket csípőre helyezték. Ebből a pozícióból a vizsgálati személyek először jobb lábra álltak, bal térdüket behajlították és a sarkukat hátra felé felhúzták. Ezt követően végrehajtottak 4 db SLS gyakorlatot. Ezután a feladatot megismételték a másik lábon is. A résztvevők azt az instrukciót kapták, hogy próbáljanak lassan leguggolni a lehető legmélyebbre addig a pontig, ahonnan biztonságosan és stabilan fel tudnak állni, miközben a talpuk mind végig a talajon marad, és a sarkuk nem emelkedik meg.

A guggolások mélységét, és a térd medial-lateral irányú mozgását centiméterben rögzítettük. Az egyes guggolásokat az adatfelvétel után egyenként elemeztük ki Microsoft Excel program segítségével. Minden alany esetében megvizsgáltuk a 15%-os guggolási mélységen mért térd valgus értéket, és a 30%-os guggolási mélységen mért térd valgus értéket a jobb és a bal láb esetében is. Ezt követően a 15%-os guggolási mélységen mért adatokat, és a 30%-os guggolási mélységen mért adatokat alanyonként két külön listába rendeztük. A jobb és bal láb eredményeit közös listába rendeztük, az adatokat csak a 15%-os és a 30%-os mélység szerint csoportosítottuk. A 30%-os guggolási szintet nem volt képes minden alany mind a két láb esetében elérni, de a 15%-os guggolási mélységet minden vizsgálati személy elérte. A 30%-os lista így kevesebb adatot tartalmazott. A csoportokba rendezett adatokat normalitás vizsgálat alá vetettük. Az adatok mindkét csoportban normál eloszlást mutattak, de mivel a 30%-os csoport kevesebb elemet tartalmazott, mint a 15%-os csoport, így egymintás t-próbát alkalmaztunk, ahol a 15%-os csoport átlaghoz hasonlítottuk a 30%-os csoport eredményeit.

### **A második vizsgálat**

Ebben a kutatásban serdülő korú labdarúgó játékosok alsóvégtagi mozgásmintáinak a vizsgálata történt meg laboratóriumi körülmények között Kinect Azure kamerával. A vizsgálatok mozgásminta szűrő tesztekkel álltak, névlegesen a korábban már ismertetett SLS, SLJ és DJ tesztekkel.

Az SLS, SLJ és DJ tesztek megbízhatóságának ellenőrzésére teszt-reteszt megbízhatósági vizsgálatot végeztünk. A megbízhatósági vizsgálat célja annak a megállapítása volt, hogy ha a három különböző tesztet egymás után több szérián keresztül is megismételjük, akkor minden széria eredménye ugyanazt, vagy hasonló eredményt fog-e mutatni. Tehát az egyes tesztek képlékenységére, variabilitására, megbízhatóságára voltunk kíváncsiak.

### **A vizsgálati személyek**

Az "A" csoportba 12 fő (férfi=12; kor=13,9± 0,83 év; testsúly= 57,9±7,64 kg; magasság=171,27±9,12 cm) egészséges, verseny szinten sportoló játékos tartozott. A "B" csoportba 10 fő (férfi=10; kor=14.7±0.82 év; testsúly=61.8±9.28 kg;

magasság= $174.3 \pm 7.31$  cm) egészséges, verseny szinten sportoló férfi labdarúgó játékos tartozott.

A két csoport hasonló edzésterhelésnek volt kitéve, hasonló heti edzésszámokkal rendelkeztek. A szokásos labdás, technikai és erőnléti edzéseken kívül (melyeket mind két csapat egyformán végzett), az "A" csoport erőnléti edzője 2 hónapon keresztül heti két alkalommal a kondicionáló edzés elején konkrét valgus ellenes, keresztszalag támogató gyakorlatokat is végeztetett. Ezek a feladatok különböző egy lábbon végrehajtott gyakorlatokat, instabil egyensúlyi helyzeteket és unilaterális gyakorlatokat jelentettek.

