

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Biológiai és Sportbiológiai Doktori Iskola

**Medence- és combizmok ízületet stabilizáló és teljesítményt
meghatározó szerepe unilaterális felugrásoknál**

PhD értekezés

Vadász Kitty

PÉCS, 2023

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Biológiai és Sportbiológiai Doktori Iskola

Medence- és combizmok ízületet stabilizáló és teljesítményt meghatározó szerepe unilaterális felugrásoknál

PhD értekezés

Vadász Kitty

Témavezető:

Dr. Váczai Márk

habilitált egyetemi docens

.....
Dr. Váczai Márk

Témavezető

.....
Dr. Gábrriel Róbert

Iskolavezető

PÉCS, 2023

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	3
RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	6
ÁBRÁK, TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	7
1. BEVEZETÉS	9
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	11
2.1. A függőleges felugrások mozgásmintái	11
2.2. A térdízület felépítése és funkcionális anatómiája	13
2.3. Az ízületi stabilizáció fogalma, kvantitatív mutatói és mérési módszerei	17
2.4. A dinamikus térd valgus kialakulása	19
2.5. A DTV diagnosztizálása és következményei	21
2.6. Sportmozgások és térsérülések kapcsolata	21
2.7. A térdízület izmainak erősítése a térsérülések megelőzéséért	22
2.8. Az ágyéki gerinc és a medence frontális síkú stabilizációja	25
2.9. A probléma megközelítése	26
3. CÉLKITŰZÉSEK, HIPOTÉZISEK	29
4. ANYAG ÉS MÓDSZER	30
4.1. Első vizsgálat – medenceövi izmok frontális síkú térd- és medence-stabilizáló mechanizmusai unilaterális felugrásnál	30
4.1.1. Vizsgálati személyek	30
4.1.2. Vizsgálati beállítás	30

4.1.3.	Elektromyográfia.....	31
4.1.4.	MVC mérésére szolgáló tesztek.....	32
4.1.5.	Unilaterális CMJ teszt.....	34
4.1.6.	Kinematikai elemzések.....	35
4.1.7.	A felugrások dinamikai elemzése.....	36
4.1.8.	Adatfeldolgozás és statisztikai elemzések.....	37
4.2.	Második vizsgálat – combizmok és csípőízületi abduktorok maximális erejének hatása a felugrási teljesítményre unilaterális felugrásnál.....	39
4.2.1.	Vizsgálati személyek.....	39
4.2.2.	Vizsgálati beállítás.....	40
4.2.3.	MVC mérésére szolgáló tesztek.....	40
4.2.4.	Unilaterális CMJ teszt.....	41
4.2.5.	A felugrások dinamikai elemzése.....	42
4.2.6.	Statisztikai elemzések.....	42
5.	EREDMÉNYEK.....	43
5.1.	Az első vizsgálat eredményei – medenceövi izmok frontális síkú térd- és medence-stabilizáló mechanizmusai unilaterális felugrásnál.....	43
5.2.	A második vizsgálat eredményei – combizmok és csípőízületi abduktorok maximális erejének hatása a felugrási teljesítményre unilaterális felugrásnál.....	47
6.	MEGBESZÉLÉS.....	49
7.	ÚJ EREDMÉNYEK.....	55
8.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	56

9. SUMMARY.....	58
10. IRODALOMJEGYZÉK.....	60
11. PUBLIKÁCIÓS LISTA.....	83
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	88

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

ACL	Elülső keresztszalag (Anterior Cruciate Ligament)
CMJ	Előzetes lendületvétellel (súlypontsüllyesztéssel) végrehajtott függőleges felugrás (Countermovement Jump)
DJ	Mélybeugrásból végrehajtott függőleges felugrás (Drop Jump)
DTV	Dinamikus térd valgus
EMG	Elektromyográfia
ES	Erector spinae izom
GM	Gluteus medius izom
I	Propulziós impulzus
ICC	Osztályon belüli korrelációs együttható (intraclass correlation coefficient)
M	Forgatónyomaték
MB	Medencebillenés
MVC	Maximális izometriás kontrakció (Maximum Voluntary Contraction)
PCL	Hátsó keresztszalag (Posterior Cruciate Ligament)
QL	Quadratus lumborum izom
RMS	EMG négyzetgyök átlag (Root Mean Square)
SD	Szórás (Standard Deviation)
SENIAM	Surface ElectroMyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles
SJ	Guggolásból (nyugalmi helyzetből) végrehajtott függőleges felugrás (Squat Jump)

ÁBRÁK, TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. ábra: A térdízület felépítése	14
2. ábra: A térdízület tengelyei	15
3. ábra: A comb izmai	16
4. ábra: DTV helyzet (a). Fiziológiás térd tartás (b).	19
5. ábra: Gluteus medius	20
6. ábra: Quadratus lumborum (a); Erector spinae (b).	26
7. ábra: Felületi elektródák és az azokhoz tartozó szenzorok elhelyezése	31
8. ábra: Unilaterális felugrás teszt alatti nyers EMG	32
9. ábra: Frontális síkban végrehajtott törzs laterál flexió MVC	33
10. ábra: Csípőízületi abdukció MVC frontális síkban	34
11. ábra: Az unilaterális CMJ teszt kiindulóhelyzete	35
12. ábra: A 3D mozgáskövető szenzorok elhelyezése	36
13. ábra: Reprezentatív vertikális talajreakció erő-idő görbe	37
14. ábra: Unilaterális CMJ alatt mért EMG aktivitás és kinematikai paraméterek	38
15. ábra: MVC teszt Multicont II dynamométerrel	41
1. táblázat: A vizsgált dinamikai változók átlag és szórás értékei	43
2. táblázat: Osztályon belüli korrelációs együtthatók (ICC)	44
3. táblázat: A hatásnagyság értékei	44
16. ábra: Az ES, QL és GM normalizált EMG-aktivitása	45
17. ábra: Az unilaterális CMJ alatt mért DTV mértéke és a GM aktivitása közötti korreláció	45
18. ábra: Az unilaterális CMJ alatt mért DTV mértéke és a GM aktivitás/csípőízületi abdukciós erő aránya közötti korreláció	46

4. táblázat: Pearson-féle korrelációs együtthatók és Spearman-féle rangkorrelációk a neurokinematikai és kinetikai változók között.....	47
5. táblázat: A vizsgált teljesítménymutatók átlag és szórás értékei	47
6. táblázat: A dinamikai változók Pearson-féle korrelációs együtthatói	48
7. táblázat: Fisher-féle egzakt próba, a korrelációk különbségeinek vizsgálata egy közös változóval, a propulziós impulzus vonatkozásában.....	48

1. BEVEZETÉS

A talajon végzett sportmozgásoknál bekövetkező, ízületi instabilitásból származó, alsó végtagot érintő sérülések száma az utóbbi évtizedekben drámai módon megnőtt. Ennek számos oka lehet, mint például a sportágakban megjelenő fokozottabb teljesítménykényszer, a sportolók magasabb terhelése és csökkenő regenerációs ideje, vagy a korai specializációból származó sokoldalú képességfejlesztés elmaradása. Az ízületi instabilitásból származó sérülések – melyek igen gyakran súlyos kimenetelűek – kezelése hatalmas anyagi terhet ró az egészségügyre, és a sportolók esélye a sportba való teljes értékű visszatérésre minimális. Az ízületi instabilitás okainak és mechanizmusainak feltárása a biomechanika egyik fiatal kutatási területe. A emberi mozgások nagyon összetettek, egy mozgás kivitelezése számos izom együttesen végzett, pontosan szabályozott és meghatározott időben fellépő aktivitásnak az eredménye. Ennek eredményeképpen a mozgások minél pontosabb feltárása érdekében a kutatások során egyre több paramétert kell szem előtt tartani, ha egy vagy egyszerre akár több ízület stabilitását szeretnénk kvantitatívan kifejezni.

Sporttevékenység végzése során (edzés, mérkőzés, verseny stb.) a leggyakrabban a térdízületi instabilitás mértékével összefüggésben léphetnek fel különböző sérülések, amelyekben elsősorban a térdízület passzív anatómiai képletei érintettek (S. J. Shultz et al., 2004). A térd-sérülések többsége leggyakrabban a felugrások, leérkezések, irányváltások, kitámasztások vagy futás közbeni oldalirányú forgások végrehajtása közben keletkezik. Fontos kérdése a kutatásoknak, hogy a sportsérülések száma mi módon csökkenthető, valamint melyek azok a prevenciók módszerek, amelyek alkalmazásával megelőzhető az esetlegesen bekövetkező sérülések.

A sérülések kockázatának mértéke sok esetben magától a tevékenység jellegétől függ, de a sportoló személy kondicionális állapota is jelentős mértékben befolyásolja (Taimela et al., 1990). Az időben feltárt hiányosságok még a problémák jelentkezése előtt kezelhetők, megfelelő edzésmódszerrel, terápiával, gyakorlatokkal javíthatók. Sok kutatót foglalkoztat az a kérdés, hogy a mozgások kivitelezése során hogyan lehet nagyobb teljesítményt elérni, nagyobb erőt kifejteni, melyek azok az izomcsoportok, amelyeknek aktivációja hozzájárul a jobb eredmény eléréséhez. Igencsak releváns feltérképezni azt a mozgásmintázatot, amelynek végrehajtásával a sportmozgásokban maximális teljesítmény érhető el. Ezért fontos lenne meghatározni azt is, hogy az ízületi instabilitás összefüggésben van-e a teljesítménnyel, illetve

milyen hatással van a mozgás közbeni teljesítményre. Továbbá lényeges azt is megállapítani, melyek azok az izomcsoportok, amelyek a leginkább befolyásolják egy adott ízület stabilitását.

Jelen disszertációban a magas térd sérülési kockázatú sportmozgások (elsősorban unilaterális támaszhelyzetek) során megnyilvánuló ízületi stabilizáció jelenségét és annak anatómiai és neuromechanikai hátterét, valamint a sportsérülésekkel mutatott összefüggését mutatjuk be a szakirodalmi áttekintésben. A disszertációban ismertetünk két olyan humán vizsgálatot, melyekben kvantitatív dinamometriai és neurokinematikai mérések segítségével az alábbi kérdésekre kerestük a választ: melyek azok a mechanizmusok, amelyek hozzájárulnak a térdízület stabilizálásához unilaterális függőleges felugrás során, valamint melyek azok a stabilizációs paraméterek, amelyek hatással vannak a felugrási teljesítményre? A kapott eredményeink nagy segítséget nyújthatnak a jövőbeli hatékony edzéstervezésben, és egyben hozzájárulhatnak a térd sérülések elkerüléséhez.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A függőleges felugrások mozgásmintái

Mivel a disszertációban bemutatott vizsgálatokban függőleges felugrás teszteket alkalmaztunk az ízületi stabilizáció mechanizmusaink feltárására, ezért célszerűnek látjuk, hogy a szakirodalmi áttekintést a függőleges felugrások típusainak és mozgásmintáinak bemutatásával kezdjük. A felugrások a természetes mozgásokhoz sorolhatók, előfordulását tekintve a legtöbb sportágban (kosárlabda, röplabda, atlétika, labdarúgás, kézilabda stb.) megtalálhatók. Bár ezekben a sportágakban egyes irányváltoztató mozgások, kitámasztások, elrugaszkodások nem feltétlenül függőleges irányba történnek, mégis a függőleges felugrások kinematikájához hasonlítanak a tekintetben, hogy hasonló ízületi hajlítások és kinyúlások következnek be a mozgások végrehajtásakor. A függőleges felugrásokat és azok variációit a fentiekén kívül számos egyéb sportág edzésrendszerében is alkalmazzák, mely plyometrikus edzésmódszerként terjedt el már szinte fél évszázada (Verkhoshansky, 2012). Ezért a függőleges felugrásoknak mind teljesítmény tesztként, mind edzésgyakorlatként óriási jelentőséget tulajdonítanak, amelyet az is igazol, hogy a PubMed elektronikus könyvtár a „vertical jump” kulcsszó kombináció használatával több mint négyezer találatot eredményez (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>, letöltés ideje: 2023.06.23.).

Megvizsgálva a függőleges felugrások mozgásmintáit, azt tapasztalhatjuk, hogy a tömegközéppont függőleges megindulásakor szinte valamennyi ízület elmozdul, melyet sok izom összehangolt, együttes vagy éppen aszinkronitást mutató aktivációja hoz létre. Tudományos kutatómunkákban gyakran alkalmaznak függőleges felugrás teszteket a sportolók aktuális erőnlétének diagnosztizálásaként (Alemdaroğlu, 2012; Kraska et al., 2009; Rodríguez-Rosell et al., 2017) vagy akár a normális mozgásmintához viszonyított abnormalitások feltárásáért. Laboratóriumi méréseknél elsősorban erőplatóval, mozgáselemző rendszerekkel és elektromyográfiával vizsgálják a kutatók a felugrások kinematikai és kinetikai paramétereit.

A kutatók alapvetően háromféle felugrás tesztet alkalmaznak: a guggolásból végrehajtott felugrást (squat jump = SJ), az ellenirányú lendületszerzésből végrehajtott felugrást (countermovement jump = CMJ) és a mélybeugrást (depth jump = DJ) (Bobbert & Knoek van Soest, 2001; Caserotti et al., 2008; Markovic & Jaric, 2005; Moran & Wallace, 2007). A fentiekben leírt ugrás típusok angol nyelvű rövidítései jól ismertek a nemzetközi

szakirodalomban, jelen disszertációban is ezeket a rövidítéseket alkalmazzuk az ugrástípusok megkülönböztetésére.

SJ típusú felugrás tesztet általában a sportolók robbanékony erejének (explozív erő) mérésére használják (Markovic et al., 2004; Young et al., 1995). Ezeknél a teszteknél a vizsgált személy nyugalmi helyzetből, súlypont süllyesztés nélkül indítja a maximális erejű felugrást. Ilyenkor a mozgásban résztvevő izmok koncentrikus kontrakciót végeznek. A felugrások ezen típusa csak kis mértékben jellemző a sportmozgásokban (pl. rajtolás az úzásban vagy az atlétika futószámaiban), melynél mozdulatlan, nyugalmi vagy statikus helyzetből történik a hirtelen erő kifejtés, izomrövidülés.

A CMJ típusú függőleges felugrás tesztet a sportolók reaktív erejének mérésére alkalmazzák (Suchomel et al., 2020). A CMJ tesztet a vizsgálati személy alapállásból indítja, előzetes lendületvétellel. A lefelé irányuló excentrikus fázis után azonnal következik a függőlegesen felfelé irányuló koncentrikus szakasz, egészen a talajtól való elrugaszkodásig. A legtöbb sportmozgásban inkább CMJ típusú ugrásokkal találkozhatunk, hiszen a legtöbb felugrás helyből vagy előzetes lendületszerzésből, térdhajlítással történik. Jellemzően a CMJ típusú ugrásnál nagyobb súlypontemelkedést mérhetünk, mint a SJ típusú ugrásnál, hiszen a súlypont süllyesztés során elasztikus energia tárolódik, amely az emelkedés során felszabadul (Kozinc et al., 2022; Warneke et al., 2022). Így a két függőleges felugrás teszt értékeiből megbecsülhetjük az izmok elasztikus energiatárolási képességét, ennek az értéket a CMJ/SJ hányadosa mutatja meg (Weng et al., 2022).

A DJ típusú felugrás tesztek alkalmazásával a kutatóknak lehetőségük van a CMJ teszthez képes jóval magasabb és változatos izom-ín feszülést provokálni a leugrási magasság variálásával (Flanagan et al., 2008; McClymont, 2003). Ezen típusú ugrásokat szintén a sportolók reaktív erejének mérésére alkalmazzák. A teszt segítségével kimutatható, hogy a vizsgálati személy képes-e gyorsan átváltani excentrikusból koncentrikus izomösszehúzóásra, valamint a kapott eredményekből könnyen kifejezhető a vizsgált személy felugrási képessége (Young et al., 1995). A DJ teszt során a vizsgálati személyek általában 20-80 cm magas emelvényen helyezkednek el, majd az emelvényről végrehajtott leérkezést követően azonnali függőleges felugrást végeznek. A kiindulópont magasságának változtatásával megvizsgálhatjuk, hogy az alkalmazott magasságokból történő mélybeugrások során hogyan módosul a felugrási képesség vagy akár a mozgás kinematikája és annak abnormalitásai.

A tesztek végezhetőek karlendítéssel vagy karlendítés nélkül, de a sportolók közötti összehasonlításra a karlendítéssel történő végrehajtás kisebb megbízhatóságot mutat, ugyanis a

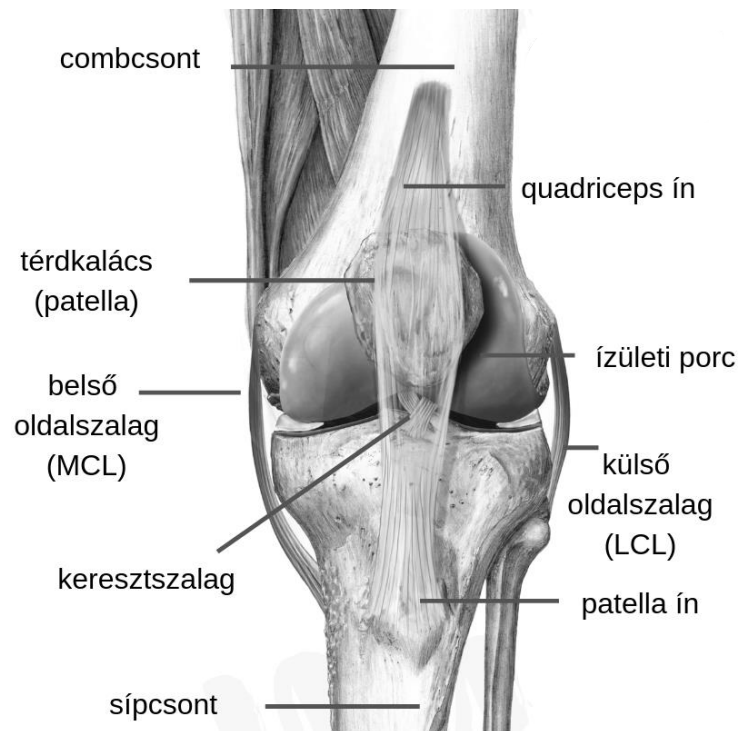
sportolók által produkált többlet felugrási erő, ami a karlendítésből származik, nagy egyéni variabilitást mutat (Cheng et al., 2008; Harman et al., 1991). Csípőre helyezett kézzel kikapcsolhatjuk a karlendítést és így a függőleges felugrásban mutatott teljesítményt megbízhatóbban tudjuk mérni (McLellan et al., 2011). A bemutatott vizsgálatokban a nagyobb megbízhatóság érdekében mi is ezen eljárást követtük.

A tudományos vizsgálatok jelentős része a fenti felugrás teszteket bilaterális és unilaterális végrehajtási módozatokkal is alkalmazza (Dobbs et al., 2015; Fischer et al., 2017; McElveen et al., 2010). Bilaterális felugrás teszteket elsősorban a funkcionális aszimmetria (két végtag közötti kinetikai és kinematikai eltérések és azok százalékos kifejezése) tanulmányozására alkalmazza (Impellizzeri et al., 2007; Ohji et al., 2021). A funkcionális aszimmetria diagnosztizálása kiemelten fontos sportsérülési rizikók feltérképezésére és az esetleges alsó végtagi sérülést követő, sportolásba való visszatérés lehetőségének megállapítására (Albano et al., 2020). Az unilaterális felugrás tesztek alkalmazásának nagy előnye a bilaterális felugrás tesztekhez képest, hogy jóval szenzitívebbek az ugrás közben kialakuló kinematikai mechanizmusok abnormalitásainak észlelésére, tekintettel arra, hogy az alsó végtagi terhelés jelentősen nő a bilaterális tesztekhez képest (Cleather et al., 2013; Tai et al., 2018). Továbbá, mivel az alátámasztás kétlábtámaszos helyzetből egylábtámaszos helyzetre módosul, ezért az egyensúlyi helyzet is bizonytalanná válik, és az egyes testszegmensek és ízületek stabilizációja nagyobb hangsúlyt kap. Végül a fenti részben leírt folyamatok miatt együttesen az unilaterális felugrások során a frontális síkban kifejezetten rizikós kinematikai jelenségek következhetnek be, melyek mechanizmusának feltárása jelen disszertáció egyik fő témáját képezi.

