

A csípőízületi abduktor izmok excentrikus edzésének preventív hatása a dinamikus térdvalgus kialakulására

Bevezetés

A sportolók egészségének védelmében az egyik legfontosabb szempont a módosítható sérülési-kockázati tényezők felismerése és olyan prevenciós stratégiák kialakítása, melyek ezeknek a tényezőknek a minimalizálásával csökkentik a sérüléseket. Nagy mintát feldolgozó vizsgálatok alapján elmondható, hogy a sportsérülések leggyakrabban (67%) az alsó végtagot érintik, azon belül közel minden harmadik sportsérülés a térdízületre lokalizálódik (Habelt et al., 2011). Mivel a térdízület stabil helyzetének fenntartásáért 85%-ban az elülső keresztszalag (*anterior cruciate ligament*, ACL) felelős, ezért az ACL-t a térd elsődleges passzív stabilizátorának tartjuk (T. Liu. Ambrose, 2003). Az ACL elsődleges feladata a *tibia* anterior irányba történő elmozdulásának megakadályozása (T. Liu. Ambrose, 2003). A nők háromszor gyakrabban szenvednek műtétet igénylő térd sérülést, mint a férfiak, és ez a sérülés kétszer gyakrabban történik non-kontakt szituációkban, mint a férfiaknál (Joseph et al., 2011; Waldén et al., 2011; Zebis et al., 2011). Ennek hátterében olyan tényezők állhatnak, mint a nők eltérő szalaglazasága (LaPrade & Burnett, 1994), csontanatómiája (szélesebb medence) (LaPrade & Burnett, 1994) vagy gyengébb izomzata (Laubach, 1976). Mind a sportoló, mind a sportklub számára növekvő terhet jelentenek a sportsérülést követő, hosszabb-rövidebb ideig (átlagosan 11 hét) tartó kihagyások, valamint az egészségügyi ellátások költségei (Rosa et al., 2014; Saltzman et al., 2016). Bár az elmúlt 30 évben jelentős előrelépés történt az ACL sérülésmegelőzési programok kutatásában, egy új metaanalízis azt mutatja, hogy az ACL sérülések minden sportágban mérsékelhetők, de további kutatásokra van szükség mind az ACL sérülésekhez vezető kockázati tényezők megértéséhez, mind a megfelelő megelőző programok létrehozásához (Arundale et al., 2022).

Az ízület stabilitását az aktív (izmok), illetve a passzív (ízületi szalagok, ízületi tok) stabilizátorok határozzák meg. Az passzív stabilizátorok teherbírási képessége véges, ezért kiemelten fontos az aktív stabilizátorok megfelelő erőssége és működése, amivel hozzájárulnak a passzív stabilizátorok épségének megőrzéséhez (Chappell et al., 2007; Hertel, 2002). A térdízület stabilitását a térdextensorok és térdflexorok mellett a csípőízületi abduktorok is segítik (Kim, 2016). Az ACL-t érintő sérülések a leggyakrabban egyoldalú támaszhelyzetekben (Agel et al., 2005; Dai et al., 2015) az esetek közel kétharmadában non-kontakt módon (Agel et al., 2005; Boden & Sheehan, 2022) a térd fokozott valgus helyzetbe kerülése során (Mauntel et al., 2014) következnek be. A valgus kialakulása és az ACL terhelés közötti kapcsolatot

korábban már kimutatták (Fukuda et al., 2003; Markolf et al., 1995). A mozgások során kialakuló valgust a szakirodalom dinamikus térdvalgusnak (későbbiekben: DTV) nevezi.

A csípőabduktorok már járás során is kiemelten fontos szerepet töltenek be. Van der Krogt és munkatársai (2012) egy normál járás izomvezérelt szimulációt dolgoztak ki, mely során azt vizsgálták milyen mértékben gyengíthetők az alsó végtagok izmai, mielőtt a normális járás sérülne. A modellezés során fokozatosan gyengítették az összes fő izomcsoportot, egyenként és egyszerre, hogy felmérjék, mekkora gyengeséget lehet elviselni, mielőtt a normál járás végrehajtása lehetetlenné válik. A járás kinematikája érzékenyebb volt a csípő abduktorok (pl.: m. gluteus medius) gyengeségére, mint más izomcsoportok gyengeségére. A csípőabduktorok 100%-os elgyengítése esetében a járás lehetetlenné vált, de a modellezés során olyan helyzet is előállt, amikor 60-80%-os csípőabduktor gyengítésnél a modell avatár nem volt képes járni. A legtöbb izomcsoportot körülbelül 80%-al lehetett gyengíteni, vagy teljesen meg is lehetett szüntetni, miközben a normális járás kinematikáját még mindig lehetővé tette.