### **A vizsgálati protokoll**

A vizsgálatok előtt a résztvevők egy általános, és egy alsó végtagra vonatkozó bemelegítést végeztek el. A bemelegítés 3 perc futásból, szökdelő feladatokból, csípő, térd és boka körzésekből, 20 db két lábás guggolásból, valamint egy-lábás guggolásból állt. A familiarizáció céljából a vizsgálati személyek annyiszor hajtották végre az SLS, SLJ és DJ gyakorlatokat, ahányszor csak akarták. Jellemzően ez 4-5 db nem értékelt ismétlést jelentett gyakorlatonként. A bemelegítést a vizsgálati személyek saját szükségletüknek megfelelően egyéb gyakorlatokkal is kiegészíthették, de felhívtuk a figyelmüket, hogy a bemelegítés során ne fáradjanak el, összesen a bemelegítés 10-12 percnél tovább ne tartson. A gyakorlatok bemutatása a következő sorrendben történt: SLS, SLJ, DJ.

A "B" csoport esetében végeztük el a Teszt-Reteszt variabilitási vizsgálatot az SLS, SLJ és DJ teszt esetében. Ez azt jelentette, hogy az első szériában a vizsgálati személyek végrehajtották az SLS, SLJ és DJ teszteket, majd 15 perc pihenő idő után a második szériában megismételték a gyakorlatokat ugyanabban a sorrendben és ismétlésszámban.

## **EREDMÉNYEK**

### **Az első vizsgálat I. részfeladata**

Az abszolút átlagos különbség a medence függőleges mozgásában a Kinect és az OptiTrack között mindösszesen  $1.3 \pm 0.7$  cm volt, míg a térd oldalirányú mozgásában  $0.7 \pm 0.3$  cm volt. A Kinect Azure és az Xsens összehasonlítása során a medence

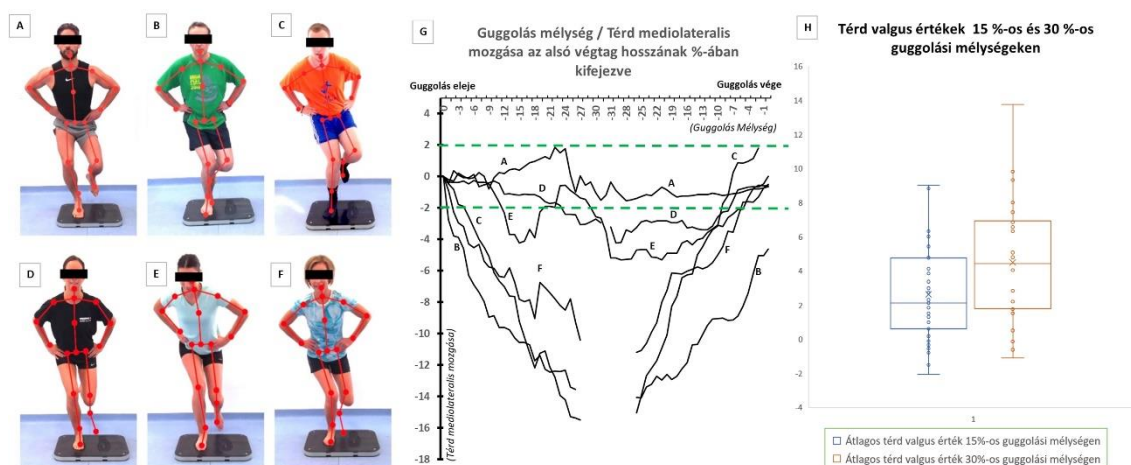


függőleges mozgásában mért különbség  $1.5 \pm 0.7$  cm volt, míg a térd oldalirányú mozgásában  $1.5 \pm 0.9$  cm-es átlagos abszolút különbséget találtunk.

### Az első vizsgálat II. részfeladata

A korábban ismertetett módszertan alapján 22 fő jobb és bal térdének oldalirányú elmozdulását mértük az egylábás guggolások közben, hogy elemezzük a kapcsolatot a guggolási mélység és a dinamikus térd valgus között. Elemezve a guggolási mélységeket a térd oldalirányú mozgásaihoz képest azt találtuk, hogy a dinamikus térd valgus mértéke a guggolási mélységgel együtt fokozatosan növekszik. A 2.ábra 6 fő vizsgálati személy guggolását mutatja be. 3 fő relatíve stabilan tartja a térdét guggolás közben, míg 3 résztvevő térde jelentősen valgusba billen a feladat végrehajtása közben. Habár a térd valgus mértéke kisebb volt 15%-os guggolási mélységen mint 30%-on, a trendek jól megfigyelhetők. Akiknek jelentős térd valgusa volt 30 %-os guggolás mélységen, azoknak már 15 %-on is, viszont akik a 15%-on stabilan, a lábfejük fölött tudták tartani a térdüket, azok 30 %-on is kisebb térd valgust produkáltak.