2.2. A térdízület felépítése és funkcionális anatómiája

Jelen vizsgálatban elsősorban a térízület instabilitásának paramétereivel foglalkozunk, ezért fontosnak tartjuk bemutatni a térdízület felépítését, valamint funkcionális sajátosságait. A térdízület a szervezetünkben található legnagyobb méretű és legbonyolultabb felépítésű ízület (1. ábra). Az alsó végtag mozgatórendszerének központi része, amely a fizikai aktivitások során nagy fokú terhelésnek van kitéve (Sendic, 2023). Szerepe elsősorban a támasz biztosítása az állás és a helyváltoztató mozgás során. A térdízület változatos helyzetekben meglévő stabilitását többek között erős szalagrendszere, mint passzív, valamint a térdízület körüli izmok, mint aktív stabilizátorok biztosítják. Ennek ellenére rendkívül sérülékeny ízület (Chhabra et al.,

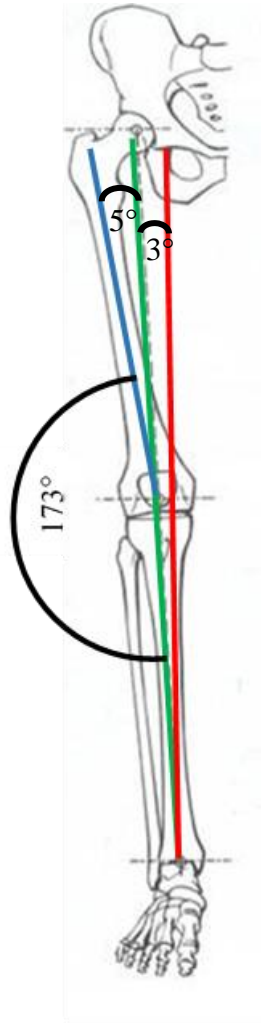
2001), mivel a comb és az egész felsőtest tömege vagy tehetetlensége hatalmas forgatónyomatékokot képezhet az ízületben, abnormális helyzetekbe hozva azt.



1. ábra: A térdízület felépítése

(Forrás: https://sp-ao.shortpixel.ai/client/to_auto,q_glossy,ret_img,w_399,h_399/https://koroknaimedical.hu/wp-content/uploads/2018/10/terd-koroknai.png)

A térdízület mozgásai a flexió-extenzió és a lábszár tengelye körüli rotáció. A combsont anatómiai tengelye és a sípcsont mechanikai tengelye egymással átlagosan 173 fokot zár be (2. ábra kék és zöld vonal). Az alsó végtag mechanikai tengelye 3 fokos valgus állásban helyezkedik el a test vertikális tengelyétől (2. ábra zöld és piros vonal), valamint a combsont anatómiai tengelyével 5-7 fokos szöveget zár be (2. ábra zöld és kék vonal). A test vertikális tengelye és a combsont anatómiai tengelye összesen kb. 9 fokos szöveget zárnak be egymással (Vail et al., 2016).



2. ábra: A térdízület tengelyei. Jelölések: a femur anatómiai tengelye (kék vonal), az alsó végtag mechanikai tengelye (zöld vonal) és a test vertikális tengelye (piros vonal)

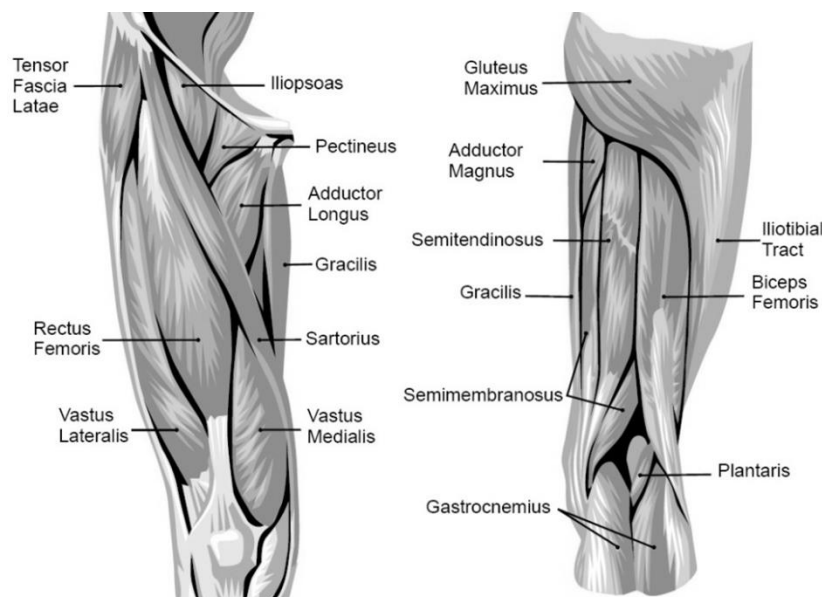
(Eredeti ábra hivatkozása:

https://www.naturalstrength.hu%2Fknee_valgus.html&psig=AOvVaw2fvZCmDuiXFqx)

A következőkben a térdízület szalagrendszerével foglalkozunk. A térdízületben található szalagok, mint passzív stabilizátorok töltenek be fontos szerepet. Amennyiben sérülnek (szakadás, részleges szakadás esetén) a térd különböző irányokba instabillá válik. Az oldalszalagok (külső- és belső oldalszalag) a térd két oldalán húzódnak a combcsontot összekötve a lábszárral, térdnyújtásnál megfeszülnek. Főként a térd oldalirányú elmozdulásait és hátrafelé történő túlfeszítését akadályozzák meg, de gátolják a sípcsont túlzott kifelé csavarodását is. Az elülső keresztszalag (ACL) három rostkötegből áll. Stabilizálja az ízületet forgó mozgások közben és megakadályozza a sípcsont combcsontoz viszonyított túlzott

előrecsúszását. A hátsó keresztszalag (PCL) két rostkötegből áll. Ugyancsak a térdízületet stabilizálja, de sokkal erősebb, mint az ACL, így viszonylag ritkábban sérül. A PCL legfőbb szerepe, hogy meggátolja, hogy a combcsont és a sípcsont egymáshoz képest túlzottan előre, vagy hátrafelé elmozduljon. Térd flexióban a hátsó, extenzióban pedig az elülső keresztszalag feszül meg és stabilizál (Alaia, 2021).

A térdízület mobilitásában és a stabilitásában az izmok szerepe is kiemelt. A térd mozgásában alapvetően a comb izmai vesznek részt. Némelyikük (m. adductor magnus, m. gracilis, m. sartorius, m. gluteus medius (GM)) elsősorban a comb mozgását végzi a csípőhöz viszonyítva, és csak másodlagosan mozgatja a térdet. Egyes izmoknak (m. quadriceps femoris, m. semitendinosus, m. semimembranosus, m. biceps femoris) pedig kifejezetten a térd mozgásában van elsődleges szerepe (3. ábra). A lábszár izmaiból m. triceps suare, m. popliteus vesznek részt a térdízület mozgásában (Andriacchi et al., 1983).



3. ábra: A comb izmai

(Forrás: <https://lifeafterjob.com/img//images/anatomie-lexikon/schneidermuskel.jpg>)

A térdízület stabilitását mind a belső, mind a külső oldaláról az ízületi szalagokon és ízületi tokon kívül bizonyos izomcsoportok direkt és indirekt módon biztosítják. Külső oldali direkt stabilizátorok: m. biceps femoris, m. popliteus. Belső oldali direkt stabilizátorok: m. gracilis, m. sartorius, m. semimembranosus, m. semitendinosus. Indirekt stabilizátor: GM. A függőleges felugrások során a térdízület extenziót vagy flexiót-extenziót végez, attól függően,

hogy melyik típusú felugrás tesztet alkalmazunk. SJ típusú ugrásoknál extenziót, CMJ típusnál pedig flexiót-extenziót. Extenzorok: m. quadriceps femoris, m. tensor fasciae latae, amelyek az elsődleges mozgatók az extenzióban. Szinergisták: m. vastus medialis, m. vastus intermedius, m. vastus lateralis, amelyek részt vesznek a mozgásban, segítik az extenziót. Flexorok: m. semitendinosus, m. semimembranosus, m. biceps femoris, amelyek az elsődleges mozgatók a térdflexióban. Szinergisták: m. gracilis, m. sartorius. ACL szinergistái: térdflexorok (semitendinosus, semimembranosus, and biceps femoris), m. soleus, GM. ACL sérülés kockázatának csökkentésére ajánlott ezen izomcsoportok funkcionális edzése (Maniar et al., 2022; Solomonow et al., 1987). Bár a GM nem a térdízületet áthidaló izom, mégis indirekt stabilizátorként fontos szerepet tölt be, melynek kifejtésével a továbbiakban foglalkozunk.

2.3. Az ízületi stabilizáció fogalma, kvantitatív mutatói és mérési módszerei

Az ízületi stabilizáció, az ízület olyan állapota, amely az ízületre ható erők kiegyenlítődése következtében továbbra is megfelelő helyzetben marad vagy mielőbb visszatér szabályos pozíciójába (Thompson, 2019). Passzív ízületi stabilizátoroknak a szalagokat, az ízületi tokot, a porcot és a csontokat tekintjük. Aktív ízületi stabilizátorként az ízületet körülvevő izmok feladata biztosítani az ízületi stabilitást. Ahhoz, hogy az adott ízületet a passzív és aktív stabilizátorok a szükséges mértékben rögzítsék, a stabilizátorok közötti szinergiára van szükség. Az ízületi stabilizáció működései akaratlagos és reflexszerű mechanizmusok. Az akaratlagos cselekvés az egyén akaratának irányítása alatt áll, míg a reflexszerű cselekvés – nyújtási reflex – spontán, önkéntelen bekövetkező védekezési mechanizmus, mely megelőzi az inak és izmok húzódását, esetleges szakadását, vagy az ízület egyéb passzív elemeinek károsodását. A nyújtási reflex automatikusan szabályozza az izom összehúzó mértékét, amikor az izomorsót inger éri. Így védi azt az erőteljes húzódástól vagy a fiziológiai határon túli megnyúlástól (Reschechtko & Pruszynski, 2020). Az előbbit az agy, míg az utóbbit a gerincvelő irányítja. A reflexszerű ízületstabilizáló mechanizmus gyorsabb, mint az akaratlagos, ami főként a reakcióhoz szükséges idegi pálya relatív bonyolultságának köszönhető.

Az ízületi stabilitás kvantitatív markerei a következők:

- Az ízületet áthidaló izmok maximális erő kifejtő képessége, amelyet maximális számú motoros egység egyidejű aktiválódása révén tud kifejteni. Megmutatja az adott izom legnagyobb kontraktilitását (Leonidas, 2015).

- Az ízületet áthidaló agonista és antagonisták izmok maximális erő kifejtő képességének aránya, melyet izomegyensúly-hiány megállapítására használnak az ízület stabilitásának monitorozásában. Például a térdhajlító és térdfesztető izmok erő kifejtő képességének arányát fontos adatnak tekintjük a térdízület stabilitásának ellenőrzésére, ezek optimális értékét gyakran vizsgálják kutatásokban (Fritsch et al., 2020; Ruas et al., 2019).
- Az ízületet áthidaló izmok aktivitása a mozgás vagy statikai helyzet során. Hiába van nagy ereje az ide tartozó izomcsoportoknak, azt megfelelően aktiválni is kell. Amennyiben elmarad, vagy késik az izmok megfelelő aktiválása (elsősorban bonyolult sportmozgásoknál), az ízület stabilizálása nem lesz megfelelő (Toumi et al., 2013).
- Az ízületet áthidaló izmok ko-aktivációja, amely lehetővé teszi az ízület stabilabbá válását azáltal, hogy egyszerre több izom aktiválódik. Az agonista izom megfeszítésével egy időben az ínorsókban – az ún. Golgi készülékekben – keletkező ingerület a gerincvelő felé jut és aktiválja az antagonisták izom motoros egységeit. Ezzel egy időben megakadályozza az agonista izom további feszülését (Golgi-reflex). Például az antagonisták izmoknak általában gyakran van valamilyen mértékű aktivitása egy akaratlagos izomkontrakció alatt. Az, hogy ennek az aktivitása mekkora, az nagymértékben függ az agonista erő kifejtés mértékétől (Nemec et al., 2016).
- Nem az ízületet áthidaló, de stabilizációt indirekt módon elősegítő izmok maximális erő kifejtő képessége. Például ide sorolható a GM, amely nagy szerepet tölt be a medence és a térd stabilitásának fenntartásában (Macadam et al., 2015).
- Nem az ízületet áthidaló, de stabilizációt indirekt elősegítő izmok aktivitása mozgás vagy statikai helyzet során.

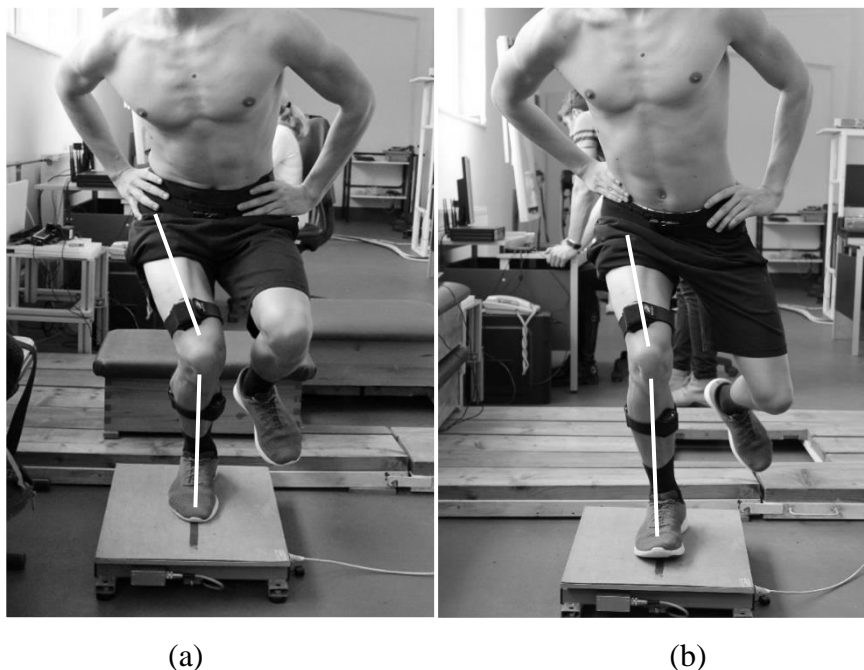
Számos tanulmányban vizsgálják az ízület stabilitásának mechanizmusát a fenti markerek mérésével. A vizsgálatok során alkalmazott módszerek közé tartozik a dinamometria, az elektromyográfia (EMG) és/vagy a szenzorokkal történő mozgáskövetés (Ghezelbash et al., 2022; Singh et al., 2020; Wang et al., 2019).

A dinamométerek az adott ízülethez tartozó izmok maximális vagy akár sebesség-specifikus erő kifejtését, pontosabban az ízületben létrehozott forgatónyomaték meghatározását teszik lehetővé. Erő kifejtés alatt EMG-vel lehetőségünk van az izom elektromos aktivitásának mérésére. Az EMG vizsgálatok nagy jelentősége igazán abban rejlik, hogy az izolált egy ízületes dinamometriai tesztekkel mért maximális EMG aktivitáshoz képest kifejezzük az izom

aktivitását olyan helyzetekben, amelyek akár többízületes bonyolultabb mozgások. Így lehetőségünk van kifejezni egy bonyolult mozgás során egy adott izom aktivitását a maximálisához képest (normalizált EMG). A mozgások vagy statikus gyakorlatok során mozgáselemző rendszerrel vagy mozgáskövető szenzorokkal képesek vagyunk az egyes testszegmentumok elmozdulásának mértékét vagy elmozdulási sebességét/gyorsulását meghatározni. Ahhoz, hogy pontos információkhoz jussunk egy adott ízület stabilizációs mechanizmusával kapcsolatban, a fenti módszerekben alkalmazott eszközöket szinkronizálni kell.

2.4.A dinamikus térd valgus kialakulása

A dinamikus térd valgus (DTV) az alsó végtag helytelen mozgásmintázata, amely a különböző funkcionális tesztek során megfigyelt állapot (4. ábra). Ilyenkor a térd mediális irányba, befelé mozdul el. A DTV magas rizikófaktornak tekinthető a térd sérülések kialakulása szempontjából (Hewett et al., 2006; Holden et al., 2016), ezért nagyon fontos, hogy megtaláljuk melyek a helytelen mozgás háttérben álló okok.



4. ábra: DTV helyzet (a). Fiziológias térd tartás (b).

A DTV kialakulásában több tényező is közrejátszhat, melyek egyes esetekben külön-külön, de néha akár egyszerre is jelentkezhetnek. Az egyik legjellemzőbb az izomgyengeségből adódó valgus helyzet. Ilyen lehet például, amikor a csípőízületi abduktor izmok (elsősorban a GM) ereje nem megfelelő, ilyenkor a medence addukciós helyzetbe billen és a térd befelé dől (Ueno et al., 2020). A másik leggyakoribb a vastus medialis izom gyengesége, amely szintén valgus helyzetet okoz (Palmieri-Smith et al., 2008). A térdet ugyancsak befelé dönti a pronáló lábfej, az X-láb (genu valgum), az ACL vagy az oldalszalagok lazasága, esetlegesen a hiánya (Larwa et al., 2021; Uhlár et al., 2019).

A fentiekben felsorolt DTV kialakulásának lehetséges okai közül szeretnénk kiemelni és részletesen ismertetni a GM-t, amely lapos, legyező alakú izom. Szélesen ered a csípőlapát külső felszínén, és rostjai egy tapadási pontba futnak össze a combcsont nagy tomporán. Az izmot a m.gluteus maximus részben fedi.

A GM működése nagyon sokrétű. Járáskor kiemelkedően nagy szerepet kap, ugyanis a támaszláb oldalán erősen összehúzódott állapotban lévő izom nem engedi meg a medence lengő láb oldalára történő billenését. Ezen mechanizmus biztosítja a törzs és a mindenkori támaszláb egységes szilárd szerkezetének a meglétét és állandóságát. A természetes járást kialakító tulajdonságán kívül fő működése a csípőízület abdukálása, valamint hátsó fele a combcsont kifelé, elülső fele pedig befelé rotálására is képes. A GM (5. ábra) összefüggésbe hozható a térd valgusba dőlésével mindamelllett, hogy a medenceöv stabilizálásában is részt vesz (Kim, 2012).



5. ábra: *Gluteus medius*

(Forrás:<https://rad.washington.edu/wp-content/uploads/2015/11/gluteus-medius.jpg>)

2.5. A DTV diagnosztizálása és következményei

A térd valgusba billenését gyakran vizsgálják egylábos felugrás- és guggolástartással (Gabriel, 2021; Richardson et al., 2020). (Gabriel, 2021; Richardson et al., 2020). Ezekben a tesztekben a gyógytornászok általában vizuális alapon diagnosztizálják a DTV-t, de a kutatók az eredmény pontos meghatározásához digitális kamerákat vagy 3D mozgáskövető rendszereket használnak, amelyek képesek pontosan rögzíteni az egyes testszegmentumok elmozdulásait a tér minden irányába (Mitternacht et al., 2022; Wilczyński et al., 2020).

Azoknál a személyeknél, akiknél fokozottabb DTV mérhető, nagyobb az ACL sérülés rizikófaktora talajra érkezéskor (Larwa et al., 2021). Ezenkívül a megnövekedett DTV nagyobb terhelést ró az alsó végtag ízületeire, ami a szakirodalmak szerint összefüggésbe hozható különböző térdízületi fájdalmakkal, mint például patellofemorális fájdalom, oszteoarthritis esetleg iliotibiális szindróma (Felson et al., 2013; Yang et al., 2022). Ezen kívül gyakori DTV erőbehatás következményeként a medialis oldalszalag sérülése, ami sok esetben a medialis meniscus károsodásával is jár (Schilaty et al., 2019).

A DTV-t többnyire a csípő- és térdizmok erejének és neuromuszkuláris kontrolljának hiánya okozza (Rinaldi et al., 2022). A sportolók számára a jövőbeli térd sérülések megelőzése érdekében különösen hasznosak lehetnek azok a célzott edzésprogramok, amelyek a csípőízületi abduktorok aktivizálására, a térdízület stabilitására irányulnak.

2.6. Sportmozgások és térd sérülések kapcsolata

Sportsérülések vizsgálatával és azok lehetséges prevenciójával igen sok tanulmány foglalkozik hazai és nemzetközi szinten egyaránt. Az egyik vizsgálatban azt az eredményt kapták, hogy az orvosi ellátásra szoruló sérülések 16,6%-a sporttevékenység közben következik be (Bahr et al., 2004). A sportágakat megvizsgálva azonban nagy különbségeket kapunk. Magas sérülési kockázatú sportág például a rögbi vagy a birkózás, míg a legalacsonyabb kockázatot a röplabda sportág játékosai szenvedik el (Arthur-Banning et al., 2018). A leggyakrabban, az esetek több mint 50%-ában az alsó végtag sérül (Brooks & Fuller, 2006). A sportsérülések 62%-a edzés alatt történik, és mindössze 38%-a a versenyek idején. Ugyanebben a tanulmányban megállapították, hogy az összes sportsérülést tekintve, 27%-ban a térdízület sérül (Aksoy et al., 2021). Az összes térd sérülés 45%-át az ACL szakadás teszi ki (Csintalan et al., 2008),

melyeknek 70%-a nem-kontakt helyzetben következik be (Griffin et al., 2000). Az ACL sérülés utáni rehabilitáció igen hosszú folyamat, sok esetben megakadályozza a sérült sportoló teljes visszatérését. Különösen a női kézilabdázók és labdarúgók hajlamosak ACL sérülésre, a szakirodalmak szerint a női sportolókat 4-6-szor gyakrabban érinti ez a fajta sérülés, mint az azonos poszton játszó férfi sportolókat (Bahr et al., 2009).