A végtagok helytelen mozgás során megfigyelt biomechanikája előre jelezheti a jövőbeli sérülések kockázatát. Számos teszt létezik a magas kockázatú mozgásminták szűrésére. A DTV vizsgálatára a legelterjedtebb teszt a kétlábás függőleges felugrás- és leérkezés teszt (Wilczyński et al., 2020). Az ACL-terheléssel kapcsolatos rendellenességek felmérésére egy lábás felugrás- és leérkezés teszteket alkalmaznak (Ali et al., 2013; Lyle et al., 2014; Wilczyński et al., 2020), mivel ACL sérülés leggyakrabban egy lábás leérkezések és kitámasztások során következik be (Wilczyński et al., 2020). A kétlábás és egy lábás motoros feladatok eltérő mértékben veszik igénybe a csípőabduktorok által végzett excentrikus munkát. Egy lábás motoros feladatok során nagyobb excentrikus munkát kell végezni a támaszláb csípőabduktorainak, hogy ellenálljanak a femorális addukciónak (Wilczyński et al., 2020). A guggolás teszt sebessége és külső terhelése eltér a felugrás, illetve leérkezés sebességétől, így ezen mozgásminták közti különbségek eltérő eredményt okozhatnak a kialakuló DTV szögét illetően (Donohue et al., 2015; Yamazaki et al., 2010). Egyes vizsgálatok megerősítik a DTV korrelációját egy lábás guggolás- és leérkezés és kétlábás leérkezés között (Harty et al., 2011; Munro et al., 2017; Taylor et al., 2016), azonban Munro és munkatársai (2017) szignifikánsan nagyobb DTV-t figyeltek meg az egy lábás tesztnél, ami arra utal, hogy a kétlábás tesztek nem megfelelően azonosítják a sérülések kockázatát azon sportágaknál, amelyeknél az elsődleges sérülési mechanizmusok egyoldalú terheléses szituációban keletkeznek. Ezek alapján az ACL sérülések kockázatának vizsgálatához az egy lábás tesztek alkalmazása szükséges.

Napjainkig több vizsgálat mutatott ki kapcsolatot főként nőknél egy láb feladatok (guggolás, felugrás, leékezés) során a gyenge csípőabdukciós erő/aktivitás és a DTV mértéke között (Kagaya et al., 2015; Neamatallah et al., 2020; Suzuki et al., 2015). Egy új vizsgálat során negatív korrelációt mutattak ki gluteus medius izom aktivitásának mértéke ($r = -0,5$, $p < 0,05$) és az egy láb felugrás közben keletkező DTV szög mértéke között (Vadász et al., 2022).

A kialakuló DTV a megnövekedett ACL-sérülési kockázat mellett a combcsont helytelen helyzete (a térd összecsuklása) biomechanikailag hátrányos lehet a CMJ típusú felugrás során az erőtermelés irányában. Ezt megerősítik azok a vizsgálatok, amelyek szerint a csípőízületi abduktorok fáradtsága megváltoztatja a bokaízület kinematikáját (Gafner et al., 2018), rontja a helyes testtartás kontrollálását (Salavati et al., 2007), és növeli a medial-laterális nyomásközéppont elmozdulását (S.-P. Lee & Powers, 2014), ami hozzájárul a bizonytalan egyensúlyozáshoz és a csökkent vertikális talajreakciós erőhöz az egyoldalú CMJ során.