Az eredményeket statisztikai próbák segítségével is elemeztük. A 15%-os és a 30%-os szintek térd valgus adatsorait normalitás vizsgálat alá vetettük, melynek során megállapítottuk, hogy az adatok normál eloszlást követnek. Tekintettel arra, hogy az adatsorok normál eloszlást követtek, ezért t-próbát alkalmaztunk. Az átlagos térd valgus mértéke 15 %-os guggolási mélységen  $2.63 \pm 2.63\%$  volt, addig 30%-os mélységen szignifikánsan magasabb,  $4.5 \pm 3.59\%$  ( $t(27) = 2.77, p = 0.01$ ), lásd 2. ábra.

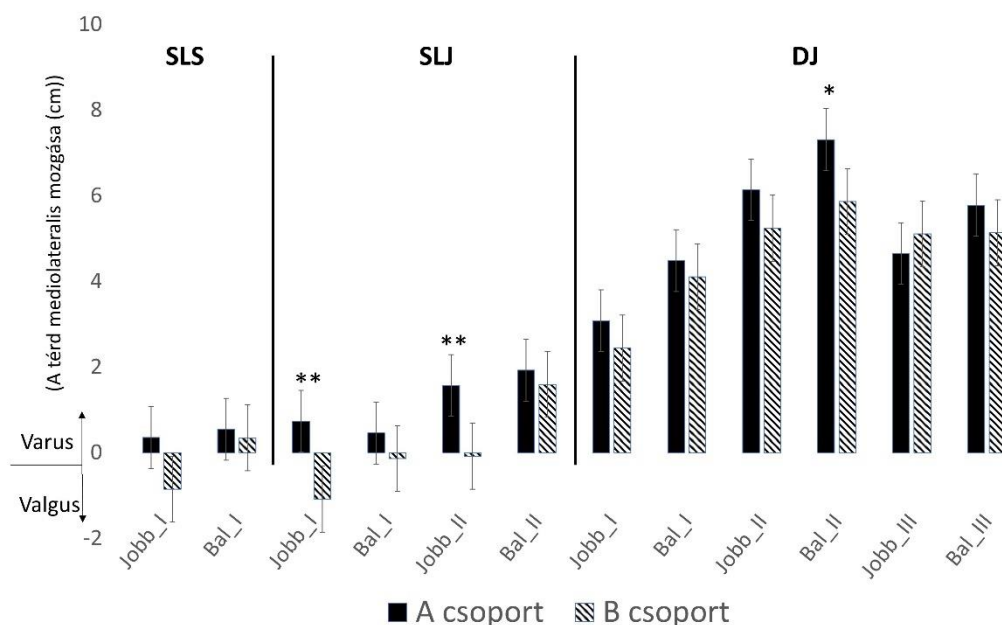


**2. Ábra:** A guggolási mélység, és a térd valgus közötti összefüggések bemutatása 6 vizsgálati személyen. A bal oldali panel a 6 fő eltérő minőségben bemutatott egylábás

guggolását ábrázolja az egészen kiválótól a nagyon gyengéig. A középső panelen a fekete vonalak a vizsgált személyek oldalirányú térd mozgását ábrázolják, az X tengelyen a guggolási mélység, míg az Y tengelyen a térd valgus/varus mértéke látható. Az esetek nagyobb részében a fekete vonalak meredeken letörnek, és csak 1-2 vonal marad a 2%-os oldalirányú elmozdulást ábrázoló zöld folyosóban. A zöld folyosóban maradó, vagy ahhoz közelítő személyek térde mind végig igen stabilan egyhelyben maradt, míg a többiek jelentős oldalirányú térd valgussal rendelkeztek. A jobb szélső panel a 15%-os és 30%-os guggolási szinten mért térd valgus értékeket ábrázolja, melyből az látszik, hogy a mélyebb pozícióban szignifikánsan nagyobb a valgus mértéke, mint a kisebb szinten.