Továbbá meg kell említenünk, hogy a nem-kontakt sérülések magasabb arányban fordulnak elő (57%), mint a kontakt sérülések (37%) (Junge et al., 2006). A nem-kontakt sérülések háttérben különböző kockázati tényezők lehetnek. Ezeket a kockázati tényezőket két kategóriába sorolhatjuk. Extrinsic (külső) tényezők: környezeti, időjárási körülmények, sportfelület, sportolási szint. Intrinsic (belső) tényezők: egyénben található genetikai, anatómiai, fiziológiai, pszichológiai, neuromuszkuláris tényezők (Dauty et al., 2022). Bizonyos belső faktorok módosíthatók (például: testtömeg, izomerő, izomegyensúly), de vannak olyan tényezők, amelyeken nem tudunk változtatni (például: ízületi lazaság, térdízület anatómiai szerkezete, anatómiai térd valgus, nem, vagy életkor). A térsérülések háttérben ezen kívül még túlterhelés is állhat, amely létrejöhet izomgyengeség, különböző módszertani edzés hibák, helytelen terhelés vagy végtagi aszimmetria miatt. A nem megfelelően működő izomzat, a combhajlító-feszítő arány eltolódása, vagy esetleg izomfáradás is kiváltó oka lehet a térdízület sérülésének. Az elsődleges feladat a sportsérülések megelőzése, mert a sérülésekből való felépülés nem biztos, hogy sikeres, előfordulhatnak maradandó rendellenességek.

2.7. A térdízület izmainak erősítése a térsérülések megelőzéséért

A sérülések bekövetkezése anyagi terhet jelent sportolónak és sportszervezetnek egyaránt. A sportsérülések ellátása, a kezelések, a rehabilitációk költsége az egészséggazdaságot is jelentősen megterheli. Ezért a sérülések megelőzésének nagy hordereje van.

Ahogy már fentebb említettük, a térdízületi stabilitás fenntartásában nagy jelentősége van az aktív és passzív komponenseknek. Az aktív összetevők közül az izmok szerepe kiemelt, ezért az ACL térsérülések elkerülésére számos kutató dolgozott ki különböző prevenció és rehabilitációs edzésprogramot és edzés módszert (például: neuromuszkuláris kontroll, izolált izomerősítő edzés, törzsstabilizációs edzés, plyometrikus edzés, propioceptív- és egyensúly tréning stb.). Ezen módszerek rendszeres alkalmazásával csökkenthető a térd és egyéb alsó végtagi sérülések előfordulása a különböző sportokban.

Az egyik ilyen prevenciós edzés módszer, az instabil eszközök használatával végzett tréning. A térdízület sokkal ellenállóbb lesz a sérülésekkel szemben, ha a gyakorlatokat instabil felületen (például: Bosu, fitball, dynair párna, Togu, core board stb) végzik. Az ilyen instabil jellegű mozgás erősíti a térdet mozgató izomcsoportokat, valamint rendkívül hatásosan fejleszti a boka-, a térd- és a csípő körüli izmok gyors reakciókészségét, ez által fokozva a térdízület stabilitását. Az ízületek stabilitását biztosító szalagok és izmok az instabil alátámasztási felületen végzett edzésnél fokozottabban aktiválódnak, melyet korábban már számos tanulmányban lejegyeztek (Shultz et al., 2015). Ha az instabil közegben megerősödnek az ízületeket körülvevő izmok, minimálisra csökkenthető az alsó végtagot érő sérülések száma (Hrysomallis, 2007). A hasonlóan instabil felületen végzett egyensúly tréning hasznos az ACL sérülés kockázatának csökkentésében, mivel csökkenti az alsó végtag DTV szögét és növeli a térdhajlítási szöveget unilaterális és bilaterális leérkezéskor (Myer et al., 2006). Lloyd áttekintő elemzésében a stabilizációs- és egyensúly tréning csökkenti az akaratlagos aktiválási időt és a csúcsonomaték eléréséhez szükséges időt, ami csökkentheti az izmok reakcióidejét, így a labdarúgók hatékonyabban reagálnak a gyors és váratlan sportmanőverek végrehajtására. A neuromuszkuláris mechanizmusokat hangsúlyozó edzésprogramok fokozhatják az elülső keresztszalag védelmét és csökkenthetik az ACL sérülések előfordulását (Lloyd, 2001).

Az alábbiakban ismertetünk még néhány olyan edzés módszert és azok hatásait, melyet a nemzetközi szakirodalomban vizsgáltak. Az első ilyen áttekintett vizsgálatban plyometrikus edzés hatását vizsgálták. Ez egy széles körben elterjedt edzés módszer, amely a reaktív erő fejlesztésére irányul. Megállapították, hogy a hat hétig, heti három alkalommal végzett 20 perces plyometrikus edzés javította a dinamikus egyensúlyt és a térd propriocepcióját női tollaslabdázóknál (Alikhani et al., 2019), valamint redukálja az alsó végtag DTV mértékét leérkezéskor, ami jelentősen csökkentheti a nem-kontakt ACL sérülések számát (Myer et al., 2006; Pfile et al., 2013). Brown és mtsai megállapították, hogy az izolált plyometrikus edzés alkalmazása képes módosításokat előidézni a térd szagittális és a csípő frontális síkjában – segít növelni a térdhajlítási szöveget és csökkenteni a DTV szöveget a leérkezéskor – ami arra utal, hogy ez alapvető edzéskomponens lehet a vizsgált sportolók ACL sérülés kockázatának csökkentésében. Az izolált izomerősítő gyakorlatok lényege az, hogy az ilyen edzést végző sportoló csak egy izomcsoportot aktivál a végrehajtásban, ezzel egyéni aktivációra hangolja az adott izomcsoportot. Kutatásuk szerint a leghatékonyabbnak a két vagy több edzéskomponensből álló integrált edzésprogramot találták az ACL sérülés megelőzésére. Ezért a jövőbeni térd sérülés megelőzése érdekében javasolják a plyometrikus gyakorlatokat más

edzésmódszerekkel kombinálni. Ez hatásos lehet az unilaterális és bilaterális leérkezés biomechanikájának javítása és ACL sérülési kockázatának csökkentése érdekében (Brown et al., 2014).

A core (törzsstabilizációs) tréning napjainkban szintén ismert és gyakran alkalmazott edzésmódszer, melynek lényege a gerincet és medencét stabilizáló mély törzsizmok edzése. Tíz hetes törzsstabilizációs tréning fiatal férfi vizsgálati személyeknél azt eredményezte, hogy megváltozott a törzs és az alsó végtag motoros kontrollja és ízületi kinematikája a DTV mértékének csökkenésével. Így a törzsizmok edzését az ACL sérülések megelőzésére irányuló edzésprogramnak tekinthetjük (Jeong et al., 2021; Pfile et al., 2013).

A következő ismertett kutatás összegyűjti azokat a prevenciós edzésprogramokat, amelyek hatással vannak az ACL sérülésének megelőzésére fiatal női kosárlabdázók körében. A tanulmány eredményei szerint a leggyakrabban alkalmazott prevenciós edzésprogramok a neuromuszkuláris programok, amelyek többféle gyakorlat kombinációját tartalmazzák: plyometrikus-, törzsizom erősítő-, alsó végtagok izmait erősítő-, ügyességi-, hajlékonysági- és egyensúlygyakorlatok. A program alkalmazása akkor a leghatásosabb, ha a neuromuszkuláris edzések gyakorisága legalább heti három alkalom, hat vagy több héten keresztül. Az összegyűjtött tanulmányok elemzésével arra a következtetésre jutottak, hogy az alkalmazott edzésprogramok pozitív hatással vannak a propiocepció, az egyensúly, a hajlékonyság, és a térdízület ACL sérülésének megelőzésére a női kosárlabdázók körében, ami a sportteljesítményének javulásához is vezet (Hadzovic et al., 2020). Ezen kívül a neuromuszkuláris edzés hatással van a DTV szögének csökkentésére a leérkezéskor (Brown et al., 2014). Egy másik kutatásban a propioceptív (más néven neuromuszkuláris) tréning hatását vizsgálták női kézilabdázók körében, eredményül azt kapták, hogy ez a fajta edzés javítja az ízületi helyzetérzékelést, ezáltal jelentősen csökkenti a térd-sérülési arányt (Pánics et al., 2008).

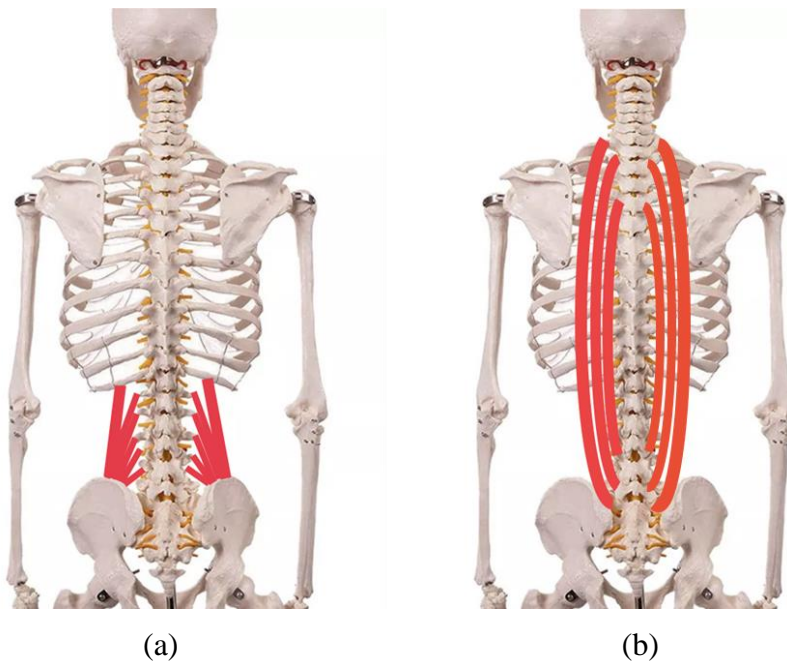
A továbbiakban ismertett vizsgálatban komplex edzésmódszert alkalmaztak. Krutsch és mtsai egyszerre több edzésmódszer hatását vizsgálták, melyre egy speciális prevenciós edzésprogramot dolgoztak ki. A program ötféle modulból állt (mobilizáció, törzsstabilitás, lábtengely-stabilitás, felugró- és leérkező gyakorlatok és ügyesség), melyet profi labdarúgókon vizsgáltak. Az edzésgyakorlatok időtartama 12 perc volt edzésenként, amit az edzők a teljes szezonban, hetente legalább két alkalommal alkalmaztak. Ezen megelőző edzésmodulok jelentősen csökkentik a súlyos térd-sérülések számát az élvonalbeli labdarúgásban (Krutsch et al., 2020).

A fentiekben bemutatott eredmények és különböző prevenciók módszerei alátámasztják a térdízület körüli izmok erősítésének kiemelt szerepét a térd sérülések megelőzésében.

2.8. Az ágyéki gerinc és a medence frontális síkú stabilizációja

Az unilaterális támaszhelyzetekkel járó sportmozgások során a kutatások jelentős része a térdízület stabilizációjának problémájával foglalkozik, holott az unilaterális mozgások a térdízület feletti ízületekben is jelentős kinematikai abnormalitásokat okozhatnak. Míg a bilaterális felugrások esetében a test kétoldali szimmetriája megtartott (kivéve olyan esetekben, ahol a sportolás extrém aszimmetrikus terhelést jelent), az unilaterális felugrások a frontális síkban aszimmetrikus mozgásvégrehajtást eredményeznek. Ezen típusú felugrásoknál az alátámasztás két végtagról egy végtagra módosul, így a támaszláb csípőízületében, frontális síkban forgatónyomaték keletkezik, mivel a medence alátámasztás nélküli oldalára nehézségi erő hat. A medencebillenés bekövetkezését a quadratus lumborum (QL) (6. ábra) és a ferde hasizom ellensúlyozza (Kim et al., 2014; Takaki et al., 2016).

A QL téglalap alakú izom, amelynek eredése a crista iliaca hátsó részén van, tapadása 12. borda alsó szélén, valamint egyes rostjai a gerinc lumbális szakaszának 1–4. ágyékcsigolyák harántnyúlványán is rögzülnek. A hasfal hátsó falának alkotásában is részt vesz. Kétoldali működésben törzs-extenzió, egyoldali működésben saját oldal felé laterál flexió. Bordákat lefelé húzza, így segít a kilégzésben. A QL fontos szerepet tölt be a medence oldal irányú stabilizálásában. Az unilaterális felugrásoknál a medence billenése együtt jár a gerinc lumbális szakaszának laterál flexiójával, melyet az erector spinae (ES) ágyéki szakasza stabilizálhat (6. ábra). Ez az izomcsoport három kötegből áll, melyek a gerinc mellett futnak végig a keresztcsonttól egészen a koponya alapig.



6. ábra: *Quadratus lumborum* (a); *Erector spinae* (b).

(Eredeti ábra hivatkozása:

https://extracar.hu/img/9989/HOP1001167_altpic_3/HOP1001167.webp?time=1617262078)

2.9.A probléma megközelítése

A sportolók gyakran végeznek unilaterális függőleges ugrásokat (unilaterális CMJ) és leérkezéseket, valamint ezeket a felugrásokat széles körben használják a plyometrikus edzések részeként is (Kunugi et al., 2020; Sinsurin et al., 2020). A függőleges ugrások biomechanikai jellemzése magában foglalja a térd- és csípőízületi terhelést, amely meghaladhatja a testtömeg 3,5-5,5-szeresét, amikor mindkét láb érintkezik a talajjal (Cleather et al., 2013). Ezzel szemben a hármastugrásnál az ízületi terhelés elérheti a testsúly 15,2-szeresét (Perttunen et al., 2000). Ezenkívül röplabdázóknál a térdízületi és a vertikális talajreakció erők elérték a $6-8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$ értéket a plyometrikus edzések során (Jensen & Ebben, 2007; Tai et al., 2018). A megnövekedett terhelés és a csökkent stabilitás miatt a térdízületre ható mechanikai igénybevétel megnő az ilyen mozgásformák gyakorlása során, ami fokozza a térd sérülések bekövetkezésének kockázatait.

A térd flexor izmok ko-aktiválása, valamint a flexor és a extenzor izmok erejének aránya jól ismert térdízületi stabilitási mutatók, melyek a térdízület védelmének fontos tényezői (Lee et al., 2018). Fontos limitációt jelent azonban, hogy a kutatók főként a sagittális sík dinamikájára helyezték a hangsúlyt, miközben a DTV szabályozása (amely a térd frontális síkú kinematikai jelensége), szintén összefüggést mutatott a térdszalag sérülésekkel (Räisänen et al., 2018).

Az unilaterális CMJ egy általánosan használt felugrás teszt a frontális síkban bekövetkezett biomechanikai változások vizsgálatára egyoldali terhelés során, valamint az alsó végtagi sérülések fokozott kockázatának kitett sportolók diagnosztizálására (Impellizzeri et al., 2007). A nagy szöggyorsulás által generált térd- és csípőízületi forgatónyomatékok az alsó végtagi ízületeket és a medencét sérülékennyé teszik. A két lábon álló helyzetből egy lábon álló helyzetbe való helyválttatás során a tömegközéppontnak a frontális síkban történő eltolódása aszimmetrikus és kiegyensúlyozatlan testpozíciót eredményez (Zazulak et al., 2005). A statikus vagy dinamikus egyensúly fenntartásáért felelős súlypont-eltolódási mechanizmusok mellett a medence kétoldali alátámasztásának hiánya miatt a talajjal kontaktusban lévő láb csípőízületében olyan forgatónyomaték keletkezik, ami a medence billenését okozza (Phillips et al., 2008). Ennek ellensúlyozására az ágyéki gerinc ízületei elfordulnak a sagittális tengely körül. A fent említett szegmentális elmozdulások miatt az unilaterális CMJ-ben a medence és az ágyéki gerinc stabilizáló izmai jelentős szerepet játszhatnak a túlzott frontális síkú ízületi szögváltozás mérséklésében, amelyet a térd-sérülések fokozott kockázatával hoznak összefüggésbe (Willson et al., 2005).

A GM diszfunkciója is hozzájárulhat a medence billenéséhez még alacsony intenzitású járás alkalmával is (Czasche et al., 2018). Az ES izom aktivációja ilyenkor fokozódhat, hogy az axiális síkban létrejövő rotációk korlátozásával stabilizálni tudja a gerincet. A QL a törzs extenzora és laterális flexora (Phillips et al., 2008), mely a csípőcsúcsot a mellkasfal felé emeli, amikor a terhelés a kontralaterális láb felé tolódik (Permentier, 2015). Következésképpen feltételezhető, hogy a QL és a GM aktivációja hozzájárul a medence billenésének mértékéhez unilaterális CMJ során, és hogy a medence billenése viszont hatással van az lumbális ES aktivitására. Annak ellenére, hogy a GM egy csípőízületi abduktor, indirekt szerepe van a térdízület frontális síkbeli stabilizálásában (Hietamo et al., 2020; Hollman et al., 2009; Kim et al., 2016; Thompson, 2020). A GM nem megfelelő aktivációja túlzott mértékű valgust eredményezhet a térdízületben az unilaterális guggolás során, azonban nincs meggyőző

bizonyíték arra, hogy a csípő maximális izometriás abdukciós ereje és/vagy a GM aktivitása szabályozza a DTV mértékét unilaterális CMJ alatt (Claiborne et al., 2006).

A fent említett stabilizációs szerepek mellett a térd extenzor és flexor izmok ereje bizonyítottan hozzájárul az előzetes súlypontosüllyesztésből végrehajtott ugrás (CMJ) magasságához (Atabek et al., 2009), amely a sportteljesítmény egyik fontos mérőszáma, és amelyet széles körben tanulmányoztak (Baena-Raya et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2021; Rodríguez-Rosell et al., 2017). Ezenkívül mind a térd extenzor izmok, mind a térd flexor izmok aktivitása nagyobb mértékűnek bizonyult, amikor a leérkezést unilaterálisan hajtották végre, szemben a bilaterális leérkezéssel (Pappas et al., 2007). Továbbá, a nagymértékű DTV csökkentheti a CMJ teljesítményt a biomechanikailag kedvezőtlen erő kifejtés következményeként, ezért fontos megvizsgálni a csípőízületi abduktor erő hozzájárulását a CMJ teljesítményhez. Ez utóbbi feltételezést korábbi bizonyítékokból származtatjuk, amelyek azt mutatják, hogy a GM diszfunkciója megváltoztatja a bokaízületi kinematikát, ami egy kompenzációs stratégia, a testhelyzet fenntartására az egy lábás előreugrás során (Gafner et al., 2018).

3. CÉLKITŰZÉSEK, HIPOTÉZISEK

A fentiekben bemutatott szakirodalom, illetve a szakirodalomban fellelhető limitációk és problémák ismeretében vizsgálatainkban célkitűzéseink:

1. Annak meghatározása, hogy az unilaterális CMJ típusú felugrás során a térdízület, a medence- és a lumbális gerincszakasz frontális síkú stabilizációjában milyen neuromechanikai mechanizmusok játszanak szerepet.
2. Annak meghatározása, hogy az egyes comb és medenceövi izmok maximális ereje mekkora mértékben befolyásolja az unilaterális CMJ típusú felugrás eredményességét.

Mindezek alapján a következő hipotéziseket fogalmaztuk meg, melyeket két különálló vizsgálatban vizsgáltunk:

Az 1. vizsgálat hipotézisei:

1. A GM, ES és QL aktiváció, valamint a maximális akaratlagos csípőízületi abdukciós izometriás erő összefügg a medence billenésének mértékével unilaterális CMJ során.
2. A maximális akaratlagos csípőízületi abdukciós izometriás erő és az unilaterális CMJ alatt mért GM aktivitás összefügg a térdízületben bekövetkező DTV mértékével.
3. Az unilaterális CMJ alatt mért, de maximális izometriás erő kifejtés alatti EMG-hez normalizált EMG aktivitás mértéke különbözik a vizsgált izmokban.
4. A maximális akaratlagos csípőízületi abdukciós izometriás erő összefügg az unilaterális CMJ alatt mért propulziós impulzussal.

A 2. vizsgálat hipotézisei:

1. Unilaterális CMJ alatt mért propulziós impulzus összefügg a térdfesztítő és térdhajlító izmok maximális akaratlagos forgatónyomatékával, valamint a maximális akaratlagos csípőízületi abdukciós izometriás erővel.
2. A fentiekben vizsgált korrelációk mértéke statisztikailag különbözik.