A DTV kialakulásának mechanizmusa tehát jól ismert, mégis korlátozott számú kutatás vizsgálja annak mérséklését célzó edzésmódszerek vagy konkrét edzésgyakorlatok hatékonyságát. A DTV elkerülésére irányuló különböző rezisztencia edzésen alapuló (különös tekintettel a csípőabduktor izmokra), mozgástanuláson alapuló (funkcionális gyakorlatok valós idejű biofeedbackkel a végtagok megfelelő helyzetére vonatkozóan), valamint a kombinált (funkcionális erősítő gyakorlatok, egyensúlygyakorlatok valós idejű biofeedbackkel, vagy anélkül) edzésprogramok csökkenthetik a térd valgus szögét, ezáltal a sérülések kockázatát (Wilczyński et al., 2020). Valós idejű biofeedbackkel kiegészített gyakorlatok számos vizsgálat során hatékonyak bizonyultak (Dawson & Herrington, 2015; J. H. Lee et al., 2022; Marshall et al., 2020). A kombinált (funkcionális erősítő gyakorlatok) edzésprogramok egyes kutatások során (Emamvirdi et al., 2019; Hopper et al., 2017; J. H. Lee et al., 2022; Myer et al., 2005) csökkentették, míg más kutatások során (Palmer et al., 2015) nem változtatta a térd valgus mértékét. Erő edzésen alapuló edzésprogramok hatékonysága szintén eltérő volt. Dawson és Herrington (2015) edzésprogramjával sikerült csökkenteni a térd valgus mértékét (ugyan, egy láb guggolás tesztek során, ami a szakirodalom alapján nem megfelelő az ACL sérülés szűrés szempontjából), míg Palmer és munkatársai (2015) által végzett vizsgálat során változatlan maradt.

Az eddig alkalmazott edzésmódszerek, tehát eltérő hatást értek el a DTV mérséklésében. A csípőízületi abduktor izmok felugrások, leékezések, illetve kitámasztások során excentrikus kontrakcióval csökkentik a térd medialis irányba történő elmozdulását (Neumann, 2016), ennek ellenére excentrikus csípőabduktor izomcsoportot célzó edzésprogram DTV-ra gyakorolt hatását még nem vizsgálták. Korábbi kutatások bizonyítják azt a módspecifitást, hogy az

excentrikus kontrakciókkal végzett edzés kedvezőbb hatással van az excentrikus erő fejlődésére, mint a koncentrikus erő kifejtésre, ezzel szemben a koncentrikus kontrakciókból álló edzés a koncentrikus erő kifejtést fejleszti szemben az excentrikus erő kifejtéssel (Fridén et al., 1983; Higbie et al., 1996; Hortobágyi et al., 1996). Az eddigi erősítő edzésprogramok során minden esetben szubmaximális terhelést alkalmaztak.

Célkitűzés

Jelen vizsgálat célja az volt, hogy összehasonlítsa a négy héten át tartó maximális excentrikus és koncentrikus erő kifejtéseket tartalmazó csípőabdukcós erőedzés hatását a csípőabdukción csúcsnyomatékra, a CMJ típusú egylábos felugrás és az egylábos leérkezés közben kialakuló DTV-ra, valamint a CMJ típusú egylábos felugrás impulzusára. Feltételeztük, hogy: H1) Mindkét edzés módszer növelni fogja az excentrikus csípőabdukción forgatónyomatékot, de a növekedés mértéke edzés módszer specifikus lesz (excentrikus-koncentrikus). H2) Az excentrikus edzés a koncentrikus edzéshez képest nagyobb mértékben csökkenti a DTV-t. H3) Az edzés hatására bekövetkező DTV csökkenésének mértéke összefügg az excentrikus forgatónyomaték növekedésével. H4) Az edzés hatására bekövetkező DTV csökkenésének mértéke összefügg a felugrási impulzus növekedésének mértékével.