### A második vizsgálat SLS, SLJ és DJ tesztek eredményei

A második vizsgálatban az A és B csoport SLS, SLJ és DJ teszteken elért eredményeit hasonlítottuk össze. Az összesített eredményeket a 3. ábra tartalmazza. Az A csoport minden teszt esetében jobb valgus eredményeket produkált, mint a B csoport, és ez a különbség szignifikáns is volt a SLJ\_I. fázisban a jobb oldalon ( $U(22)=20$ ,  $Z=-2.638$ ,  $p=0.008$ ), és az SLJ\_II. fázisban szintén a jobb oldalon ( $U(22)=18$ ,  $Z=-2.558$ ,  $p=0,011$ ), valamint a DJ\_II esetében, a bal oldalon ( $U(22)=31$ ,  $Z=-1.912$ ,  $p=0.056$ ).



3. Ábra: Az SLS, SLJ és DJ tesztek során rögzített átlagos térd valgus/varus értékek az A és a B csoport összehasonlításában. Majdnem minden esetben az A csoport tagjai jobb

eredményeket produkáltak, mint a B csoport tagjai. A különbség 3 esetben szignifikáns is volt. A Mann-Whitney U teszt alapján a \* jelzés a  $p < 0.05$  és a \*\* a  $p < 0.01$  szignifikancia szintet jelöli. A különbség oka feltehetően az, hogy az A csoport tagjai a felmérést megelőzően hosszabb perióduson keresztül külön alsóvégtagi korrekációs feladatokban részesültek, míg a B csoport tagjai nem. A pozitív értékek varus irányú mozgást, míg a negatív értékek valgus irányú mozgást jelentenek.

### **A második vizsgálat teszt-reteszt megbízhatósági vizsgálat eredményei**

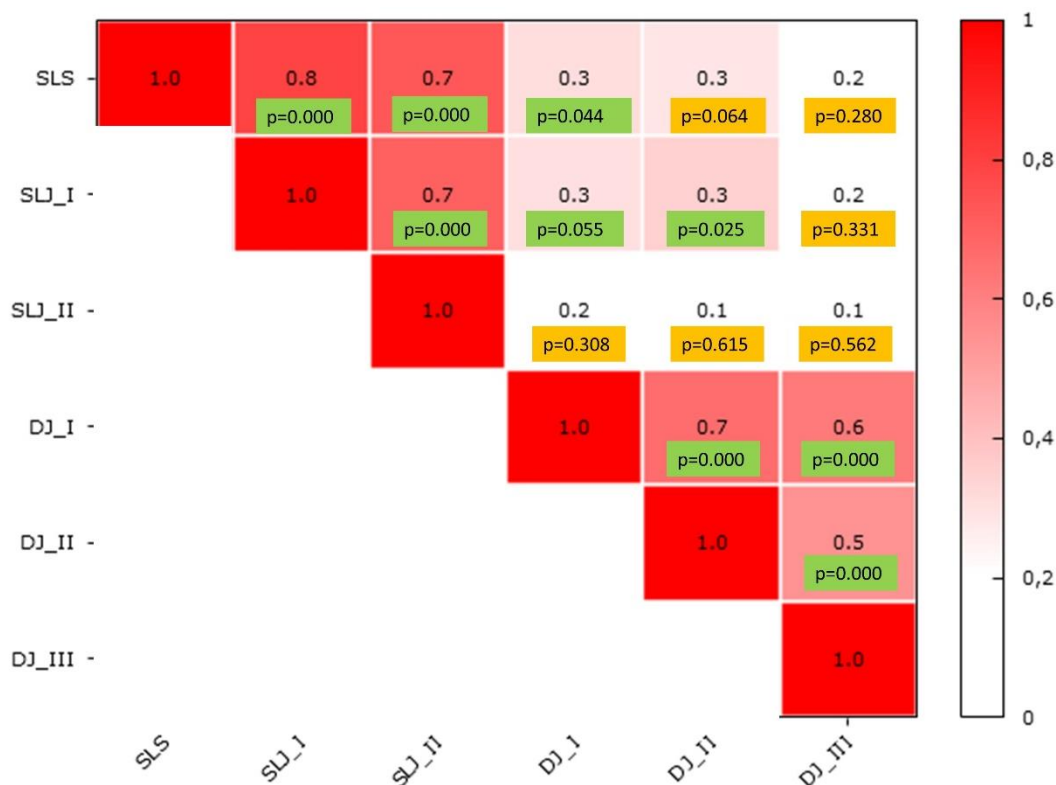
A Pearson Korrelációs Együttható megmutatja a kapcsolat erősségét az első és a második széria SLS, SLJ és DJ eredményei között. Minél közelebb áll az érték az 1-hez, annál erősebb az összefüggés a két tényező között. Azonban, ha az r érték 0-hoz közelít, az azt jelenti, hogy nincs, vagy csak gyenge kapcsolat van a két érték között. Az 1. táblázatban látható, hogy a vizsgált tesztek nagy részében erős vagy nagyon erős a korreláció az első és a második széria eredményei között.