A fenti neuromechanikai mechanizmusok feltárása jelentős ismereteket nyújthat az unilaterális felugrások során bekövetkező kinematikai abnormalitásokkal együtt járó, az alsó végtagot érintő sérülési rizikó megértésében. Egyes izmok stabilizációs szerepének mélyebb megismerése estén az egyes rizikók célzott edzésintervenciós programokkal minimalizálhatók.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. Első vizsgálat – medenceövi izmok frontális síkú térd- és medence-stabilizáló mechanizmusai unilaterális felugrásnál

4.1.1. Vizsgálati személyek

A kutatásunkra érkező személyek egy előzetes felhívás alapján jelentkezhetnek résztvevőnek. Közülük 25 fő egészséges, sportszakos férfi hallgatót vontunk be a vizsgálatba (életkor: $21,2 \pm 1,3$ év, testmagasság: $182,4 \pm 7,3$ cm, testtömeg: $76,5 \pm 10$ kg, edzéssel eltöltött évek száma: $9,7 \pm 2,6$ év). A vizsgálati személyek a tantervi gyakorlati kurzusok mellett átlagosan heti 2,9 alkalommal vettek részt saját sportági edzésen az alábbi sportágakban: atlétika, labdarúgás, kosárlabdázás, úszás, küzdősportok, triatlon, tánc. A vizsgálat idejében egyikük sem volt válogatott vagy élvonalbeli sportoló. Beválasztási kritérium volt, hogy a vizsgálati személyeknek legyen legalább egy évnyi pylometrikus edzéstapasztalata. A vizsgálatot egy rövid szóbeli ismertetéssel kezdtük, melyben közöltük kutatásunk fő célját, elmagyaráztuk a menetét. Ezután egy rövid deskriptív adatokat rögzítő és sportoló múltjával kapcsolatos információkat összegző kérdőív kitöltésére kértük fel a vizsgálati személyeket, akik írásos beleegyező nyilatkozatot tettek, hogy önként vesznek részt a kutatásunkban. Kizáró oknak számított bármiféle akut vagy krónikus gerinc, medenceövi vagy térd sérülés, fájdalom, vagy korábbi műtét. A kutatást a PTE Regionális Kutatásetikai Bizottsága jóváhagyta (ügyiratszám: 7961-PTE2019).

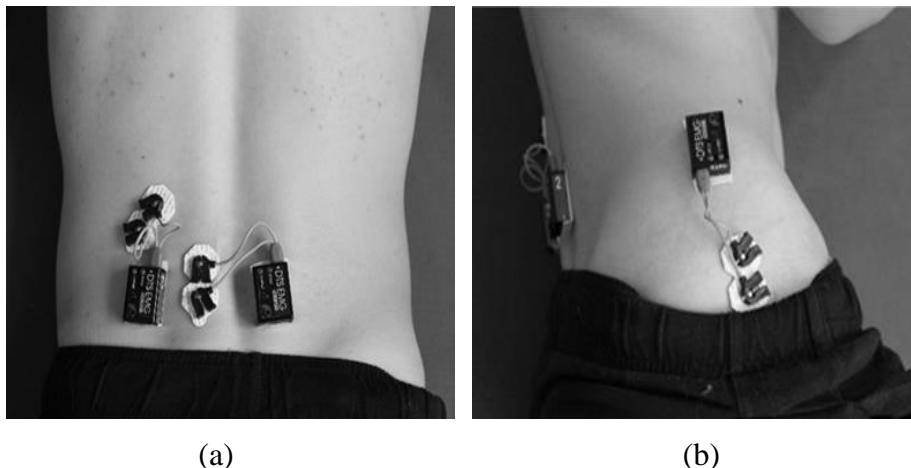
4.1.2. Vizsgálati beállítás

A vizsgálatban a vizsgálati személyeknek két alkalommal kellett megjelenniük a laboratóriumban. Az első alkalommal a tesztfeladatokat gyakorolták, a második alkalommal pedig végrehajtották, mely során a méréseket elvégeztük. A mérésekre való felkészülést a vizsgálati személyek egy standard öt perces, tetszőleges sebességgel végzett kerékpárergometriás bemelegítéssel kezdték. Ezt követően egy egyéni tempóban és mértékben végrehajtott nyújtó hatású gimnasztika következett, mellyel a vizsgálati személyek bemelegítették elsősorban a törzs és az alsó végtagok izmait. A bemelegítést követően

dynamométerrel felmértük a vizsgált izmok erő kifejtő képességét és EMG aktivitását maximális akaratlagos izometriás kontrakciókkal (MVC), melyet unilaterális felugrás tesztek követtek. A felugrás tesztek során a vizsgált izmok EMG aktivitása mellett a térdízület és a medence kinematikáját is vizsgáltuk mozgáskövető szenzorokkal, melyeket az EMG-vel szinkronizáltunk.

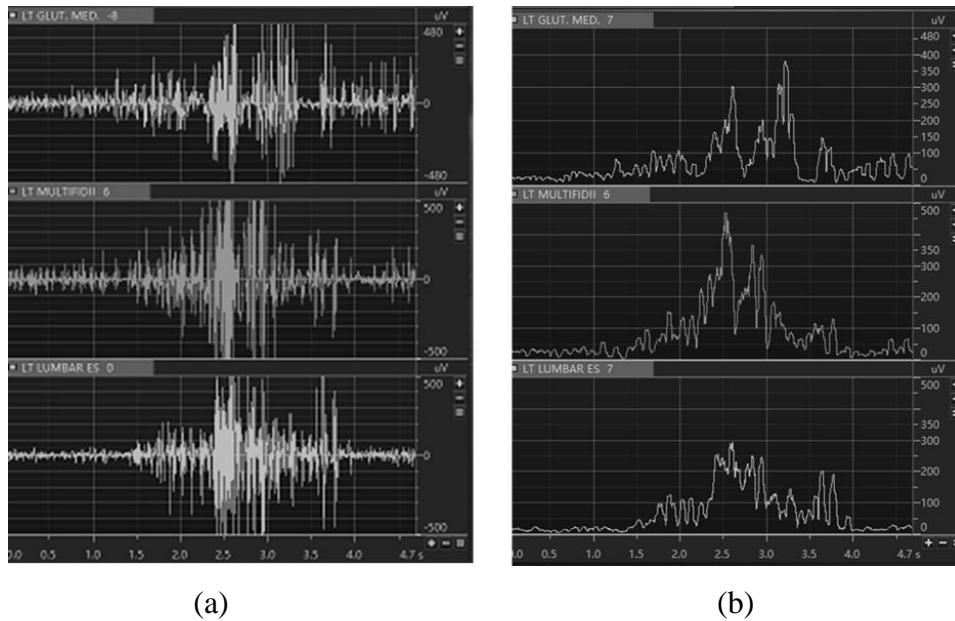
4.1.3. Elektromyográfia

Az elektródák felhelyezése előtt a vizsgált személyek izomzatán a szőrzetet leborotváltuk és alkohollal tisztítottuk. A vizsgálati személyek ugrólábbal ellenoldali ES és QL-re, valamint az ugróláb oldalára a GM-re bipoláris felületi Ag/AgCl elektródákat helyeztünk fel az EMG mérések elvégzéséhez (Noraxon, Scottsdale, USA Inc). A felhelyezett elektródákat a Surface ElectroMyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM, www.seniam.org) szerint pozícionáltuk (7. ábra), illetve a QL-nél az elektróda elhelyezéséhez egyéb szakirodalmat használtunk fel (Monteiro et al., 2017). Az elektródákhoz tartozó szenzorokat is a bőrfelületre rögzítettük és valamennyi MVC és felugrás teszt során mért elektromos jelet a szenzorok telemetrikusan közvetítették az erősítőhöz (Noraxon, Scottsdale, USA, mintavételi frekvencia: 2000 Hz).



7. ábra: Felületi elektródák és az azokhoz tartozó szenzorok elhelyezése az ES, a QL (a), valamint a GM-re (b).

A nyers EMG jeleket 20-500 Hz-es sávszűréssel szűrtük, majd RMS technikával, 50 ms-os simítási ablakkal dolgoztuk fel (8. ábra). Valamennyi izomnál az EMG aktivitás csúcsát vettük figyelembe az adatelemzésnél mind az MVC mind pedig a felugrás tesztknél.



8. ábra: Unilaterális felugrás teszt alatti nyers EMG (a) valamint RMS technikával, 50ms-os simítási ablakkal feldolgozott EMG (b).

4.1.4. MVC mérésére szolgáló tesztek

Az MVC tesztekkel meghatároztuk a vizsgált izmok maximális akaratlagos izometriás kontrakció alatti EMG aktivitását, amelyhez a felugrás tesztknél mért EMG értékeket normalizáltuk. Az MVC tesztek a SENIAM ajánlása szerint végeztük el (www.seniam.org). Az ES és QL maximális EMG aktivitásának meghatározására a vizsgálati személyek oldalfekvésben helyezkedtek el és maximális erővel törzs laterál flexiót hajtottak végre. Minden esetben az unilaterális felugrás teszteket végrehajtó lábbal (ugrólábbal) ellenoldali ES és QL EMG aktivitását rögzítettük. A teszt során a vizsgálati személyeknek a törzsüket kellett a talajról elemelniük frontális síkban, miközben két kutató a felső és az alsó testrészt a talajhoz rögzítette (9. ábra).



9. ábra: Frontális síkban végrehajtott törzs laterál flexió MVC az ES és QL maximális EMG aktivitásának meghatározásához. Megjegyzés: az unilaterális felugrás teszteket végrehajtó lábbal (ugrólábbal) ellenoldali ES és QL EMG aktivitását rögzítettük (pl. jobb lábas felugrás teszt esetén a laterál flexiót balra kellett elvégezni)

A második MVC teszt a csípőízületi abdukció volt, melynél a ugrólábnak megfelelő oldalon vizsgáltuk a GM maximális EMG aktivitását. A laterál felxió MVC teszthez hasonlóan a vizsgálati személyek itt is oldalfekvésben helyezkedtek el, de ebben az esetben a vizsgált lábukat kellett a talajtól maximális erővel távolítaniuk, ellentartás mellett (10. ábra). Ennél a tesztnél a csípőízületi abduktorok erejének csúcserőértékét is meghatároztuk kézzel tartott dynamométer (C.I.T. Technics, Haren, Hollandia) segítségével, melyet öt cm-rel a külső bokacsont fölé helyeztünk. Mindkét MVC teszt esetében két szubmaximális bemelegítő jellegű próbát követően két maximális erejű kísérletet hajtottak végre a vizsgálati személyek, két perc pihenővel az ismétlések között.



10. ábra: Csípőízületi abdukció MVC frontális síkban a GM maximális EMG aktivitásának, valamint a csípőízületi abduktorok erejének csúcsértékének meghatározásához. Megjegyzés: az unilaterális felugrás teszteket végrehajtó lábbal (ugrólábbal) azonos oldali GM EMG aktivitását rögzítettük (pl. jobb lábás felugrás teszt esetén a csípőízületi abdukciót jobb lábbal kellett elvégezni)

4.1.5. Unilaterális CMJ teszt

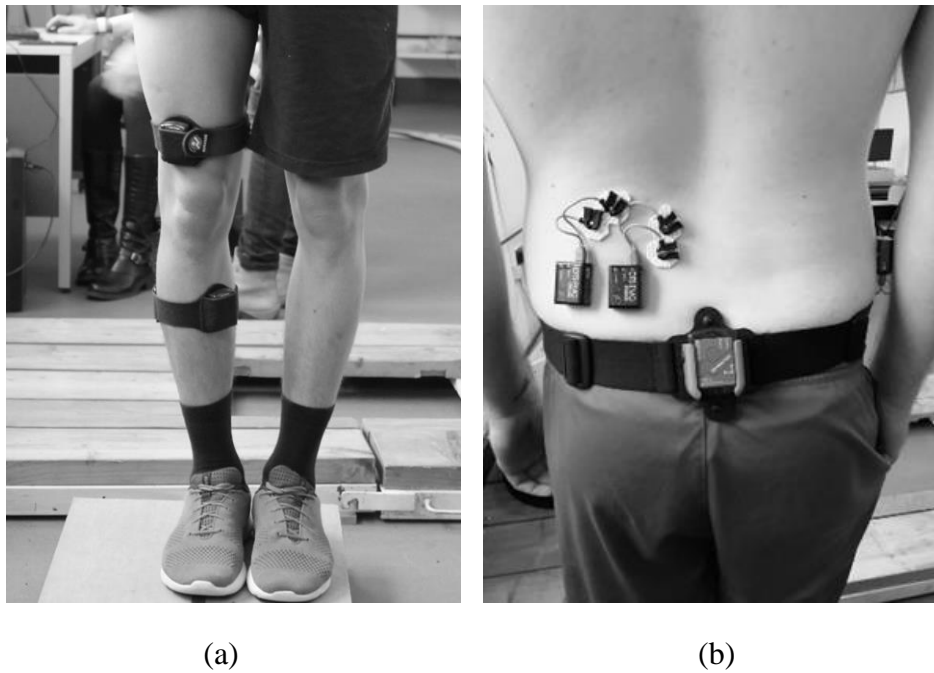
Az MVC teszteket követően a vizsgálati személyek erőplaton (Tenzi Mérlegtechnika Kft., Pilisvörösvár, Magyarország) elhelyezkedve unilaterális CMJ tesztet hajtottak végre. A vizsgálati személyek a domináns végtaggal az erőplaton állva hajtották végre a felugrást, míg a nem domináns végtagot térdben behajlítva tartották (11. ábra). A felugrást csípőretartással kellett elvégezni, és az egyetlen instrukció az volt, hogy a vizsgálati személyek a lehető legmagasabb felugrásra törekedjenek. Az ugrás stratégiájára vonatkozóan nem adtunk semmilyen utasítást. Két próbát és három maximális erejű ismétlést hajtottak végre, egy perc pihenővel az ismétlések között.



11. ábra: Az unilaterális CMJ teszt kiindulóhelyzete

4.1.6. Kinematikai elemzések

A CMJ tesztek során a csípő- és térdízület frontális síkú kinematikájának vizsgálatára 3D mozgáskövető szenzorokat (Noraxon, Scottsdale, USA) rögzítettünk tépőzáras pántok segítségével három testszegmensre: a keresztsontra, a combra és a lábszárra (12. ábra). Az érzékelők elhelyezésében és kalibrálásában követtük a gyártó ajánlásait (www.noraxon.com). A szenzorok a felugrások során a frontális síkban a vizsgált testszegmensek orientációs szögére vonatkozóan szolgáltatott adatokat az idő függvényében. Ezzel az eljárással számszerűsíteni tudtuk a medence billenésének és a DTV-nek a mértékét. A sagittális síkban a térdízületi szöghelyzet-adatokat két (a lábszárra és a combra helyezett) szenzor orientációs szögéből nyertük 100 Hz mintavételi frekvenciával az idő függvényében, szinkronizálva EMG méréssel (Dejnabadi et al., 2006).



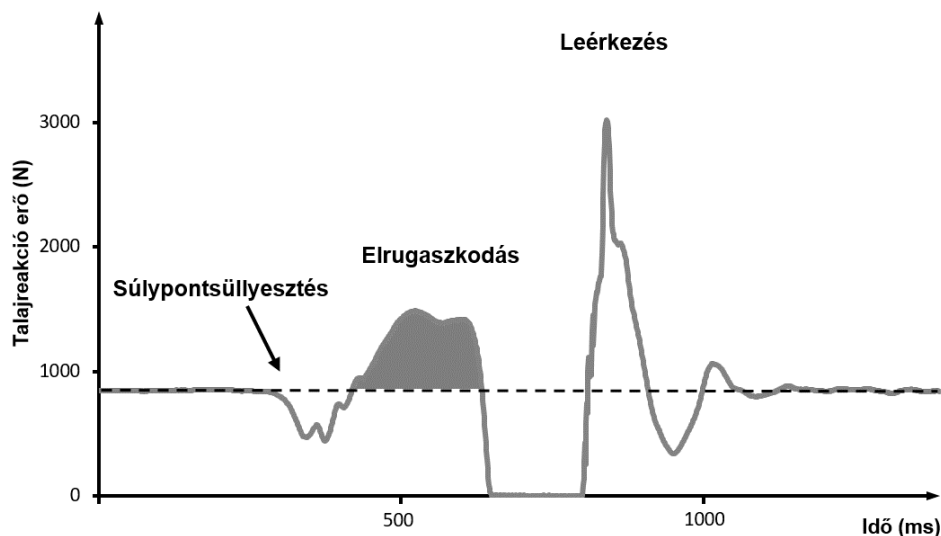
12. ábra: A 3D mozgáskövető szenzorok elhelyezése a combon és a lábszáron (a), valamint a keresztcsonton (b)

4.1.7. A felugrások dinamikai elemzése

A CMJ tesztek során az erőplató segítségével rögzítettük a talajreakció-erőt az idő függvényében (mintavételi frekvencia: 420 Hz) (13. ábra). Az excel fájlba exportált erő-idő függvényből offline meghatároztuk a felugrás alatti propulziós impulzust az alábbiak szerint:

$$\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$$

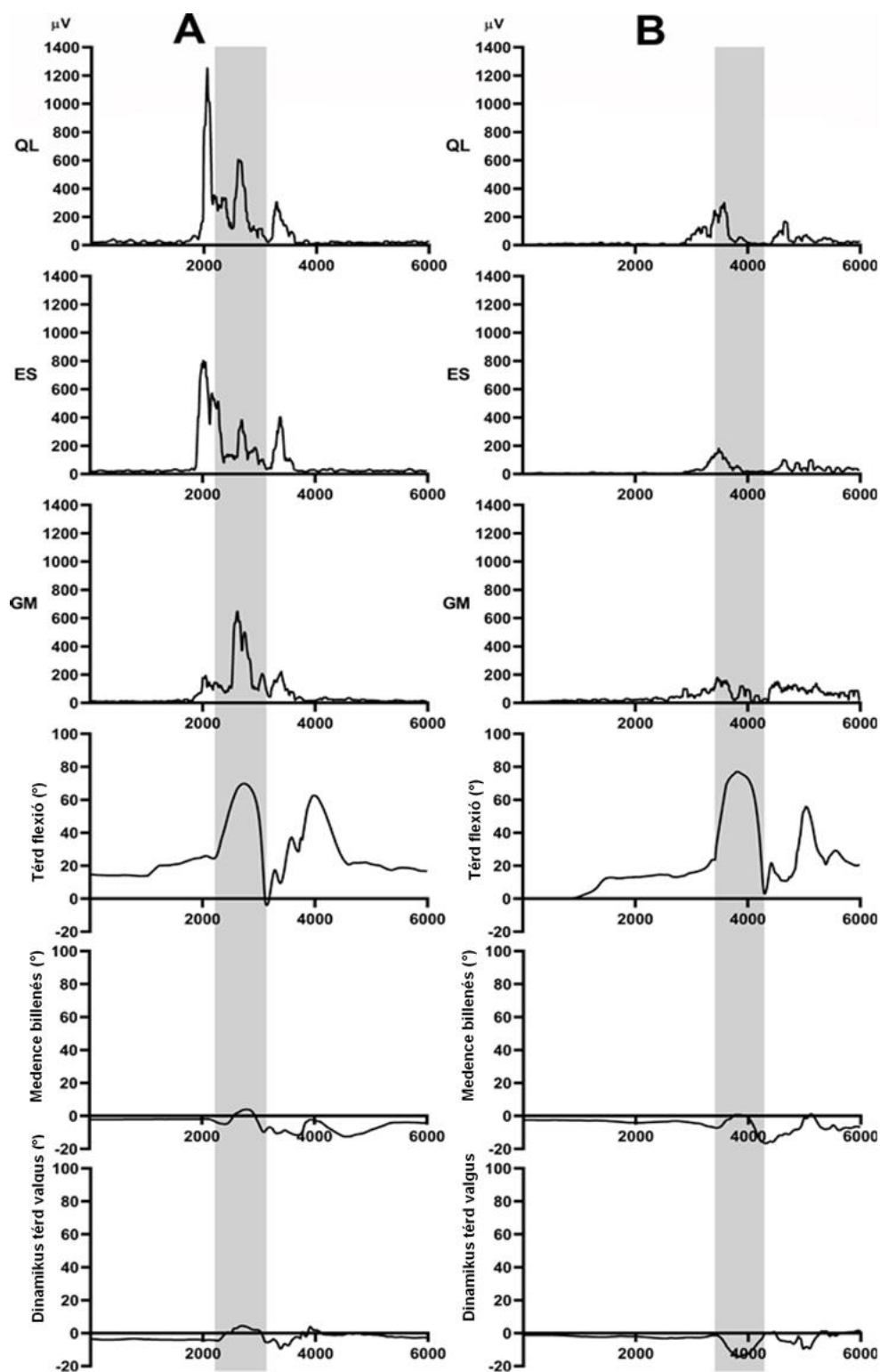
ahol \vec{J} = a testre ható impulzus, \vec{F} = a testre ható erő a t_1 és t_2 közötti időintervallumban. Tehát a propulziós fázisban az erő-idő görbe alatti területet határoztuk meg a felugrási képesség kvantitatív jellemzésre. Az impulzus értékeket ezután a vizsgálati személy kg-ban kifejezett testtömegéhez normalizáltuk. A statisztikai elemzésekhez az egyes felugrás teszteknel a legnagyobb propulziós impulzus értéket használtuk fel.



13. ábra: Erőplató segítségével az unilaterális CMJ teszt során rögzített reprezentatív vertikális talajreakció erő-idő görbe (mintavételi frekvencia: 420 Hz). A szaggatott vonal a vizsgálati személy testsúlyát, az árnyékolt terület a propulziós fázis görbe alatti területét (impulzus) jelzi.

4.1.8. Adatfeldolgozás és statisztikai elemzések

Valamennyi mért kinematikai és EMG-adatot a myoRESEARCH 3.18 szoftver (Noraxon, Scottsdale, USA) segítségével szinkronizáltuk és dolgoztuk fel. A felgrások során a teljes excentrikus és koncentrikus fázist figyelembe véve, a térdízület sagittális síkú helyzetére vonatkozó adatokat referenciaként használva határoztuk meg a felgrások alatt bekövetkező medencebillenés és DTV maximumát, valamint a vizsgált izmok maximális EMG aktivitását (14. ábra). Minden unilaterális CMJ EMG adatot a csípőízületi abdukción vagy a törzs laterál flexió MVC során mért EMG aktivitás értékekhez normalizáltunk. A csípőízületi abdukción MVC és az unilaterális CMJ során kapott GM aktivitási arányát is meghatároztuk.