Anyagok és módszerek

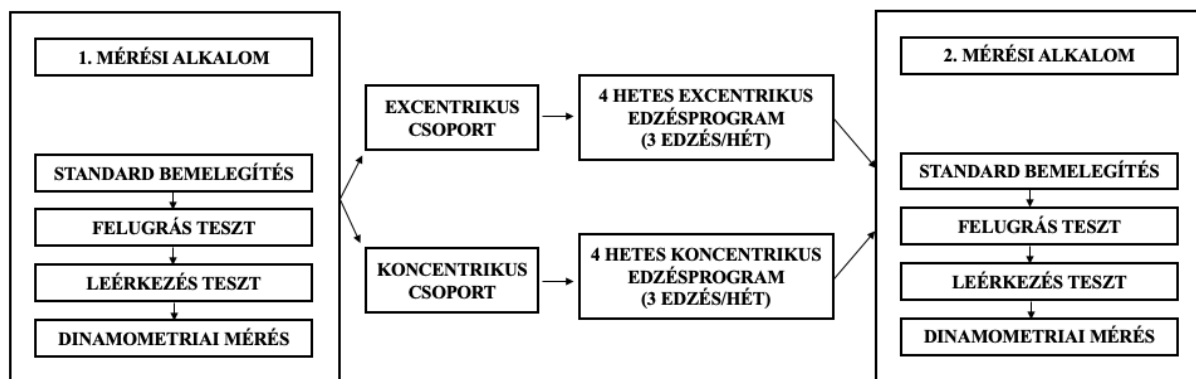
Vizsgálati személyek

Vizsgálatunkra szórólapok közzétételével az egyetemi közösségi táblákon, tanulmányi közösségi médiában való meghirdetéssel és az egyetemi előadások/edzések kezdetén toboroztunk egészséges, aktívan sportoló nőket. Egy a-priori mintaméret-számítás (G-power 3.19.7) közepes hatásméretet megcélózva (részleges eta négyzet = 0,06 és hatvány 0,80) kimutatta, hogy a vizsgálathoz 12 főre volt szükség. Kizárási kritériumok közé tartozott a gerinc-, csípő-, térd- és bokaízületek jelenlegi sérülései és múltbeli műtétei, vagy ortopédiai eredetű fájdalom. A vizsgálatban olyan 18-30 év közötti női sportolók vettek részt, akiknél az első mérési alkalommal a felugrás és leérkezés teszt során legalább 5°-os DTV volt mérhető (így a kiindulási értékek esetében a legkisebb valgussal rendelkező vizsgálati személy 6,8°-os DTV szöggel rendelkezett). Vizsgálatunkban 20 aktívan sportoló nő vett részt (átlagéletkor: $21,3 \pm 2,51$ év, átlag testmagasság: $167,8 \pm 5,76$ cm, átlag testtömeg: $60,60 \pm 6,17$ kg). A vizsgálati személyek $15,37 \pm 3,32$ éve sportolnak különböző talajkontakt sportokban (tánc: 10 fő, atlétika: 4 fő, kosárlabda: 3 fő, kézilabda: 1 fő, labdarúgás: 1 fő, vívás: 1 fő) és jelenleg átlagosan hetente $6,26 \pm 2,42$ órát töltenek edzéssel. A vizsgálatban résztvevők végeztek már

erő edzést, vagy saját testsúlyos erőfejlesztést. Vizsgálatunkat megelőzően megkértük a vizsgálati személyeket, hogy közvetlenül a vizsgálatot megelőző napokban és a vizsgálat ideje alatt ne végezzenek a laboratóriumunkban elvégzett edzésprogram mellett semmiféle erősítő hatású edzést. A vizsgálati személyek nem ismerték a laboratóriumi gépeket, tesztfeladatokat, ezért a vizsgálatot megelőzően egy gyakorláson vettek részt, ahol ismertetésre és kipróbálásra kerültek a vizsgálat tesztjei. A vizsgálatot az Egyetemi Etikai Bizottság jóváhagyta (ügyiratszám: 7961).

Vizsgálati protokoll

A vizsgálat 5 hétből állt (1. ábra). A tesztelés sorrendje a következő volt: 1. mérési alkalom, 4 hét edzés, 72 óra pihenőidő, 2. mérési alkalom. A vizsgálati személyek a mérési alkalmakat standardizált bemelegítéssel kezdték, amely 5 perc alacsony intenzitású kerékpározásból és egy nyújtó hatású gimnasztikai gyakorlatsorból állt. A bemelegítést követően egylábás guggolás teszt során vizuális úton kiválasztásra került az instabilabb alsó végtag/térdízület, amely a későbbiek során felmérésre került. Ezt követett egy előzetes súlypontosüllyesztéssel végrehajtott egylábás felugrás (counter movement jump, CMJ), valamint egy dobozról történő egylábás leérkezés teszt. Felmértük továbbá dinomométeren az excentrikus csípőabdukciós forgatónyomatékokot.



1. ábra: Vizsgálati protokoll a 4 hétig tartó excentrikus és koncentrikus csípőabdukciós izomcsoportot célzó edzés csípőabdukciós forgatónyomatékra, dinamikus térd valgusra, valamint felugrási impulzusra gyakorolt hatásának vizsgálatára.