#### **1. Táblázat: Az SLS, SLJ és DJ tesztek megbízhatóságát összegző teszt-reteszt elemzés eredményei**

	<i>SLS</i> <i>Jobb</i>	<i>SLS</i> <i>Bal</i>	<i>SLS</i> $\Sigma$	<i>SLJ</i> <i>J. I.</i>	<i>SLJ</i> <i>B. I.</i>	<i>SLJ</i> <i>J. II.</i>	<i>SLJ</i> <i>B. II.</i>	<i>SLJ</i> $\Sigma$	<i>DJ</i> <i>J. I.</i>	<i>DJ</i> <i>B. I.</i>	<i>DJ</i> <i>J. II.</i>	<i>DJ</i> <i>B. II.</i>	<i>DJ</i> <i>J. III.</i>	<i>DJ</i> <i>B. III.</i>	<i>DJ</i> $\Sigma$
<i>Pearson</i> <i>korreláció</i> <i>(r)</i>	.715	.612	<b>0.664</b>	.872	.910	.560	.649	<b>0.748</b>	.732	.940	.906	.697	.892	.883	<b>0.841</b>
<i>p</i>	.020	.060	<b>0.04</b>	.002	.001	.117	.059	<b>0.045</b>	.016	.000	.000	.025	.001	.001	<b>0.007</b>

### **A második vizsgálat SLS, SLJ és DJ teszt eredmények közötti korrelációs kapcsolat erőssége**

A vizsgálatok során meghatároztuk az SLS, SLJ és DJ tesztek közötti összefüggések erősségét a Pearson féle korrelációs együttható segítségével. A 4. ábra ismerteti az eredményeket. Erős korrelációt találtunk az SLS és az SLJ I. ( $r=0.788$ ), valamint az SLS és az SLJ II. ( $r=0.725$ ) között. Nem találtunk korrelációt, vagy csak gyengét az SLS és a DJ, illetve az SLJ és a DJ tesztek között.



**4. Ábra:** A kapcsolat erősségét bemutató korrelációs mátrix az SLS, SLJ és DJ teszt eredmények között. Az ábra bemutatja az egyes teszt eredmények közötti összefüggés erősségét. A tónusos piros színek erős, illetve nagyon erős korrelációs kapcsolatot jeleznek az SLS és SLJ teszt egyes fázisai között, míg az egy lábás gyakorlatok és DJ teszt között csak gyenge kapcsolatot láthatunk.

## MEGBESZÉLÉS

A fő célja a disszertáció elkészítésének az volt, hogy letegye egy új alapokra helyezett, gyakorlati körülmények között is gyorsan, egyszerűen és könnyen alkalmazható, költséghatékony mozgáselemző eszköz alapjait. A kutatás gyakorlati hasznosíthatóságát abban látom, hogy a térdízületi sérülések, keresztszalag szakadások nagy részét okozó dinamikus térd valgus időben, hatékonyan, hozzá férhető módon, számszerűen lehessen szűrni, majd az azonosítást követően korrigálni. A dinamikus térd valgus felismerése igen fontos az ACL szakadások megelőzése szempontjából, hiszen ez önmagában véve is jelentős terhet ró a sportolóra, az egészségügyi ellátórendszerre és a sportoló sportegyesületére is. Nem feledkezhetünk el arról sem, hogy a későbbi életévek során a

korábban ACL sérült sportolóknál sokkal nagyobb eséllyel alakul ki térdízületi osteoarthritis is.