14. ábra: Unilaterális CMJ alatt mért EMG aktivitás (RMS) és kinematikai paraméterek egy magas GM-aktivitású és kis DTV-vel rendelkező (A), valamint egy alacsony GM-aktivitású és nagy DTV-vel rendelkező vizsgálati személynél (B). Az árnyékolt terület az ugrás időtartamát jelzi. ES = erector spinae, QL = quadratus lumborum, GM = gluteus medius.

Az adatoknál átlagot és szórást számoltunk. A Shapiro-Wilk-teszt szerint a DTV és a medencebillenés mértéke, valamint a csípőízületi abdukciós erő normál eloszlásúak voltak. Az unilaterális CMJ propulziós impulzus, a relatív GM EMG aktivitás/csípőízületi abdukciós erő aránya, valamint a GM, ES és QL aktivitás nem volt normál eloszlású, ezért ezeket az értékeket log-transzformáltuk. Az izmok relatív EMG-aktivitását az unilaterális CMJ során egyszempontos varianciaanalízissel (ANOVA) hasonlítottuk össze, Bonferroni korrekciót használtunk a post-hoc összehasonlításhoz.

Pearson-féle korrelációs együtthatót számítottunk valamennyi biomechanikai és EMG változó közötti összefüggések meghatározására. A statisztikai szignifikanciát $p \leq 0.05$ -ben határoztuk meg. Osztályon belüli korrelációs együtthatókat (ICC) határoztunk meg a három unilaterális CMJ ismétlés és a két MVC kísérlet között, hogy megerősítsük, hogy az általunk végzett mérések megbízhatóak voltak. Amennyiben a kapott ICC eredménye $< 0,5$: gyenge, $0,5 - 0,75$: közepes, $0,75-0,9$: jó, $> 0,9$: kiváló megbízhatóságot jelez (Koo & Li, 2016). Az SPSS, 25.0 verzióját (SPSS Inc, Chicago, IL) használtuk minden statisztikai elemzéshez.

4.2. Második vizsgálat – combizmok és csípőízületi abduktorok maximális erejének hatása a felugrási teljesítményre unilaterális felugrásnál

4.2.1. Vizsgálati személyek

A vizsgálatban huszonöt fő egészséges, testnevelés szakos férfi egyetemi hallgató (életkor: $20,4 \pm 1,9$ év, testtömeg: $78,6 \pm 7,7$ kg, testmagasság: $182,7 \pm 5,6$ cm) vett részt. A vizsgálati személyek a rendszeres tantervi sportórák mellett ($4,5 \pm 2,6$ óra/hét) átlagosan heti $4,5 \pm 2,7$ órát vettek részt saját sportági edzésen, egyikük sem volt élsportoló. Részvételi kritérium volt, hogy a vizsgálati személyek rendelkezzenek legalább egy évnyi plyometrikus edzéstapasztalattal. További kizáró oknak számított bármiféle akut vagy krónikus gerinc, medenceövi vagy térsérülés, fájdalom, vagy korábbi műtét, vagy ortopédiai rendellenességből eredő akut fájdalom, amely megakadályozhatta volna a résztvevőt a maximális alsó végtagi erőterhelésben. A vizsgálatot egy rövid, szóbeli ismertetéssel kezdtük, melyben közöltük kutatásunk fő célját, elmagyaráztuk a menetét. Ezután egy rövid deskriptív adatokat rögzítő és sportoló múltjával kapcsolatos információkat összegző kérdőív kitöltésére kértük fel a vizsgálati személyeket, akik írásos beleegyező nyilatkozatot tettek, hogy önként

vesznek részt a kutatásunkban. A kutatást a PTE Regionális Kutatásetikai Bizottsága jóváhagyta (ügyiratszám: 7961-PTE2019).

4.2.2. Vizsgálati beállítás

A vizsgálatban résztvevő vizsgálati személyeknek két alkalommal kellett megjelenniük a laboratóriumban, két nap különbséggel. Az első alkalommal a tesztfeladatokat gyakorolták, a második alkalommal pedig végrehajtották a tesztek, mely során a méréseket elvégeztük. A vizsgálat napján a mérésekre való felkészülést a vizsgálati személyek egy standard öt perces, tetszőleges sebességgel végzett kerékpár-ergometriás bemelegítéssel kezdték. Ezt követően egyéni tempóban és mértékben végrehajtott nyújtó hatású gimnasztikát végeztek, mellyel a vizsgálati személyek elsősorban a törzs és az alsó végtagok izmait melegítették be. Ezt követték a térdízületi extenzió, térdízületi flexió és csípőízületi abdukción MVC tesztek. Ezt követően unilaterális CMJ típusú függőleges felugrásokat végeztünk a vizsgálati személyekkel. Minden vizsgálati személynél csak a domináns lábat vizsgáltuk. Mivel vizsgálatainkban felugrás teszt volt, a domináns végtagot úgy választottuk meg, hogy a vizsgálati személyeket megkérdeztük, hogy melyik lábban tud biztosabban felugrani, vagy melyikkel tudja jobban az egyensúlyát megtartani.

4.2.3. MVC mérésére szolgáló tesztek

A térdízületi extenzorok és térdízületi flexorok maximális erő kifejtő képességének meghatározásához Multicont II-es típusú számítógép vezérlésű dynaomómetert használtunk (Mediagnost, Budapest és Mechatronic Kft., Szeged, Magyarország, mintavételi frekvencia: 1000 Hz).

A vizsgálati személyek 70 fokos térdízületi szöghelyzetben MVC térdfeszítést, és 20 fokos térdízületi szöghelyzetben MVC térdhajlítást végeztek (15. ábra). Mindkét fenti MVC teszt esetén meghatároztuk a forgatónyomatékok maximumát.



15. ábra: MVC teszt Multicont II dynamométerrel

A csípőízületi abdukción MVC vizsgálatához a vizsgálati személyek az oldalukra feküdtek úgy, hogy a vizsgált lábuk felül helyezkedett el. A vizsgálat menete megegyezik az első vizsgálatnál leírtakkal (10. ábra). A csípőízületi abdukción erő értékét Newtonban (N) határoztuk meg.

Valamennyi MVC tesztnél a vizsgálati személyek három ismétlést végeztek el, melyek között két perces pihenőidőt engedélyeztünk. A vizsgálati személyek a dynamométeren ülő helyzetben, a maximális erő kifejtést megelőzően egy 70%-os és egy 90%-os bemelegítő jellegű próbát végeztek, felkészülve a maximális forgatónyomaték kifejtésére. Az egyes MVC tesztekben a legjobb kísérlet során elért forgatónyomatékot/erőt normalizáltuk a vizsgálati személyek testtömegéhez, és az adatelemzésnél azt vettük figyelembe.

4.2.4. Unilaterális CMJ teszt

A vizsgálat menete megegyezik az első vizsgálatnál leírtakkal (11. ábra)

4.2.5. A felugrások dinamikai elemzése

Az elemzés menete megegyezik az első vizsgálatnál leírtakkal (13. ábra). A statisztikai elemzésekhez ennél a vizsgálatnál is a felugrások során előforduló legnagyobb propulziós impulzust vettük figyelembe.

4.2.6. Statisztikai elemzések

Minden mért és számított változóra vonatkozóan átlagot és szórást számoltunk. A Shapiro-Wilk-teszt szerint minden változó normál eloszlású volt. Pearson-féle korrelációs együtthatót használtunk az egyes dinamikai változók közötti összefüggések meghatározására. További statisztikai elemzéseket végeztünk a korrelációk közötti különbségek megállapításához. Ennek elvégzéséhez a Fisher-féle egzakt próbát használtuk (Lee & Preacher, 2013). Ezzel a teszttel meghatározható két korrelációs együttható mértéke közötti statisztikai különbség a nem közös változók korrelációs együtthatójának bevonásával. A statisztikai szignifikanciát $p \leq 0.05$ -nél állapítottuk meg.

5. EREDMÉNYEK

5.1. Az első vizsgálat eredményei – medenceövi izmok frontális síkú térd- és medence-stabilizáló mechanizmusai unilaterális felugrásnál

A vizsgált csoport dinamikai változóinak átlagértékeit és szórását az alábbi 1. táblázat ismerteti.

1. táblázat: A vizsgált dinamikai változók átlag és szórás értékei ($n = 25$).

	Átlag \pm szórás
DTV ($^{\circ}$)	6,06 \pm 8,21
MB ($^{\circ}$)	6,94 \pm 3,06
I ($N \cdot s \cdot kg^{-1}$)	2,71 \pm ,028
F _{abd} ($N \cdot kg^{-1}$)	3,96 \pm 0,80

DTV = dinamikus térd valgus; MB = medencebillenés; I = testtömeghez normalizált propulziós impulzus; F_{abd} = csípőízületi abduktorok testtömeghez normalizált ereje.

A 2. táblázat a két MVC és a három felugrás teszt során mért EMG, a három felugrás teszt során mért kinematikai változók, valamint a két csípőízületi abdukció méréseire vonatkozó osztályon belüli korrelációs együtthatókat (ICC) mutatja.

2. táblázat: MVC és unilaterális CMJ tesztek során mért EMG, az unilaterális CMJ teszt során mért kinematikai változók, valamint a csípőízületi abdukció osztályon belüli korrelációs együtthatói (ICC) (n = 25).

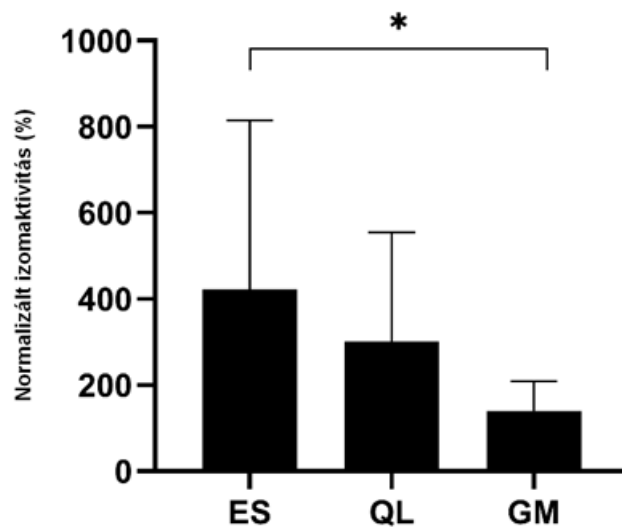
	Unilaterális CMJ teszt	MVC teszt
EMG ES	0,460	0,965
EMG QL	0,816	0,735
EMG GM	0,608	0,836
DTV	0,976	Nem releváns
MB	0,869	Nem releváns
I	0,986	Nem releváns
Csípőízületi abdukció	Nem releváns	0,951

MVC = maximális izometriás kontrakció; EMG ES = erector spinae izomaktivitás; EMG QL = quadratus lumborum izomaktivitás; EMG GM = gluteus medius izomaktivitás; DTV = dinamikus térd valgus; MB = medencebillenés; I = propulziós impulzus.

A felugrás alatti EMG aktivitás MVC alatt mért EMG aktivitáshoz normalizált értékeit mutatja a 16. ábra. Az egyszempontos ANOVA kimutatta, hogy a három izom (ES, QL, GM) relatív izomaktivitása unilaterális CMJ alatt szignifikánsan különbözött egymástól ($p = 0,001$; $F = 7,53$; statisztikai erő = 0,93; $\eta^2 = 0,42$). A post-hoc elemzés alapján az ES aktivitása szignifikánsan nagyobb volt, mint a GM aktivitása ($p < 0,0001$). A QL aktivitása nem különbözött a másik két izom egyikétől sem. A hatásnagyság (Cohen's d érték) értékeit a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat: A hatásnagyság (Cohen's d érték) értékei a páros összehasonlításkor

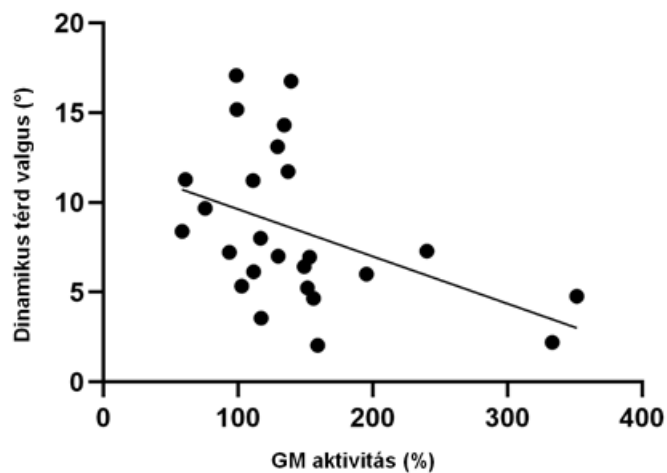
	Cohen's d érték
ES/QL	0,18
ES/GM	0,42
QL/GM	0,24



16. ábra: Az ES, QL és GM normalizált EMG-aktivitása unilaterális CMJ alatt.

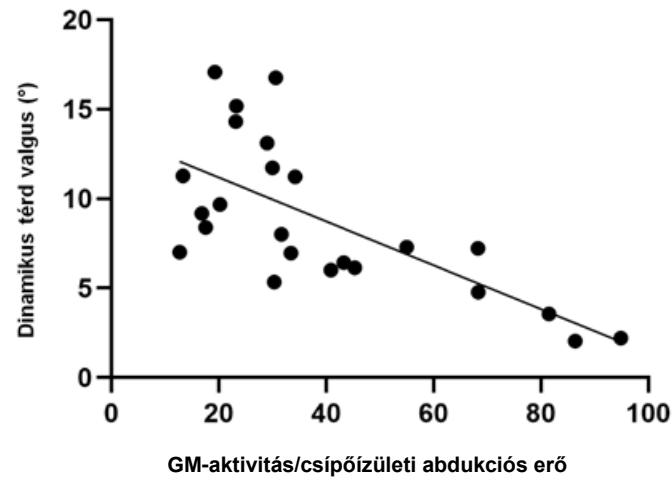
*Szignifikáns különbség ($p < 0,05$).

A Pearson-féle korrelációs eredmények azt mutatják, hogy a DTV mértéke nem korrelált a csípőízületi abduktorok erejével, de negatívan korrelált ($r = -0,44$; $p < 0,05$) az unilaterális CMJ során mért GM aktivitással (17. ábra, 4. táblázat).



17. ábra: Az unilaterális CMJ alatt mért DTV mértéke és a GM aktivitása közötti korreláció ($n = 25$).

Ez a korreláció erősebbé vált ($r = -0,71$; $p < 0,05$), amikor az unilaterális CMJ alatt mért DTV mértékét és a GM-aktivitás/csípőízületi abdukciós erő aránya közötti kapcsolatot vizsgáltuk meg (18. ábra).



18. ábra: Az unilaterális CMJ alatt mért DTV mértéke és a GM aktivitás/csípőízületi abdukciós erő aránya közötti korreláció ($n = 25$).

A 4. táblázatban mutatjuk be valamennyi mért és számított neurokinematikai és kinetikai változó közötti korrelációs együtthatókat. Az elemzésnél az unilaterális CMJ teszteknel mért propulziós impulzust, DTV és medencebillenés mértékét, valamint az izomaktivitások (GM, ES és QL) normalizált értékeit vettük figyelembe. Ezenkívül az MVC tesztnek mért csípőízületi abduktorok normalizált értékével és a relatív GM izomaktivitás/csípőízületi abduktorok erejének arányával végeztük el az elemzéseket.

A korrelációs számítások azt mutatják, hogy a medencebillenés nem korrelált a csípőízületi abduktorok izomerejével és semmilyen izomaktivitással az unilaterális CMJ során. Az unilaterális CMJ propulziós impulzus korrelált mind az ES, mind a QL aktivitással ($p < 0,05$), de nem korrelált sem a GM aktivitással, sem a medencebillenéssel és a DTV-vel.

4. táblázat: Pearson-féle korrelációs együtthatók és Spearman-féle rangkorrelációk a neurokinematikai és kinetikai változók között (n = 25).

	I	DTV	MB	F _{abd}	EMG GM/F _{abd}	EMG GM	EMG ES
DTV	0,01						
MB	0,10	0,31					
F _{abd}	0,16	0,46	-0,33				
EMG GM/F _{abd}	-0,07	-0,71*	-0,23	-0,17			
EMG GM	0,13	-0,44*	-0,10	0,10	0,85		
EMG ES	0,43*	-0,25	-0,13	-0,04	0,36	0,45*	
EMG QL	0,42*	0,00	-0,13	0,12	-0,14	0,11	0,46*

I = propulziós impulzus; DTV = dinamikus térd valgus; MB = medencebillenés; F_{abd} = csípőízületi abduktorok ereje; EMG GM/F_{abd} = relatív gluteus medius izomaktivitás/csípőízületi abduktorok erejének aránya; GM = gluteus medius normalizált izomaktivitás; ES = erector spinae normalizált izomaktivitás; QL = quadratus lumborum normalizált izomaktivitás; * Szignifikancia szint p < 0,05.

5.2. A második vizsgálat eredményei – combizmok és csípőízületi abduktorok maximális erejének hatása a felugrási teljesítményre unilaterális felugrásnál

A vizsgált csoport teljesítménymutatóinak átlag- és szórásértékeit az 5. táblázat ismerteti.

5. táblázat: A vizsgált teljesítménymutatók átlag és szórás értékei (n = 25).

	Átlag ± szórás
M _{ext} (Nm·kg ⁻¹)	3,70 ± 0,62
M _{flex} (Nm·kg ⁻¹)	1,97 ± 0,39
I (N·s·kg ⁻¹)	2,83 ± 0,26
F _{abd} (N·kg ⁻¹)	2,96 ± 0,30

M_{ext} = térdízületi extenzorok testtömeghez normalizált csúcsnyomatéka; M_{flex} = térdízületi flexorok testtömeghez normalizált csúcsnyomatéka; I = testtömeghez normalizált propulziós impulzus; F_{abd} = csípőízületi abduktorok testtömeghez normalizált maximális ereje.

A 6. táblázatban az unilaterális CMJ alatti propulziós impulzus és az MVC változói közötti Pearson-féle korreláció eredményeit mutatjuk be.

6. táblázat: A dinamikai változók Pearson-féle korrelációs együtthatói ($n = 25$).

* Szignifikáns $p \leq 0,05$ **Szignifikáns $p \leq 0,005$.

	I	M _{ext}	M _{flex}
M _{ext}	0,51**		
M _{flex}	0,48*	0,59**	
F _{abd}	0,63**	0,23	0,33

I = testtömeghez normalizált propulziós impulzus; M_{ext} = térdízületi extenzorok testtömeghez normalizált csúcsnyomatéka; M_{flex} = térdízületi flexorok testtömeghez normalizált csúcsnyomatéka; F_{abd} = csípőízületi abduktorok testtömeghez normalizált maximális ereje.

Megvizsgálva, hogy amelyik az az izomcsoport, amelynek nyomatéka/ereje a leginkább összefüggésben van a CMJ alatt mért propulziós impulzussal, azt az eredményt kaptuk, hogy nincs különbség. Mind a térd extenzorok és térd flexorok forgatónyomatéka (M_{flex}, M_{ext}), mind a csípőízületi abduktorok ereje (F_{abd}) egyformán befolyásolják a propulziós impulzust (7. táblázat).

7. táblázat: Fisher-féle egzakt próba a korrelációk különbségeinek vizsgálata egy közös változóval, a propulziós impulzus vonatkozásában ($n = 25$).

	j = I k = M _{ext} h = M _{flex}	j = I k = M _{ext} h = F _{abd}	j = I k = M _{flex} h = F _{abd}
rjk	0,51	0,51	0,48
rjh	0,48	0,63	0,63
rkh	0,59	0,23	0,33
p	0,42	0,26	0,21

I = propulziós impulzus; M_{ext} = térdízületi extenzorok csúcsnyomatéka; M_{flex} = térdízületi flexorok csúcsnyomatéka; F_{abd} = csípőízületi abduktorok maximális ereje; rjk és rjh = a két összehasonlítandó változó korrelációs együtthatója; rkh = a nem közös változók korrelációs együtthatója; p = szignifikancia érték.

6. MEGBESZÉLÉS

Az első vizsgálat fő megállapítása az volt, hogy a nagyobb DTV-vel rendelkező vizsgálati személyek kisebb GM aktivitást mutattak, és hogy a medence billenésének mértéke független volt az ES vagy a QL aktivációtól az unilaterális CMJ során. Továbbá adataink azt mutatják, hogy a csípőízületi abduktorok ereje önmagában nem szabályozta a DTV mértékét az unilaterális CMJ során. Végül az unilaterális CMJ propulziós impulzus nem korrelált sem a DTV, sem a medence billenés mértékével.