### **A Kinect Azure, Xsens MVN és OptiTrack rendszerek összehasonlítása**

A vizsgálataink során a mesterséges intelligencia alapú Kinect Azure-t, a reflektív markert használó OptiTrack kamerarendszert, és a rádiófrekvencia alapú Xsens MVN eszközt hasonlítottuk egymáshoz. A medence függőleges mozgásának kiértékelt eredményei nagyon hasonlóak voltak mind a három eszköz tekintetében. A térd medial-lateral irányú mozgását grafikonon ábrázolva kevésbe kaptunk egymásra simuló görbéket, de a különbség a kis skálázási tartomány miatt inkább vizuális eredetű. A szűkebb, néhány centiméteres értelmezési tartományt felnagyítva nagyobb kiugrásokat láthatunk, mint a jóval nagyobb elmozduló keresztcsont esetében. A jelenséget átgondolva érthető válik, hogy a kinagyított grafikonon a kilengések döntően milliméteres terjedelműek.

Az összesített eredményekből, valamint a tanulmányozott szakirodalomból úgy tűnik, hogy a Kinect abszolút alkalmas arra a célra, amelyre használni kívántuk – vagyis döntően a medence függőleges, és a térd oldalirányú mozgásának a vizsgálatára.

### **A térd valgus és a guggolási mélység összefüggéseinek megbeszélése**

A kutatás egy új felfedezése, hogy a guggolási mélységnek erős hatása van a dinamikus térd valgus nagyságára vonatkozóan. Általánosan elmondható, hogy minél mélyebb a guggolás, annál nagyobb a térd oldalirányú bedőlése, így nem elhanyagolható kérdés az egyes mozgásminta szűrő tesztek kiértékelésénél, hogy az illető vizsgálati személyek mekkora mozgásterjedelemben végzik a gyakorlatot, hiszen ez nagy mértékben befolyásolhatja a végső "diagnózis" felállítását. A dinamikus térd valgus értékelését az alsó végtag hosszának minimum 15%-ánál érdemes kezdeni, de kutatásaink alapján az körvonalazódik, hogy a sportoló/élsportolóknak esetén a 30%-os guggolási mélységi szint még optimálisabbnak mondható. Sok vizsgálat a szakirodalomban a korábbi Kinect V2 kamerát használta, az új Kinect Azure kamera tesztelése ilyen szempontból is újdonságnak mondható.

Eredményeink azt mutatják, hogy a megfelelő izomerővel és idegrendszeri regulációval rendelkező vizsgálati személyek képesek megtartani a térdüket a lábfejük felett a 15%-os

guggolási szinten. Úgy tűnik, hogy helyesen kivitelezett egylábás guggolás esetén, a térd végig egy 2%-os oldalirányú "mozgási folyosóban" marad, mely azt jelenti, hogy a guggolás mélységétől függetlenül a térdük 2%-nál nem végez nagyobb mediolateralis mozgást. Ezt a jelenséget szemlélteti a 2. ábra. Az igazán jól edzett sportolók a térdüket a 15%-os és a 30%-os guggolási mélységen is a 2%-os oldalirányú folyosóban tudták tartani, ámde az edzetlen egyének térde a guggolási mélység növekedésével folyamatosan medial irányba billent.

### **A teszt-reteszt eredmények megbeszélése**

A teszt-reteszt vizsgálat során arra voltunk kíváncsiak, hogy az egyes tesztek egymás után 2 szérián keresztül –15 perc különbséggel– végrehajtva –mindenféle beavatkozás, illetve a vizsgált személy állapotának befolyásolása nélkül– milyen különbségeket kapunk a teszt eredmények között. Tehát az egymás után végrehajtott 2 azonos teszt eredményei között milyen erős lesz a korreláció, vagyis akár gyakorló edzőként mennyire engednek minket ugyanarra a következtetésre vezetni. Az SLS gyakorlat esetében a szériák közötti korreláció erős volt ( $p=0.664$ ), az SLJ esetében még erősebb ( $p=0.748$ ), és a DJ teszt esetében nagyon erős ( $p=0.841$ ). Ebből az is látszik, hogy míg a két lábas ugrás teszt variabilitása viszonylag kicsi, addig az egy-lábás gyakorlatok nagy variabilitást mutattak a felmért labdarúgó játékosok körében. Edzésfelkészítés, vagy edzéscél szempontjából érdekes mérőszám lehet az egy-lábás gyakorlatok eredményei közötti variabilitás csökkentése. Tehát a magasabb edzettségi szint, pontosabban a jobb alsó végtagi reguláció, izomerő, stabilitás és mobilitás mérőszáma lehet a helyes guggolás kivitelezés mellett az is, ha az egy-lábás guggolások eredményének a variabilitása is csökken, tehát a helyes alsóvégtagi mozgásmintázatok úgy megszilárdulnak, hogy azok automatikusan hasonló képen megjelennek bármilyen fáradtsági állapot mellett, vagy bármilyen játék szituációban.