A csípőízületi abduktorok maximális ereje nem korrelált az unilaterális CMJ során mért DTV mértékével. Ez az eredmény ellentmond egy korábbi kutatás eredményével, amely szerint a nagyobb GM izomaktivitás összefügg a DTV szögének csökkenésével függőleges felugrás közben (Ueno et al., 2020). A jelenlegi és az említett korábbi vizsgálat közötti eltérés azzal függhet össze, hogy Ueno és munkatársai női és férfi vizsgálati személyeket hasonlítottak össze, akik bilaterális ugrásokat végeztek, szemben a mi vizsgálatunkban alkalmazott unilaterális CMJ tesztekkel. Egy másik kutatásban, ahol fizikailag aktív nők és férfiak voltak a vizsgálati személyek, unilaterális leérkezési tesztekkel azt vizsgálták, hogy milyen kapcsolat van a DTV szögének mértéke és a csípőízületi abduktorok izomereje között. Ebben a vizsgálatban szintén erős negatív korrelációról számoltak be a női vizsgálati személyek körében, míg a férfiaknál ez a kapcsolat gyengébb volt (Neamatallah et al., 2020). Hasonlóképpen a DTV és a csípőízületi abduktorok csúcsnyomatéka közötti negatív korrelációról számoltak be ($r = -0,37$) egy korábbi vizsgálatban, amelyben a vizsgálati személyek unilaterális guggolást hajtottak végre (Claiborne et al., 2006). Ez alapján megállapíthatjuk, hogy a mi vizsgálatunkban a csípőízületi abduktorok maximális ereje valószínűleg azért nem korrelált szignifikánsan a DTV-vel, mert a vizsgálati személyek fiatal, fizikailag aktív, férfi sportolók voltak, és csak kis mértékű DTV volt mérhető az esetükben a vizsgált unilaterális CMJ teszteknel. Úgy tűnik, hogy a csípőízületi abduktorok izomereje és a DTV elsősorban nőknél korrelál.

Annak ellenére, hogy a csípőízületi abduktorok maximális ereje és a DTV között nem volt szignifikáns korreláció, vizsgálatunkban az unilaterális CMJ során mért GM aktivitás és a GM aktivitás/csípőízületi abduktációs erő arány negatívan korrelált a DTV mértékével. Ezek az összefüggések arra utalnak, hogy valószínűleg nem a csípőízületi abduktorok maximális ereje, hanem a csípőízületi abduktor izom (GM) aktivitása az a változó, amely fő szerepet

játszik a DTV kialakulásában a fiatal, edzett férfiakból álló vizsgálati csoportban. A GM aktivációjának fontosságát az unilaterális alsó végtagi feladatok során alátámasztják korábbi adatok, amelyek szerint az unilaterális mélybeugrás a bilaterális mélybeugráshoz képest 1,5-8,2 fokkal növelte a DTV mértékét, a GM aktivitásában pedig háromszoros növekedést mértek a bilaterális mélybeugráshoz képest egészséges férfiaknál (Nejishima et al., 2007). Úgy tűnik tehát, hogy az unilaterális felugrásoknál a GM-nek erősen aktiválódnia kell, és ez az aktiváció csökkentheti a DTV-t, potenciálisan védve a térdet a sérüléstől. A DTV normál mértéke a fizikailag aktív populációban unilaterális mélybeugrás során, nőknél 5-12 fok, férfiaknál 1-9 fok között van. Egy korábbi kutatásban továbbá arra is rámutattak, hogy a DTV mértékének szimmetrikusnak kell lenni a két térdben (Herrington & Munro, 2010). Vizsgálati eredményeinket áttekintve, az unilaterális CMJ során mért DTV mértéke: 2-17 fok.

Összességében a kinematikai és EMG-adataink azt mutatják, hogy az izolált csípőízületi abduktorok ereje önmagában nem tudja megakadályozni a DTV normál mértéken felüli szöghelyzetét. Úgy tűnik azonban, hogy a csípőízületi abduktorok aktivitása fontos kontrollja a DTV mértékének az unilaterális CMJ gyakorlatokban. Az első vizsgálatunkban például a 333-351%-os normalizált GM aktivitással rendelkező vizsgálati személyeknél csak 2-4 fokos DTV szöghértékeket mértünk unilaterális CMJ alatt. Ezzel szemben szintén az első kutatásunkban voltak olyan vizsgálati személyek, akiknél 16-17 fokos DTV mértéket állapítottunk meg, és ehhez csak 98-139%-os normalizált GM-aktivitás társult.

Nem találtunk kapcsolatot az ugrólábbal azonos oldali (ipsilaterális) GM és a nem ugró láb oldali (kontralaterális) QL és ES aktivitása és a medencebillenés mértéke között, ami arra utal, hogy talán egy összetettebb izomaktivációs mechanizmus felelős a medence frontális síkú stabilitásért. Keveset tudunk a QL atlétikai mozgásokban betöltött szerepéről. A QL-nak segédizomként a bordák mozgásában van szerepe, valamint hozzájárul a gerinc és a medence stabilizációjához és mozgásához, de nem olyan mértékben, mint az ES és a multifidus izmok (Bordoni & Varacallo, 2022). Az ES stabilizálja a gerincet a sagittális síkban, és így az unilaterális CMJ során erősen aktív a törzs laterál flexióhoz képest, valószínűleg ezért kaptunk ilyen nagy EMG értéket, mert nem a laterál flexió elleni stabilizáció, hanem a sagittális stabilizáció szerepét töltötte be. A GM szintén stabilizálja a medencét, ezenkívül a medence billenését megakadályozza, és így lehetővé teszi, hogy a törzs függőleges maradjon egy lábon állás, futás és járás közben, amikor az egyik láb felemelkedik a talajról (Shah & Bordoni, 2022). Egy korábbi vizsgálat kimutatta, hogy a QL mérete szignifikánsan összefügg az alsó végtagi sérülések előfordulásával férfi elit labdarúgóknál

(Hides & Stanton, 2017). Willson és munkatársai (2005) a csípő- és törzsizomzat aktivitása és az alsó végtagok mozgása közötti kapcsolatról számoltak be. Ennek megfelelően a csökkent törzsstabilitás növelheti az alsó végtagi sérülésre való fogékonyságot, de a törzs stabilitásának és erejének edzése csökkentheti a térd sérülés kockázatát. Szintén korábbi kutatások 35 fokos medencebillenést mutattak ki nőknél egy lábon végrehajtott hármassugrás teszt során (dos Reis et al., 2015). Egy másik vizsgálatban 44 fokos medencebillenést találtak ACL-rekonstrukción átesett férfi sportolóknál, az unilaterális függőleges felugrás propulzív fázisában (Kotsifaki et al., 2022). A GM és a QL kontrollálja a medence billenését az unilaterális mozgások során (Oliver & Keeley, 2010). Amint azonban a medence erősen megbillen, az ágyéki csigolyákban frontális síkú rotációk keletkeznek, ami valószínűleg növeli az ES stabilizáló szerepét. Az ES elsősorban törzs extenzorként működik, azonban az oldalsó részek stabilizálják a gerincet frontális síkban. Jelen kutatási adatok nagyon alacsony medencebillenést (7 fok) mutatnak a vizsgálati személyeknél. Mivel nem találtunk összefüggést az ES, a QL és a medence frontális síkbeli billenése között, arra következtetünk, hogy más izmok, például a multifidus és/vagy a transversus abdominis izmok kontrollálhatják a medence frontális síkbeli billenését.

A propulziós impulzus nem korrelált a DTV mértékével, a medence billenésével és a csípőízületi abduktorok erejével az erőplaton végzett unilaterális CMJ során. Azonban második vizsgálatunkban azonban kimutattuk, hogy a nagyobb csípőízületi abduktor erővel rendelkező vizsgálati személyek nagyobb unilaterális CMJ propulziós impulzusokat produkáltak, ellentétben tehát az első vizsgálatban kapott eredményekkel. Megfigyeltük, hogy az első vizsgálatban szereplő vizsgálati személyek az utóbbi vizsgálatban résztvevő vizsgálati személyekhez képest eltérő nagyságú csípőízületi abduktor erővel rendelkeztek. Ennél a paraméternél az első vizsgálatban 25%-kal nagyobb értéket kaptunk. Lanza és munkatársai (Lanza et al., 2021) szintén megerősítették a csípőízületi abduktorok maximális akaratlagos erejének és a GM gyors aktiválásának fontosságát a bilaterális felugrás tesztben és a négyszögletes lépéstesztben a jobb teljesítmény szempontjából. Ezek az adatok arra utalnak, hogy talán a combcsont és/vagy a medence megfelelő pozicionálása az unilaterális CMJ során hozzájárul a jobb ugrási teljesítményhez. Jelen vizsgálatainkban nem találtunk bizonyítékot erre az elméletre, mivel a kisebb DTV nem eredményezett nagyobb unilaterális CMJ propulziós impulzust. Első vizsgálatunkban az átlagos DTV mindössze 6 fok volt. Ha nagy DTV mértékekkel rendelkező vizsgálati személyeket vizsgáltunk volna, az feltételezhetően már befolyásolta volna az unilaterális CMJ teljesítményt. A második vizsgálatunkban nem

mértünk szegmentális kinematikát, így ott nem rendelkezünk adatokkal a DTV mértékéről az unilaterális CMJ során.

Mindhárom vizsgált izom nagyon magas normalizált aktivitást mutatott az első vizsgálatban, de az ES mutatta a legmagasabb aktivitást az unilaterális CMJ során. Néhány vizsgálati személynél hétszeres normalizált ES aktivitás értéket mértünk a törzs laterál flexiós MVC-hez képest, ugyanakkor közel ötszörös volt ez az érték a QL vizsgálatokor néhány vizsgálati személy esetében. A törzs laterál flexió MVC tesztet arra használtuk, hogy megvizsgáljuk azt a mechanizmust, ahogyan a frontális síkban a medence billenése az unilaterális CMJ során kontrollálódik. Úgy tűnik azonban, hogy az ES és a QL alig aktiválódott ezen teszt során. Annak ellenére, hogy az ES és a QL aktív volt az oldalirányú hajlítás során, Andersson és munkatársai (Andersson et al., 1996) kutatási eredményei arra utalnak, hogy a gerinc és a medence stabilizációja más síkokban még mindig nagyobb jelentőséggel bír.

Bár nem sikerült megfigyelnünk, hogy az ES és a QL aktivációja hozzájárult volna a medence billenéséhez, az ES és a QL aktivitása és az unilaterális CMJ alatt mért propulziós impulzus közötti pozitív korreláció azt jelzi, hogy ezek az izmok szerepet játszanak az unilaterális CMJ teljesítményében. Ezt megerősítendő, egy korábbi tanulmány pozitív korrelációról számolt be az ES aktivitása és az ugrás magassága között (Blache & Monteil, 2014). Mills és munkatársai (Mills et al., 2005) szintén a maximális függőleges ugrásmagasság növekedését találták 10 hetes lumbális medence stabilitás tréninget követően.

Az első vizsgálatunk eredményei azt sugallják, hogy fiatal, mérsékelten edzett férfiaknál a GM aktiváció szintje a csípőízületi abduktorok maximális ereje helyett hozzájárul a DTV-hez unilaterális CMJ során. Így a nagy csípőízületi abduktor erővel rendelkező egyének még mindig nagy mértékű DTV-t produkálhatnak. Arra a következtetésre jutottunk, hogy a megfelelő erőprodukciónak mellett a GM aktiváció optimális szintje is szükséges a térdízület stabilitásához. Javasoljuk, hogy a sportolók az izolált csípőízületi abduktorokra alkalmazott rezisztencia gyakorlatok mellett funkcionális feladatokon keresztül növeljék a GM aktivációt a DTV mértékének és a térd sérülés kockázatának csökkentése érdekében.

A második vizsgálat fő megállapítása az volt, hogy a nagyobb csípőízületi abduktor erővel rendelkező vizsgálati személyek, nagyobb unilaterális CMJ impulzust produkáltak. Megállapítottuk továbbá, hogy az unilaterális CMJ impulzusa korrelál mind a térdízületi extenzorok, mind a térdízületi flexorok csúcsnyomatékával. Abban azonban nem találtunk különbséget, hogy melyik az az izom, amelynek ereje leginkább összefüggésben van az

unilaterális CMJ impulzussal. A térdízületi extenzorok erejének hatása a függőleges felugrás teljesítményéhez jól ismert (Loturco et al., 2018). A térdízületi flexorok szerepe az ugró mozgásokban inkább a térdízület stabilizálására korlátozódik (Porrati-Paladino & Cuesta-Barriuso, 2021), de a flexor izmokra irányuló erősítő edzések javíthatják az ugró teljesítményt (Hoyo et al., 2015). Második vizsgálatunkban újszerű eredmény, hogy a csípőízületi abduktorok maximális ereje korrelált az unilaterális CMJ impulzussal. Ez megerősíti azokat a korábbi adatokat, amelyek pozitív kapcsolatot mutattak a csípőízületi abduktorok nyomatéka és a vertikális talajreakciós erő között, amelyet bilaterális mélybeugrás során mértek (Ueno et al., 2020). A csípőízületi abduktorok működési zavarai bizonyítottan hozzájárulnak a DTV-hez és a medence billenéséhez (Kagaya et al., 2015), ezért a nem megfelelő combcsont és medence pozíció biomechanikailag hátrányos lehet az unilaterális CMJ során az erő kifejtés irányába. Ezt megerősítik azok a vizsgálatok, amelyek szerint a GM fáradtsága megváltoztatja a bokaízület kinematikáját (Gafner et al., 2018), rontja a testtartás-szabályozást (Salavati et al., 2007), és növeli a mediális-laterális testtömeg-középpont elmozdulását (Lee & Powers, 2014), ami hozzájárul a bizonytalan egyensúlyozáshoz és a csökkent vertikális talajreakciós erőhöz az unilaterális CMJ során. A GM rendkívüli szerepét az unilaterális támaszhelyzetekben a fentiekén kívül egy igen érdekes tanulmány is megerősíti (van der Krogt et al., 2012). A tanulmányban egy járásszimulációs vizsgálat során matematikai eljárásokkal modellezték egyes izmok fáradásának a hatását a járás kinematikájára. Amikor a csípőízületi abduktorokat 80%-ra fárasztották, a járás lehetetlenné vált, szemben a többi alsó végtagi izommal, amelyek akár 60%-os fáradása esetén is fenntartható volt a biomechanikailag normális járás.

Összességében elmondható, hogy a széleskörűen tanulmányozott térdfesztítő és térdhajlító izmok szerepe mellett a csípőízületi abduktorok is fontos szerepet töltenek be az unilaterális felugrások impulzusának növekedésében, bár ezt csak a második vizsgálatban sikerült igazolnunk.

Az ismertetett vizsgálatokban az egyik igen fontos korlát az volt, hogy csak egészséges, edzett férfiakat vizsgáltunk annak ellenére, hogy ismert, hogy a DTV mértéke általában sokkal nagyobbak a nőknél (Ford et al., 2003; Kernozek et al., 2005). Tehát jelen adatok nem általánosíthatók az alábbi populációkra: nők, idősek, elit sportolók vagy sérült egyének. Egy másik fontos vizsgálati korlát, hogy térd sérülés nélküli vizsgálati személyekkel dolgoztunk, ami a vizsgálat hatókörét egészséges felnőttekre korlátozza. A korábbi térd sérüléssel (ACL rekonstrukcióval) rendelkező egyéneknél nagyobb volt a DTV mértéke

unilaterális CMJ közben, mint az egészséges kontrollszemélyeknél (Ho & Murata, 2021). Újabb limitációt jelent, hogy az első vizsgálatban nem mértük a térdízületi extenzorok és flexorok erejét, a második vizsgálatunkban pedig nem végeztünk kinematikai elemzéseket, így ezen kutatásban nem határoztuk meg a DTV mértékét, mivel az eredeti hipotéziseink ellenőrzéséhez ezekre nem volt szükség. Végül, nem alkalmaztunk semmiféle olyan intervenciót (pl. elfáradást), amellyel a vizsgált változókat, az abduktorok erejét és a DTV szög közötti kapcsolat jellegét manipulálhattuk volna.

Összefoglalva, jelen vizsgálatok bizonyítékot szolgáltatnak arra, hogy a csípőízületi abduktorok a térd indirekt, frontális síkú stabilizátorai azáltal, hogy csökkentik a DTV-t és az ízületi terhelés mértékét. Megállapítottuk, hogy nem a csípőízületi abduktorok maximális ereje, hanem inkább a GM aktivitása az, ami a DTV-t kontrollálja. Továbbá arra a következtetésre jutottunk, hogy a csípőízületi abduktorok maximális izomereje hozzájárul az unilaterális felugrás vertikális ugrási teljesítményhez. Számos tanulmány bizonyította a combhajlító izmok edzésének hatását a térd sérülés kockázatának csökkentésére (Dyk et al., 2019), azonban a csípőízületi abduktor izmok erősítése is messzemenően javasolt a sportolók számára az elsődleges ACL-védelem biztosítása érdekében, főként olyan sportágak sportolóinál, ahol váratlan helyzetekben unilaterális felugrásokat és leérkezéseket hajtanak végre. A combhajlító izomzat védő viselkedésének megértése az ACL-szakadás megelőzésében igen fontos. Ezért a combhajlító izmok időspecifikus aktivációját a GM aktivációjával és a frontális síkú térdkinematikával kapcsolatban vizsgáló jövőbeli kutatások hasznosak lehetnek. Az egészségi és edzettségi állapotot, valamint a nemek hatását is szükséges tanulmányozni.

7. ÚJ EREDMÉNYEK

- A maximális akaratlagos csípőízületi abdukciós erő nem befolyásolja a DTV mértékét unilaterális CMJ típusú felugrás közben.
- A GM aktivitás és a GM aktivitás/csípőízületi abdukciós erő arány befolyásolja a DTV mértékét unilaterális CMJ típusú felugrás során.
- A GM, QL és ES aktivációjától, valamint a maximális akaratlagos csípőízületi abdukciós erőtől is független a medence billenésének mértéke az unilaterális CMJ során.
- Unilaterális CMJ típusú felugrás közben mért propulziós impulzus nem függ sem a DTV, sem a medence billenés mértékétől.
- Az ES és QL aktivitása befolyásolja a felugrási impulzust unilaterális CMJ típusú felugrás során.
- Azoknál a vizsgálati személyeknél, akiknél nagyobb DTV-t mértünk, kisebb GM-aktivitási értékeket kaptunk.
- Mindhárom vizsgált izom (GM, QL és ES) magas normalizált aktivitást mutatott, de az ES mutatta a legmagasabb aktivitást az unilaterális CMJ során.
- A maximális akaratlagos csípőízületi abdukciós erő befolyásolja az unilaterális CMJ felugrási teljesítményt.
- A térdízületi extenzorok és a térdízületi flexorok csúcsnyomatékának nagysága befolyásolja a felugrási impulzus nagyságát unilaterális CMJ típusú felugrás közben.
- A csípőízületi abduktorok maximális ereje és a térdízületi extenzorok és flexorok csúcsnyomatékának nagysága, egyaránt egyformán befolyásolják a felugrási impulzust.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az unilaterális CMJ tesztet gyakran használják a frontális sík kinetikájának vizsgálatára és leginkább az alsó végtagok sérüléseinek fokozott kockázatával rendelkező sportolók kiszűrésére és azonosítására. Jelen vizsgálatunkban teszteltük a térd- és csípőízület stabilizációjának biomechanikai mechanizmusait unilaterális CMJ közben, valamint azt kutattuk, hogy az unilaterális CMJ teszt felugrási teljesítménye milyen összefüggésben lehet a térdízület stabilizációs képességével.

Mindkét vizsgálatunkban huszonöt-huszonöt, egészséges férfi, testnevelés szakos hallgatón végeztünk méréseket. Először megvizsgáltuk a törzsizmok laterál flexió alatti és a csípőízületi abduktorok maximális izometriás erejét, ezután a domináns lábbal vertikális CMJ típusú felugrásokat hajtottak végre a vizsgálati személyek egy erőplaton. Az ugrások alatti ízületi, kinematikai változókat 3D mozgáselemző rendszerrel határoztuk meg, mértük a vizsgálati személyek által kifejtett talajreakciós erőt, és az erector spinae, a quadratus lumborum és a gluteus medius elektromos aktivitását. Ezt követő vizsgálatban lejegyeztük a térdízületi extenzorok és flexorok maximális izometriás erejét, valamint a csípőízületi abduktorok izometriás erejét, majd ezt követően egy erőplaton unilaterális CMJ típusú felugrásokat végeztettünk a vizsgálati személyekkel. Az izomaktivitás adatait minden mérés során telemetrikusan rögzítettük. Minden kinematikai és elektromyográfiai adatot szinkronizáltunk és feldolgoztunk a myoRESEARCH 3.18 szoftverrel. Az adatokat egyszempontos varianciaanalízissel hasonlítottuk össze, Bonferroni-korrekcióval. Pearson-féle korrelációt használtunk az összes változó közötti összefüggések meghatározására.

Eredményeink az első vizsgálat alapján azt mutatják, hogy a DTV-nek mértéke nem korrelált a csípőízületi abduktorok maximális erejével, de negatívan korrelált a gluteus medius aktivitással unilaterális CMJ közben. Ez a korreláció erősebbé vált, amikor a gluteus medius aktivitás/csípőízületi abdukciós erő aránya közötti kapcsolatot elemeztük. Megállapítottuk továbbá, hogy a felugrási impulzus korrelált a térdízületi extenzorok, és a térdízületi flexorok csúcnyomatékaival. A nagyobb csípőízületi abduktor erővel rendelkező vizsgálati személyek is nagyobb felugrási impulzust produkáltak.