### **Az SLS, SLJ és DJ tesztek közötti korrelációs kapcsolatok**

Az SLS, SLJ és DJ tesztek összehasonlítása során magasabb varus értékeket találtunk a DJ teszt esetében, és magasabb valgus értékeket az egylábás gyakorlatok esetében. Erős kapcsolatot találtunk a térd oldalirányú mozgásában az SLS -SLJ\_I ( $r=0.788$ ) és az SLS-SLJ\_II ( $r=0.725$ ) között a serdülő korú férfi focisták esetében. Másrészt viszont gyenge

kapcsolat volt felfedezhető az SLS és a DJ között ( $r=0.305$ ), ráadásul a DJ és az SLJ között nem is volt kapcsolat ( $r=0.161$ ). Ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a több szempontú, több tesztből álló tesztsor alkalmazása elengedhetetlen a sportolók átfogó alsóvégtagi mozgásmintázatainak meghatározásához. Egyetlen teszt alkalmazása nem elég ahhoz, hogy reálisan meghatározzuk a sportolónk aktuális alsóvégtagi állapotát, az átfogó visszajelzéshez több teszt együttes alkalmazása szükséges. A sportolók talán normál mértékű medial-lateral irányú térdmozgást produkálnának a DJ teszt során, ezzel egy optimális kategóriába kerülnének, de az egy-lábás tesztek felfedik az eltéréseket és a mozgás hibákat a sportolók alsóvégtagi funkcióiban. A teljeskörű állapotfelmérés érdekében az egy- és két lábás tesztek alkalmazása együttesen javasolt.

### **Az A és B csoport eredményeinek összehasonlítása**

Az A és B csoport eredményeinek összehasonlítása azt mutatja, hogy az A Csoport tagjai jobb alsóvégtagi teljesítményt nyújtottak a tesztek során, mint a B csoport tagjai. A speciális kiegészítő alsóvégtagi gyakorlatok precízebb technikai végrehajtást eredményeztek az A csoport tagjainak körében. A célspecifikus feladatok, úgymint a guggolás, az egylábás guggolás, az egylábás egyensúlyi helyzetek, a csípő körüli izmok speciális erősítése, az egy és kétlábás gyakorlatok helyes technikával kivitelezve hatékonyan fejlesztik a mozgás minőségét és csökkentik az ACL sérülések incidenciáját.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Döntések a hipotézisekről

### **I. Vizsgálat**

**I/A Hipotézis:** A Kinect Azure kamera megbízható mérőeszköz az alsóvégtagi paraméterek mérésében.

*A hipotézist elfogadjuk. A Kinect Azure-t két nemzetközi szinten elfogadott és széles körben használt "gold standard" mozgáselemző rendszerhez hasonlítottuk. Az összehasonlító vizsgálatok során kiderült, hogy az általunk használt 3 eszköz között a*

*vizsgált ízületi pontokban átlagosan 0,7-1,5 cm eltérés mutatkozik, így a mi vizsgálati céljainkra alkalmas a Kinect Azure kamera (1. Ábra).*

**I/B Hipotézis:** Edzett személyeknél a térdhajlítás fokozásával együtt járó valgus növekedés kisebb, mint edzetlen személyeknél.