A jelen vizsgálatok egyik fő megállapítása az, hogy a nagyobb DTV-vel rendelkező vizsgálati személyek kisebb gluteus medius aktivitást mutattak, és hogy a medencebillenés mértéke független az ugrás közbeni erector spinae vagy quadratus lumborum aktiválódásától.

Továbbá adataink azt mutatják, hogy a csípőízületi abduktorok ereje önmagában nem szabályozza a DTV mértékét az unilaterális ugrás során. Arra a következtetésre jutottunk, hogy a megfelelő erő kifejtés mellett a gluteus medius aktivációjának optimális szintje is szükséges a térdízület stabilizálásához. Másik lényeges észrevétel, hogy a csípőízületi abduktorok ereje fontos tényezője az unilaterális vertikális felugrás teljesítményének.

9. SUMMARY

The unilateral countermovement jump is commonly used to examine frontal plane kinetics during unilateral loading and to identify athletes with an increased risk of lower limb injuries. In the present study, we examined the biomechanical mechanisms of knee and pelvis stabilization during unilateral vertical jumps.

In both studies, we measured the performance of twenty-five healthy male physical education students. First, the maximum isometric strength of the trunk muscles during lateral flexion and the hip abductors was tested, after which the participants performed vertical CMJ-type jumps on a force plate with the dominant leg. During jumps, the propulsive impulse was measured. The activity of the dominant-side gluteus medius and the contralateral-side quadratus lumborum and erector spinae muscles was recorded with surface EMG. The EMG data were normalized to the EMG activity recorded during maximal voluntary isometric hip abduction and lateral trunk flexion contractions. Kinematic variables during the jumps were determined using a 3D motion analysis system. In a subsequent test, the Participants were tested for dynamometric knee extension and flexion, hip abduction maximum isometric strength, and unilateral CMJ-type jumps were then performed on a force plate. Muscle activity data were recorded telemetrically during all measurements. All kinematic and electromyographic data were synchronized and processed using myoRESEARCH 3.18 software. The data were compared using a one-way analysis of variance, Bonferroni correction, and Pearson correlation to determine the relationships between all variables.

Our results from the first study indicate that the magnitude of dynamic knee valgus did not correlate with maximum hip abduction force, but was negatively correlated with gluteus medius activity during unilateral CMJ. This correlation became stronger when the relationship between gluteus medius activity/hip abduction ratio was analysed. We also found that the propulsive impulse correlated with peak knee torque values for the knee extensors and knee flexors. Participants with greater hip abduction force produced greater jump impulses.

One of the main findings of the present studies is that participants with greater dynamic knee valgus showed less gluteus medius activity and that the magnitude of pelvic tilt is independent of the erector spinae or quadratus lumborum muscles activation during jumping. Furthermore, our data show that the hip abduction force alone does not control the magnitude of dynamic knee valgus during unilateral jumping. We conclude that, in addition to adequate

force, an optimal level of gluteus medius activation is required to stabilize the knee joint. Another important observation is that the hip abduction force is an important factor in unilateral vertical jump performance.

10. IRODALOMJEGYZÉK

- Aksoy, M., Ozgur, T., Ozgur, B., Demirci, D., Gürel, G., & Özen, Ş. (2021). Incidence of Sport Injury in Contact and Non-Contact Sports. *PROGRESS IN NUTRITION*, 23(2).
<https://doi.org/10.23751/pn.v23i2.10752>
- Alaia, M. J. (2021). *Posterior Cruciate Ligament Injuries—OrthoInfo—AAOS*.
<https://www.orthoinfo.org/en/diseases--conditions/posterior-cruciate-ligament-injuries/>
- Albano, T. R., Rodrigues, C. A. S., Melo, A. K. P., de Paula, P. O., & Almeida, G. P. L. (2020). Clinical Decision Algorithm Associated With Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Athletic Training*, 55(7), 691–698.
<https://doi.org/10.4085/1062-6050-82-19>
- Alemdaroğlu, U. (2012). The Relationship Between Muscle Strength, Anaerobic Performance, Agility, Sprint Ability and Vertical Jump Performance in Professional Basketball Players. *Journal of Human Kinetics*, 31, 149–158.
<https://doi.org/10.2478/v10078-012-0016-6>
- Alikhani, R., Shahrjerdi, S., Golpaigany, M., & Kazemi, M. (2019). The effect of a six-week plyometric training on dynamic balance and knee proprioception in female badminton players. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 63(3), 144–153.
- Andersson, E., Oddsson, L., Grundström, H., Nilsson, J., & Thorstensson, A. (1996). EMG activities of the quadratus lumborum and erector spinae muscles during flexion-relaxation and other motor tasks. *Clinical Biomechanics*, 11(7), 392–400.
[https://doi.org/10.1016/0268-0033\(96\)00033-2](https://doi.org/10.1016/0268-0033(96)00033-2)

- Andriacchi, T. P., Andersson, G. B. J., Örtengren, R., & Mikosz, R. P. (1983). A study of factors influencing muscle activity about the knee joint. *Journal of Orthopaedic Research*, *1*(3), 266–275. <https://doi.org/10.1002/jor.1100010306>
- Arthur-Banning, S. G., Jameyson, D., Black, K., & Mkumbo, P. (2018). An Epidemiology of Sport Injury Rates Among Campus Recreation Sport Programs. *Rehabilitation Science*, *3*(2), 38. <https://doi.org/10.11648/j.rs.20180302.13>
- Atabek, H. Ç., Sönmez, G. A., & Yılmaz, İ. (2009). The relationship between isokinetic strength of knee extensors/flexors, jumping and anaerobic performance. *Isokinetics and Exercise Science*, *17*(2), 79–83. <https://doi.org/10.3233/IES-2009-0337>
- Baena-Raya, A., Sánchez-López, S., Rodríguez-Pérez, M. A., García-Ramos, A., & Jiménez-Reyes, P. (2020). Effects of two drop-jump protocols with different volumes on vertical jump performance and its association with the force–velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*, *120*(2), 317–324. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04276-6>
- Bahr, R., Andersen, S. O., Løken, S., Fossan, B., Hansen, T., & Holme, I. (2004). Low Back Pain Among Endurance Athletes With and Without Specific Back Loading—A Cross-Sectional Survey of Cross-Country Skiers, Rowers, Orienteers, and Nonathletic Controls. *Spine*, *29*(4), 449–454. <https://doi.org/10.1097/01.BRS.0000096176.92881.37>
- Bahr, R., Engebretsen, L., & IOC Medical Commission (Eds.). (2009). *Sports injury prevention*. Wiley-Blackwell.

- Blache, Y., & Monteil, K. (2014). Influence of lumbar spine extension on vertical jump height during maximal squat jumping. *Journal of Sports Sciences*, 32(7), 642–651. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.845680>
- Bobbert, M. F., & “Knoek van Soest, A. J. (2001). Why Do People Jump the Way They Do? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(3), 95–102.
- Bordoni, B., & Varacallo, M. (2022). Anatomy, Abdomen and Pelvis, Quadratus Lumborum. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535407/>
- Brooks, J. H. M., & Fuller, C. W. (2006). The Influence of Methodological Issues on the Results and Conclusions from Epidemiological Studies of Sports Injuries. *Sports Medicine*, 36(6), 459–472. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636060-00001>
- Brown, T. N., Palmieri-Smith, R. M., & McLean, S. G. (2014). Comparative adaptations of lower limb biomechanics during unilateral and bilateral landings after different neuromuscular-based ACL injury prevention protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(10), 2859–2871. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000472>
- Caserotti, P., Aagaard, P., & Puggaard, L. (2008). Changes in power and force generation during coupled eccentric–concentric versus concentric muscle contraction with training and aging. *European Journal of Applied Physiology*, 103(2), 151–161. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0678-x>
- Cheng, K. B., Wang, C.-H., Chen, H.-C., Wu, C.-D., & Chiu, H.-T. (2008). The mechanisms that enable arm motion to enhance vertical jump performance—A simulation study.

Journal of Biomechanics, 41(9), 1847–1854.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.04.004>

Chhabra, A., Elliott, C. C., & Miller, M. D. (2001). Normal Anatomy and Biomechanics of the Knee. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 9(3), 166.

Claiborne, T. L., Armstrong, C. W., Gandhi, V., & Pincivero, D. M. (2006). Relationship between Hip and Knee Strength and Knee Valgus during a Single Leg Squat. *Journal of Applied Biomechanics*, 22(1), 41–50. <https://doi.org/10.1123/jab.22.1.41>

Cleather, D. J., Goodwin, J. E., & Bull, A. M. J. (2013). Hip and knee joint loading during vertical jumping and push jerking. *Clinical Biomechanics*, 28(1), 98–103. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2012.10.006>

Csintalan, R. P., Inacio, M. C. S., & Funahashi, T. T. (2008). Incidence Rate of Anterior Cruciate Ligament Reconstructions. *The Permanente Journal*, 12(3), 17–21.

Czasche, M. B., Goodwin, J. E., Bull, A. M. J., & Cleather, D. J. (2018). Effects of an 8-week strength training intervention on tibiofemoral joint loading during landing: A cohort study. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 4(1), e000273. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000273>

Dauty, M., Crenn, V., Louguet, B., Grondin, J., Menu, P., & Fouasson-Chailloux, A. (2022). Anatomical and Neuromuscular Factors Associated to Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injury. *Journal of Clinical Medicine*, 11(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/jcm11051402>

Dejnabadi, H., Jolles, B. M., Casanova, E., Fua, P., & Aminian, K. (2006). Estimation and visualization of sagittal kinematics of lower limbs orientation using body-fixed

sensors. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 53(7), 1385–1393.
<https://doi.org/10.1109/TBME.2006.873678>

Dobbs, C. W., Gill, N. D., Smart, D. J., & McGuigan, M. R. (2015). Relationship Between Vertical and Horizontal Jump Variables and Muscular Performance in Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(3), 661–671.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000694>

dos Reis, A. C., Correa, J. C. F., Bley, A. S., Rabelo, N. D. dos A., Fukuda, T. Y., & Lucareli, P. R. G. (2015). Kinematic and Kinetic Analysis of the Single-Leg Triple Hop Test in Women With and Without Patellofemoral Pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 45(10), 799–807. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5011>

Dyk, N. van, Behan, F. P., & Whiteley, R. (2019). Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programmes halves the rate of hamstring injuries: A systematic review and meta-analysis of 8459 athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 53(21), 1362–1370. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100045>

Felson, D. T., Niu, J., Gross, K. D., Englund, M., Sharma, L., Cooke, T. D. V., Guermazi, A., Roemer, F. W., Segal, N., Goggins, J. M., Lewis, C. E., Eaton, C., & Nevitt, M. C. (2013). Valgus malalignment is a risk factor for lateral knee osteoarthritis incidence and progression: Findings from the multicenter osteoarthritis study and the osteoarthritis initiative. *Arthritis & Rheumatism*, 65(2), 355–362.
<https://doi.org/10.1002/art.37726>

Fischer, F., Blank, C., Dünwald, T., Gföller, P., Herbst, E., Hoser, C., & Fink, C. (2017). Isokinetic Extension Strength Is Associated With Single-Leg Vertical Jump Height.

Orthopaedic Journal of Sports Medicine, 5(11), 2325967117736766.
<https://doi.org/10.1177/2325967117736766>

Flanagan, E. P., Ebben, W. P., & Jensen, R. L. (2008). Reliability of the reactive strength index and time to stabilization during depth jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1677–1682.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318182034b>

Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2003). Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(10), 1745–1750. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000089346.85744.d9>

Fritsch, C. G., Dornelles, M. P., Oliveira, G. dos S., & Baroni, B. M. (2020). Poor hamstrings-to-quadriceps torque ratios in male soccer players: Weak hamstrings, strong quadriceps, or both? *Sports Biomechanics*, 0(0), 1–11.
<https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1766100>

Gabriel, W. (2021). Electromyographic Determination of Jump Landing Sequence and Pre-activation Times During One-foot Landing. *Orthopedic Research & Physiotherapy*, 7(1). <https://doi.org/10.24966/ORP-2052/100057>

Gafner, S. C., Hoewel, V., Punt, I. M., Schmid, S., Armand, S., & Allet, L. (2018). Hip-abductor fatigue influences sagittal plane ankle kinematics and shank muscle activity during a single-leg forward jump. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 43, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2018.09.004>

- Ghezelbash, F., Shirazi-Adl, A., Gagnon, D., Shahvarpour, A., Arjmand, N., Eskandari, A. H., & Larivière, C. (2022). Submaximal electromyography-driven musculoskeletal modeling of the human trunk during static tasks: Equilibrium and stability analyses. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 65, 102664. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2022.102664>
- Griffin, L. Y., Agel, J., Albohm, M. J., Arendt, E. A., Dick, R. W., Garrett, W. E., Garrick, J. G., Hewett, T. E., Huston, L., Ireland, M. L., Johnson, R. J., Kibler, W. B., Lephart, S., Lewis, J. L., Lindenfeld, T. N., Mandelbaum, B. R., Marchak, P., Teitz, C. C., & Wojtys, E. M. (2000). Noncontact anterior cruciate ligament injuries: Risk factors and prevention strategies. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 8(3), 141–150. <https://doi.org/10.5435/00124635-200005000-00001>
- Hadzovic, M., Ilic, P., Lilic, A., & Stankovic, M. (2020). The Effects of a Knee Joint Injury Prevention Program on Young Female Basketball Players: A Systematic Review. *Journal of Anthropology of Sport and Physical Education*, 4(1), 51–56.
- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., & Rosenstein, R. M. (1991). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Strength & Conditioning Journal*, 13(3), 38–39.
- Herrington, L., & Munro, A. (2010). Drop jump landing knee valgus angle; normative data in a physically active population. *Physical Therapy in Sport*, 11(2), 56–59. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2009.11.004>

- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford, K. R. (2006). Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(2), 299–311. <https://doi.org/10.1177/0363546505284183>
- Hides, J. A., & Stanton, W. R. (2017). Predicting football injuries using size and ratio of the multifidus and quadratus lumborum muscles. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(4), 440–447. <https://doi.org/10.1111/sms.12643>
- Hietamo, J., Parkkari, J., Leppänen, M., Steffen, K., Kannus, P., Vasankari, T., Heinonen, A., Mattila, V. M., & Pasanen, K. (2020). Association between lower extremity muscular strength and acute knee injuries in young team-sport athletes. *TRANSLATIONAL SPORTS MEDICINE*, 3(6), 626–637. <https://doi.org/10.1002/tsm2.172>
- Ho, K.-Y., & Murata, A. (2021). Asymmetries in Dynamic Valgus Index After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Proof-of-Concept Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/ijerph18137047>
- Holden, S., Boreham, C., & Delahunt, E. (2016). Sex Differences in Landing Biomechanics and Postural Stability During Adolescence: A Systematic Review with Meta-Analyses. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(2), 241–253. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0416-6>
- Hollman, J. H., Ginos, B. E., Kozuchowski, J., Vaughn, A. S., Krause, D. A., & Youdas, J. W. (2009). Relationships between Knee Valgus, Hip-Muscle Strength, and Hip-Muscle Recruitment during a Single-Limb Step-Down. *Journal of Sport Rehabilitation*, 18(1), 104–117. <https://doi.org/10.1123/jsr.18.1.104>

- Hoyo, M. de, Pozzo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Gonzalo-Skok, O., Domínguez-Cobo, S., & Morán-Camacho, E. (2015). Effects of a 10-Week In-Season Eccentric-Overload Training Program on Muscle-Injury Prevention and Performance in Junior Elite Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(1), 46–52. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0547>
- Hrysomallis, C. (2007). Relationship Between Balance Ability, Training and Sports Injury Risk. *Sports Medicine*, *37*(6), 547–556. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737060-00007>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Maffiuletti, N., & Marcora, S. M. (2007). A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *39*(11), 2044–2050. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31814fb55c>
- Jensen, R., & Ebben, W. P. (2007). Quantifying Plyometric Intensity Via Rate of Force Development, Knee Joint, and Ground Reaction Forces. *Journal of Strength and Conditioning Research: The Research Journal of the NSCA*, *21*(3), 763–767.
- Jeong, J., Choi, D.-H., & Shin, C. S. (2021). Core Strength Training Can Alter Neuromuscular and Biomechanical Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury. *The American Journal of Sports Medicine*, *49*(1), 183–192. <https://doi.org/10.1177/0363546520972990>
- Junge, A., Langevoort, G., Pipe, A., Peytavin, A., Wong, F., Mountjoy, M., Beltrami, G., Terrell, R., Holzgraefe, M., Charles, R., & Dvorak, J. (2006). Injuries in team sport tournaments during the 2004 Olympic Games. *The American Journal of Sports Medicine*, *34*(4), 565–576. <https://doi.org/10.1177/0363546505281807>

- Kagaya, Y., Fujii, Y., & Nishizono, H. (2015). Association between hip abductor function, rear-foot dynamic alignment, and dynamic knee valgus during single-leg squats and drop landings. *Journal of Sport and Health Science*, 4(2), 182–187. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2013.08.002>
- Kernozek, T. W., Torry, M. R., VAN Hoof, H., Cowley, H., & Tanner, S. (2005). Gender differences in frontal and sagittal plane biomechanics during drop landings. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 1003–1012; discussion 1013.
- Kim, D. (2012). *THE RELATIONSHIP BETWEEN GLUTEUS MEDIUS ACTIVATION AND FRONTAL PLANE KNEE STABILITY*. <https://harvest.usask.ca/handle/10388/ETD-2012-08-661>
- Kim, D., Unger, J., Lanovaz, J. L., & Oates, A. R. (2016). The Relationship of Anticipatory Gluteus Medius Activity to Pelvic and Knee Stability in the Transition to Single-Leg Stance. *PM&R*, 8(2), 138–144. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2015.06.005>
- Kim, S. G., Yong, M. S., & Na, S. S. (2014). The effect of trunk stabilization exercises with a swiss ball on core muscle activation in the elderly. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(9), 1473–1474. <https://doi.org/10.1589/jpts.26.1473>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Kotsifaki, A., Rossom, S. V., Whiteley, R., Korakakis, V., Bahr, R., Sideris, V., & Jonkers, I. (2022). Single leg vertical jump performance identifies knee function deficits at return

- to sport after ACL reconstruction in male athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 56(9), 490–498. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104692>
- Kozinc, Ž., Žitnik, J., Smajla, D., & Šarabon, N. (2022). The difference between squat jump and countermovement jump in 770 male and female participants from different sports. *European Journal of Sport Science*, 22(7), 985–993. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1936654>
- Kraska, J. M., Ramsey, M. W., Haff, G. G., Fethke, N., Sands, W. A., Stone, M. E., & Stone, M. H. (2009). Relationship between strength characteristics and unweighted and weighted vertical jump height. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(4), 461–473. <https://doi.org/10.1123/ijsp.4.4.461>
- Krutsch, W., Lehmann, J., Jansen, P., Angele, P., Fellner, B., Achenbach, L., Krutsch, V., Nerlich, M., Alt, V., & Loose, O. (2020). Prevention of severe knee injuries in men's elite football by implementing specific training modules. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(2), 519–527. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05706-w>
- Kunugi, S., Koumura, T., Myotsuzono, R., Masunari, A., Yoshida, N., Miyakawa, S., & Mukai, N. (2020). Directions of single-leg landing affect multi-segment foot kinematics and dynamic postural stability in male collegiate soccer athletes. *Gait & Posture*, 80, 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.06.007>
- Lanza, M. B., Rock, K., Marchese, V., Addison, O., & Gray, V. L. (2021). Hip Abductor and Adductor Rate of Torque Development and Muscle Activation, but Not Muscle Size, Are Associated With Functional Performance. *Frontiers in Physiology*, 12, 744153. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.744153>

- Larwa, J., Stoy, C., Chafetz, R. S., Boniello, M., & Franklin, C. (2021). Stiff Landings, Core Stability, and Dynamic Knee Valgus: A Systematic Review on Documented Anterior Cruciate Ligament Ruptures in Male and Female Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073826>
- Lee, I. A., & Preacher, K. J. (2013). *Calculation for the test of the difference between two dependent correlations with one variable in common.*
- Lee, J. W. Y., Mok, K.-M., Chan, H. C. K., Yung, P. S. H., & Chan, K.-M. (2018). Eccentric hamstring strength deficit and poor hamstring-to-quadriceps ratio are risk factors for hamstring strain injury in football: A prospective study of 146 professional players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(8), 789–793. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.017>
- Lee, S.-P., & Powers, C. M. (2014). Individuals with diminished hip abductor muscle strength exhibit altered ankle biomechanics and neuromuscular activation during unipedal balance tasks. *Gait & Posture*, 39(3), 933–938. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.12.004>
- Leonidas, P. (2015). A sportteljesítmény fizikai összetevő\Hoinek diagnosztikája. *Campus Kiadó, Debrecen.*
- Lloyd, D. G. (2001). Rationale for training programs to reduce anterior cruciate ligament injuries in Australian football. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 31(11), 645–654; discussion 661. <https://doi.org/10.2519/jospt.2001.31.11.645>

- Loturco, I., Pereira, L. A., Kobal, R., Abad, C. C. C., Komatsu, W., Cunha, R., Arliani, G., Ejnisman, B., Pochini, A. de C., Nakamura, F. Y., & Cohen, M. (2018). Functional Screening Tests: Interrelationships and Ability to Predict Vertical Jump Performance. *International Journal of Sports Medicine*, *39*(3), 189–197. <https://doi.org/10.1055/s-0043-122738>
- Macadam, P., Cronin, J., & Contreras, B. (2015). AN EXAMINATION OF THE GLUTEAL MUSCLE ACTIVITY ASSOCIATED WITH DYNAMIC HIP ABDUCTION AND HIP EXTERNAL ROTATION EXERCISE: A SYSTEMATIC REVIEW. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *10*(5), 573–591.
- Maniar, N., Cole, M. H., Bryant, A. L., & Opar, D. A. (2022). Muscle Force Contributions to Anterior Cruciate Ligament Loading. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *52*(8), 1737–1750. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01674-3>
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *18*(3), 551–555. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2)
- Markovic, G., & Jaric, S. (2005). Scaling of muscle power to body size: The effect of stretch-shortening cycle. *European Journal of Applied Physiology*, *95*(1), 11–19. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1385-5>
- McClymont, D. (2003). Use of the Reactive Strength Index (RSI) as an Indicator of Plyometric Training Conditions. In *Science and Football V*. Routledge.

- McElveen, M. T., Riemann, B. L., & Davies, G. J. (2010). Bilateral comparison of propulsion mechanics during single-leg vertical jumping. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), 375–381. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c06e0b>
- McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2011). The Role of Rate of Force Development on Vertical Jump Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(2), 379–385. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181be305c>
- Mills, J. D., Taunton, J. E., & Mills, W. A. (2005). The effect of a 10-week training regimen on lumbo-pelvic stability and athletic performance in female athletes: A randomized-controlled trial. *Physical Therapy in Sport*, 6(2), 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2005.02.006>
- Mitternacht, J., Hermann, A., & Carqueville, P. (2022). Acquisition of Lower-Limb Motion Characteristics with a Single Inertial Measurement Unit—Validation for Use in Physiotherapy. *Diagnostics*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12071640>
- Monteiro, R. L., Facchini, J. H., Freitas, D. G. de, Callegari, B., & João, S. M. A. (2017). Hip Rotations' Influence of Electromyographic Activity of Gluteus Medius Muscle During Pelvic-Drop Exercise. *Journal of Sport Rehabilitation*, 26(1), 65–71. <https://doi.org/10.1123/jsr.2015-0097>
- Moran, K. A., & Wallace, E. S. (2007). Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. *Human Movement Science*, 26(6), 824–840. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.05.001>

- Myer, G. D., Ford, K. R., McLean, S. G., & Hewett, T. E. (2006). The effects of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(3), 445–455. <https://doi.org/10.1177/0363546505281241>
- Neamatallah, Z., Herrington, L., & Jones, R. (2020). An investigation into the role of gluteal muscle strength and EMG activity in controlling HIP and knee motion during landing tasks. *Physical Therapy in Sport*, 43, 230–235. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.12.008>
- Nejishima, M., Urabe, Y., & Yokoyama, S. (2007). RELATIONSHIP BETWEEN THE KNEE VALGUS ANGLE AND EMG ACTIVITY OF THE LOWER EXTREMITY IN SINGLE - AND DOUBLE-LEG LANDING. *Journal of Biomechanics, Supplement 2*(40), S743. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(07\)70731-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(07)70731-5)
- Nemec, P., Milošević, M., Nemec, V., & Milošević, M. (2016). *PRODUCTION AND DEVELOPMENT OF MUSCLE FORCE IN ELITE MALE VOLLEYBALL PLAYERS' SPIKE*.
- Ohji, S., Aizawa, J., Hirohata, K., Ohmi, T., Mitomo, S., Koga, H., & Yagishita, K. (2021). Single-leg hop can result in higher limb symmetry index than isokinetic strength and single-leg vertical jump following anterior cruciate ligament reconstruction. *The Knee*, 29, 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2021.01.030>
- Oliver, G. D., & Keeley, D. W. (2010). Gluteal Muscle Group Activation and its Relationship With Pelvis and Torso Kinematics in High-School Baseball Pitchers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(11), 3015–3022. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c865ce>

- Palmieri-Smith, R. M., Wojtys, E. M., & Ashton-Miller, J. A. (2008). Association between preparatory muscle activation and peak valgus knee angle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *18*(6), 973–979. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.03.007>
- Pánics, G., Tállay, A., Pavlik, A., & Berkes, I. (2008). Effect of proprioception training on knee joint position sense in female team handball players. *British Journal of Sports Medicine*, *42*(6), 472–476. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.046516>
- Pappas, E., Hagins, M., Sheikhzadeh, A., Nordin, M., & Rose, D. (2007). Biomechanical Differences Between Unilateral and Bilateral Landings From a Jump: Gender Differences. *Clinical Journal of Sport Medicine*, *17*(4), 263–268. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31811f415b>
- Pérez-Castilla, A., Jiménez-Reyes, P., Haff, G. G., & García-Ramos, A. (2021). Assessment of the loaded squat jump and countermovement jump exercises with a linear velocity transducer: Which velocity variable provides the highest reliability? *Sports Biomechanics*, *20*(2), 247–260. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1540651>
- Permentier. (2015). Quadratus lumborum: Anatomy, physiology and involvement in back pain. *Journal of the Australian Traditional-Medicine Society*, *21*(4), 241–242. <https://doi.org/10.3316/informit.320560081751670>
- Perttunen, J., Kyrolainen, H., Komi, P. V., & Heinonen, A. (2000). Biomechanical loading in the triple jump. *Journal of Sports Sciences*, *18*(5), 363–370. <https://doi.org/10.1080/026404100402421>

- Pfile, K. R., Hart, J. M., Herman, D. C., Hertel, J., Kerrigan, D. C., & Ingersoll, C. D. (2013). Different exercise training interventions and drop-landing biomechanics in high school female athletes. *Journal of Athletic Training, 48*(4), 450–462. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-48.4.06>
- Phillips, S., Mercer, S., & Bogduk, N. (2008). Anatomy and biomechanics of quadratus lumborum. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine, 222*(2), 151–159. <https://doi.org/10.1243/09544119JEIM266>
- Porrati-Paladino, G., & Cuesta-Barriuso, R. (2021). Effectiveness of Plyometric and Eccentric Exercise for Jumping and Stability in Female Soccer Players—A Single-Blind, Randomized Controlled Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010294>
- Räisänen, A. M., Pasanen, K., Krosshaug, T., Vasankari, T., Kannus, P., Heinonen, A., Kujala, U. M., Avela, J., Perttunen, J., & Parkkari, J. (2018). Association between frontal plane knee control and lower extremity injuries: A prospective study on young team sport athletes. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine, 4*(1), e000311. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000311>
- Reschechtko, S., & Pruszynski, J. A. (2020). Stretch reflexes. *Current Biology, 30*(18), R1025–R1030. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.07.092>
- Richardson, M. C., Wilkinson, A., Chesterton, P., & Evans, W. (2020). Effect of Sand on Landing Knee Valgus During Single-Leg Land and Drop Jump Tasks: Possible Implications for ACL Injury Prevention and Rehabilitation. *Journal of Sport Rehabilitation, 30*(1), 97–104. <https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0306>

- Rinaldi, V. G., Prill, R., Jahnke, S., Zaffagnini, S., & Becker, R. (2022). The influence of gluteal muscle strength deficits on dynamic knee valgus: A scoping review. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 9(1), 81. <https://doi.org/10.1186/s40634-022-00513-8>
- Rodríguez-Rosell, D., Mora-Custodio, R., Franco-Márquez, F., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2017). Traditional vs. Sport-Specific Vertical Jump Tests: Reliability, Validity, and Relationship With the Legs Strength and Sprint Performance in Adult and Teen Soccer and Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(1), 196–206. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001476>
- Ruas, C. V., Pinto, R. S., Haff, G. G., Lima, C. D., Pinto, M. D., & Brown, L. E. (2019). Alternative Methods of Determining Hamstrings-to-Quadriceps Ratios: A Comprehensive Review. *Sports Medicine - Open*, 5(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0185-0>
- Salavati, M., Moghadam, M., Ebrahimi, I., & Arab, A. M. (2007). Changes in postural stability with fatigue of lower extremity frontal and sagittal plane movers. *Gait & Posture*, 26(2), 214–218. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.09.001>
- Schilaty, N. D., Bates, N. A., Krych, A. J., & Hewett, T. E. (2019). Frontal Plane Loading Characteristics of Medial Collateral Ligament Strain Concurrent With Anterior Cruciate Ligament Failure. *The American Journal of Sports Medicine*, 47(9), 2143–2150. <https://doi.org/10.1177/0363546519854286>
- Sendic, G. (2023). *Knee joint*. Kenhub. <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/the-knee-joint>

- Shah, A., & Bordoni, B. (2022). Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Gluteus Medius Muscle. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557509/>
- Shultz, R., Silder, A., Malone, M., Braun, H. J., & Dragoo, J. L. (2015). Unstable Surface Improves Quadriceps:Hamstring Co-contraction for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Strategies. *Sports Health*, 7(2), 166–171.
<https://doi.org/10.1177/1941738114565088>
- Shultz, S. J., Carcia, C. R., & Perrin, D. H. (2004). Knee joint laxity affects muscle activation patterns in the healthy knee. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(4), 475–483. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2003.11.001>
- Singh, A., Rout, J., Shenoy, S., & Sandhu, J. S. (2020). Neuromuscular Efficiency of Knee Stability after Anterior Cruciate Ligament Injury in Indian Endurance Athletes. *Archives of Medicine and Health Sciences*, 8(2).
- Sinsurin, K., Vachalathiti, R., Srisangboriboon, S., & Richards, J. (2020). Knee joint coordination during single-leg landing in different directions. *Sports Biomechanics*, 19(5), 652–664. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1510024>
- Solomonow, M., Baratta, R., Zhou, B. H., Shoji, H., Bose, W., Beck, C., & D'Ambrosia, R. (1987). The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *The American Journal of Sports Medicine*, 15(3), 207–213.
<https://doi.org/10.1177/036354658701500302>
- Suchomel, T. J., Sole, C. J., Bellon, C. R., & Stone, M. H. (2020). Dynamic Strength Index: Relationships with Common Performance Variables and Contextualization of

- Training Recommendations. *Journal of Human Kinetics*, 74, 59–70.
<https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0014>
- Tai, W.-H., Wang, L.-I., & Peng, H.-T. (2018). Biomechanical Comparisons of One-Legged and Two-Legged Running Vertical Jumps. *Journal of Human Kinetics*, 64, 71–76.
<https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0185>
- Taimela, S., Kujala, U. M., & Osterman, K. (1990). Intrinsic Risk Factors and Athletic Injuries. *Sports Medicine*, 9(4), 205–215. <https://doi.org/10.2165/00007256-199009040-00002>
- Takaki, S., Kaneoka, K., Okubo, Y., Otsuka, S., Tatsumura, M., Shiina, I., & Miyakawa, S. (2016). Analysis of muscle activity during active pelvic tilting in sagittal plane. *Physical Therapy Research*, 19(1), 50–57.
- Thompson, J. (2020). *The influence of eccentric hip abductor strength on knee valgus during a single leg drop landing in university netball players* [Undergraduate, University of Chichester]. <https://eprints.chi.ac.uk/id/eprint/5011/>
- Thompson, N. (2019). *Joint Mobility and Stability*. <https://www.acefitness.org/fitness-certifications/ace-answers/exam-preparation-blog/1189/joint-mobility-and-stability/>
- Toumi, H., Best, T. M., Pinti, A., Lavet, C., Benhamou, C. L., & Lespessailles, E. (2013). The role of muscle strength & activation patterns in patellofemoral pain. *Clinical Biomechanics*, 28(5), 544–548. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2013.04.005>
- Ueno, R., Navacchia, A., DiCesare, C. A., Ford, K. R., Myer, G. D., Ishida, T., Tohyama, H., & Hewett, T. E. (2020). Knee abduction moment is predicted by lower gluteus medius force and larger vertical and lateral ground reaction forces during drop vertical jump

in female athletes. *Journal of Biomechanics*, 103, 109669.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.109669>

Uhlár Á., Fodor E., & Lacza Z. (2019). A térd sérülések és a dinamikus térd valgus közötti kapcsolat feltárása. *Testnevelés, Sport, Tudomány*, 4(3–4), 16–22.
<https://doi.org/10.21846/TST.2019.3-4.2>

Vail, T. P., Lang, J. E., & Sikes, C. V. (2016, August 27). Surgical Techniques and Instrumentation in Total Knee Arthroplasty. *Musculoskeletal Key*.
<https://musculoskeletalkey.com/surgical-techniques-and-instrumentation-in-total-knee-arthroplasty-2/>

van der Krogt, M. M., Delp, S. L., & Schwartz, M. H. (2012). How robust is human gait to muscle weakness? *Gait & Posture*, 36(1), 113–119.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.01.017>

Verkhoshansky, N. (2012). Shock Method and Plyometrics. *CVASPS*.

Wang, L., Niu, W., Wang, K., Zhang, S., Li, L., & Lu, T. (2019). Badminton players show a lower coactivation and higher beta band intermuscular interactions of ankle antagonist muscles during isokinetic exercise. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 57(11), 2407–2415. <https://doi.org/10.1007/s11517-019-02040-8>

Warneke, K., Keiner, M., Department of Sport Science, German University of Health & Sport, Ismaning, Germany, Lohmann, L. H., Institute of Sports Science, Carl von Ossietzky University, Oldenburg, Germany, Hillebrecht, M., University Sports Center, Carl von Ossietzky University Oldenburg, Germany, Wirth, K., University of Applied Sciences Wiener Neustadt, Austria, Schiemann, S., & Institute for Exercise, Sport and Health,

- Leuphana University, Lüneburg, Germany. (2022). The Influence of Maximum Strength Performance in Seated Calf Raises on Counter Movement Jump and Squat Jump in Elite Junior Basketball Players. *Sport Mont*, 20(2), 63–68. <https://doi.org/10.26773/smj.220610>
- Weng, Y., Liu, H., Ruan, T., Yang, W., Wei, H., Cui, Y., Ho, I. M. K., & Li, Q. (2022). Effects of flywheel resistance training on the running economy of young male well-trained distance runners. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2022.1060640>
- Wilczyński, B., Zorena, K., & Ślęzak, D. (2020). Dynamic Knee Valgus in Single-Leg Movement Tasks. Potentially Modifiable Factors and Exercise Training Options. A Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218208>
- Willson, J. D., Dougherty, C. P., Ireland, M. L., & Davis, I. M. (2005). Core Stability and Its Relationship to Lower Extremity Function and Injury. *JAAOS - Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 13(5), 316–325.
- Yang, C., Best, T. M., Liu, H., & Yu, B. (2022). Knee biomechanical factors associated with patellofemoral pain in recreational runners. *The Knee*, 35, 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2022.02.007>
- Young, W., McLean, B., & Ardagna, J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35(1), 13–19.

Zazulak, B. T., Ponce, P. L., Straub, S. J., Medvecky, M. J., Avedisian, L., & Hewett, T. E. (2005). Gender Comparison of Hip Muscle Activity During Single-Leg Landing. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 35(5), 292–299. <https://doi.org/10.2519/jospt.2005.35.5.292>

11. PUBLIKÁCIÓS LISTA

A disszertáció alapjául szolgáló közlemények

Sebesi B, Fésüs Á, Varga M, Atlasz T, **Vadász K**, Mayer P, Vass L, Meszler B Balázs B, Váci M. (2021) The Indirect Role of Gluteus Medius Muscle in Knee Joint Stability during Unilateral Vertical Jump and Landing on Unstable Surface in Young Trained Males APPLIED SCIENCES-BASEL (2076-3417): 11 16 Paper: 7421. 10 p. (**Q2; IF: 2,838**)

Vadász K, Varga M, Sebesi B, Hortobágyi T, Murlasits Zs, Atlasz T, Fésüs Á, Váci M. (2023) Frontal Plane Neurokinematic Mechanisms Stabilizing the Knee and the Pelvis during Unilateral Countermovement Jump in Young Trained Males INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH 20 : 1 Paper: 220 (**Q2; IF: 4,614**)

A disszertáció témájához kapcsolódó magyar és idegen nyelvű konferenciaközlemények

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

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

Sebesi B, Nyisztorné Mayer P, Vass L, **Vadász K**, Varga M, Meszler B, Atlasz T, Váci 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, Meszler B, Atlasz T, Váci 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, Meszler 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, Meszler 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, Meszler 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, Meszler 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, Meszler 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.

Sebesi B, Varga M, Fésüs Á, Ivusza P, Gáspár B, **Vadász K**, Váczi M. (2022) A medence frontális síkban történő elmozdulásának hatása az unilaterális felugrási teljesítményre és a térdízületi stabilizációra = Effect of frontal plane pelvic tilt on unilateral jump performance and knee joint stabilization In: Prisztóka, Gyöngyvér; Kertai, Bendegúz (szerk.) XX. Szentágothai János Mutidiszciplináris Konferencia és Hallgatói Verseny Absztrakt kötet / XX. János Szentágothai Multidisciplinary Conference and Student Competition Book of Abstracts Pécs, Magyarország : PTE TTK Szentágothai János Szakkollégium, Tehetségpont és Egyesület 295 p. pp. 283-284. , 2 p.

Nem a disszertáció témájához kapcsolódó 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**)

Váczi M, Nyisztorné Mayer P, Vass L, **Vadász K**, Pozsgai M, Sebesi B, Meszler 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.

Nem a disszertáció témájához kapcsolódó magyar és idegen nyelvű konferenciaközlemények

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, Mészler B, Atlasz T, Váczi M. (2019) Gluteus medius, quadratus lumborum, 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.

Vadász K, Nyisztorné Mayer P, Vass L, Varga M, Sebesi B, Mészler B, Atlasz T, Váczi M. (2020) Medence és térdizület stabilizáló izmok mechanizmusa és aktivitása különböző terhelésű unilaterális felugrásnál MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 21. : 85 (3) pp. 99-99. , 1 p.

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.

Varga M, **Vadász K**, Ivusza P, Sebesi B, Fésüs Á, Gáspár B, Váczi M. (2021) A csípőízületi abductorok funkcionális és izolált bemelegítésének hatása a térdvalgusra MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 22. : 91(3) pp. 122-122. , 1 p.

Varga M, **Vadász K**, Ivusza P, Sebesi B, Fésüs Á, Gáspár B, Váczi M. (2022) A csípőízületi abduktorok funkcionális és izolált bemelegítésének hatása a medence frontális síkú stabilitására = The effects of functional and isometric hip-abductor warm up protocols in point of the frontal tilt of the pelvis In: Prisztóka, Gyöngyvér; Kertai, Bendegúz (szerk.) XX. Szentágothai János Mutidiszciplináris Konferencia és Hallgatói Verseny Absztrakt kötet / XX. János Szentágothai Multidisciplinary Conference and Student Competition Book of Abstracts Pécs, Magyarország : PTE TTK Szentágothai János Szakkollégium, Tehetségpont és Egyesület 295 p. pp. 287-288. , 2 p.

Fésüs Á, Prókai J, Malmos V, Kuszi A, **Vadász K**, Sebesi B, Ivusza P, Gáspár B, Murlasics Zs, Váczi M. (2022) Excentrikus abduktor edzés krónikus hatása a térd mediális irányba történő elmozdulásának csökkentésére = Chronic effect of eccentric abductor training on the medial direction of the knee to reduce the shift in treatment In: Prisztóka, Gyöngyvér; Kertai, Bendegúz (szerk.) XX. Szentágothai János Mutidiszciplináris Konferencia és Hallgatói Verseny Absztrakt kötet / XX. János Szentágothai Multidisciplinary Conference and Student

Competition Book of Abstracts Pécs, Magyarország : PTE TTK Szentágothai János Szakkollégium, Tehetségpont és Egyesület 295 p. pp. 277-278. , 2 p

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, Dr. Váczi Márknak a rengeteg iránymutatásért, az elmúlt évek alatt nyújtott segítségéért, valamint a kutatási téma felvetéséért.

Külön köszönettel tartozom kutatócsoportunk tagjainak és munkatársaimnak a sok közösen laborban eltöltött óráért, elemzésekért, ötletekért. (Sebesi Balázsnak, Varga Mátyásnak, Fésüs Ádámnak, Dr. Hortobágyi Tibornak, Dr. Murlasits Zsoltnak, Dr. Atlasz Tamásnak).

Továbbá köszönetet szeretnék mondani a kutatásban részt vett vizsgálati személyeknek, hallgatóknak, akik nélkül nem lehetett volna igazolni az elméleti feltevéseinket.

Szeretném megköszönni a több, mint 35 éves atléta pályafutásom alatt velem foglalkozó sportszakemberek, edzők munkáját, külön szeretném kiemelni Salamon Zoltánt, Henyecz Lászlót (anno TBSC, Tatabánya), akik elindítottak sportpályafutásomon és Ferenczi Imrét (anno PAC, PVSK Pécs), aki folytatta azt.

Végül, de nem utolsó sorban szeretném hálásan megköszönni szüleimnek, családomnak a sok támogatást, biztatást, segítséget, hogy mindvégig mellettem álltak és biztattak a PhD éveim alatt.