*A hipotézist elfogadjuk. Enyhe térdpanaszokkal rendelkező, de aktív életmódot folytató személyek összehasonlítása során kiderült, hogy általánosságban véve a guggolási mélység növekedésével a térd valgus mértéke is növekszik. A 15%-os és a 30%-os guggolási mélységek között, a dinamikus térd valgus vonatkozásában szignifikáns különbség van. Az átlagon felül állnak azok a jól edzett sportolók, akik a guggolás teljes időtartama alatt térdüket a "knee over foot" pozícióban, vagy attól lateral irányban kifelé meg tudják tartani, a vertikális mozgástól függetlenül, térdük szinte oldalirányú mozgást nem is végez (2. Ábra). Ez nagy fokú stabilitást jelent számukra, mellyel az ACL sérülések esélyét jelentősen redukálják.*

## **II. Vizsgálat**

**II/A Hipotézis:** A rendszeres alsóvégtagi korrekciós tréninget végző sportolók kisebb mértékű dinamikus térd valgus értékeket produkálnak az SLS, SLJ és DJ tesztek során, a speciális alsóvégtagi fejlesztő gyakorlatokat nem végző sportolókhöz képest.

*A hipotézist elfogadjuk. A rendszeresen korrekciós és keresztszalag támogató gyakorlatokat végző A csoport tagjai minden alkalmazott teszt során jobb eredményeket értek el a térd mediolateralis mozgásának értékelése során, mint a kiegészítő feladatokat nem végző B csoport tagjai (3. Ábra). A különbség több esetben szignifikáns is volt.*



**II/B Hipotézis:** Az SLS és SLJ gyakorlatok eredményei között erős korrelációs kapcsolat van, míg az SLS és DJ, valamint az SLJ és DJ eredményei között nincs korrelációs kapcsolat.

*A hipotézist elfogadjuk. Vizsgálataink alapján úgy tűnik, hogy az egylábos gyakorlatok eredményei között erős korrelációs kapcsolat áll fenn, az SLS és SLJ teszt egyes fázisainak eredményei erősen korrelálnak egymással. Ámde az SLS és SLJ eredmények nem, vagy csak minimális mértékben konvergálnak a DJ teszt eredményeivel. Tehát érhet el úgy valaki jó eredményt a kétlábos gyakorlatok során, hogy közben az egylábos feladatok során rosszul teljesít. Ezért a teljeskörű alsóvégtagi mozgásminta felméréshez a több szempontú, több tesztből álló tesztelés elengedhetetlen (4. Ábra).*

#### SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE:

##### **Az értekezés témájához kapcsolódó publikációk jegyzéke:**

**UHLÁR, Á., AMBRUS, M., & LACZA, Z. (2023).** Dynamic valgus knee revealed with single leg jump tests in soccer players J Sports Med Phys Fitness, 63(3), 461–470.

**Uhlár, Á., Ambrus, M., Kékesi, M., Fodor, E., Grand, L., Szathmáry, G., ... Lacza, Z. (2021).** Kinect Azure–Based Accurate Measurement of Dynamic Valgus Position of the Knee - A Corrigible Predisposing Factor of Osteoarthritis. Appl Sci., 11(12).

**Uhlár, Á., Fodor, E., & Lacza, Z. (2019).** A térd sérülések és a dinamikus térd valgus közötti kapcsolat feltárása. TST/PSS, 4(3–4), 16–22.

##### **Az értekezés témájához nem kapcsolódó saját publikációk jegyzéke:**

**Uhlár, Á. (2023).** A hon- és rendvédelmi szervek személyi állományának mozgásszervi állapotfelmérése, sérülés megelőzése és sérülés utáni rehabilitációjának lehetősége a mesterséges intelligencia felhasználásával. Sci. Sec., 3(3), 166–175.

**Uhlár, Á., & Katona, P. (2018).** Funkcionális edzés során alkalmazott instabil súlyok hatása a vázizomzat elektromos aktivitására. *Magy. Sport. Sz.*, 19(5 (77)), 50–54.

**Uhlár, Á., Szemes, Á., & Tóth, L. (2016).** Testnevelő tanárjelölt hallgatók vizsgálata a pályaválasztásról alkotott véleményük tükrében. *TST/PSS*, 1(2), 8–19.

Ambrus M, Fodor E, Berki T, Müller V, **Uhlár Á**, Hornyák I, Lacza Z. (2023)  
Professional Athletes Maintain High TNF-Alpha or IFN-Gamma Related Inflammatory Status after Recovering from COVID-19 Infection without Developing a Neutralizing Antibody Response. *SPORTS* 11(5) Paper: 97, 10 p.