Az első mérési alkalmat követően kiértékelésre kerültek a vizsgálatban résztvevők vizsgált változóinak kiindulási értékei. Rangsoroltuk a vizsgálatban résztvevőket az excentrikus forgatónyomaték, a 2 valgus és a felugrási impulzus változó tekintetében. A 4 rangsorolás során kapott sorszámot összeadtuk, ami alapján kialakult egy sorrend a vizsgálatban résztvevők között (legkevesebb pontszám első, legtöbb pontszám utolsó). Az összesített rangsor szerinti

minden páros sorszámú vizsgálati személy az excentrikus csoportba, minden páratlan sorszámú vizsgálati személy a kontroll csoportba került. Ezzel a módszerrel 2 azonos csípőabdukciós forgatónyomatékkal (excentrikus forgatónyomaték: $p = 0,88$), dinamikus térdvalgussal (felugrás teszt DTV: $p = 0,59$, leérkezés teszt DTV: $p = 0,66$) és felugrási impulzussal ($p = 0,57$) rendelkező csoportot hoztunk létre: excentrikus edzést és koncentrikus edzést végző csoport (1. táblázat). Minden excentrikus csoportba kerülő vizsgálati személynek megvolt a nagyjából azonos szintű, koncentrikus csoportba kerülő párja. A pár két tagja között a 4 hét során folyamatosan kiegyenlítésre került az edzésterhelés (edzésen elvégzett mechanikai munka joule-ban). Egységesen az utolsó edzéstől számított 72 óra elteltével került sor a 2. mérési alkalomra, ahol ismételten végrehajtásra kerültek az első mérési alkalommal elvégzett tesztek.

1. táblázat: A vizsgálati személyek deskriptív adatai.

	Excentrikus csoport (n=10)	Koncentrikus csoport (n=10)	p
Életkor (év)	21,9 ± 1,73	20,8 ± 3,09	0,405
Testmagasság (cm)	167,1 ± 5,45	168,5 ± 6,28	0,650
Testtömeg (kg)	60,42 ± 5,63	60,78 ± 6,97	0,907
Sporttal töltött évek száma (év)	15,88 ± 3,10	14,9 ± 3,60	0,948
Heti edzés (óra/hét)	6,22 ± 2,43	6,30 ± 2,55	0,697

CMJ típusú egylábos felugrás teszt

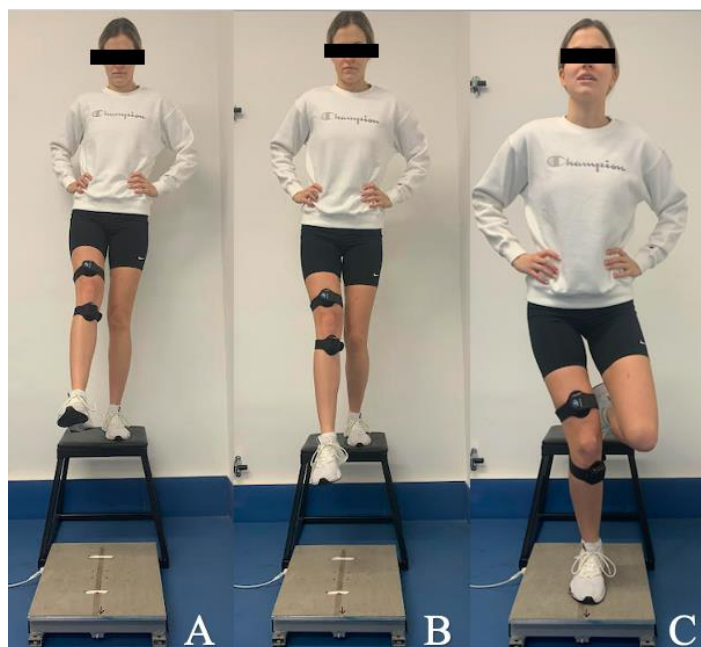
A vizsgálati személyek a CMJ típusú egylábos felugrásokat Tenzi erőplaton (Tenzi Kft., Pilisvörösvár, Magyarország) hajtották végre (2. ábra). A résztvevők egy lábon álltak az erőplaton, majd azt az utasítást kapták, hogy a kezüket csípőre tartva a lehető legmagasabbra próbáljanak meg felugrani. Az ugrás stratégiájára vonatkozóan nem adtunk utasításokat. A résztvevők 3 ismétlés CMJ típusú egylábos felugrást végeztek, az ugrások között 2 perc pihenőidővel. A felugrások során a kialakuló DTV mértékét, valamint az erőplatóra kifejtett vertikális erőt mértük.



2. ábra: Tenzi típusú erőplaton végrehajtott CMJ típusú egylábos felugrás kiindulóhelyzete (A), súlypontosüllesztése (B), és felugrása (C).

Egylábos leérkezés teszt

Leérkezések során a vizsgálatban résztvevőknek 18 hüvelyk magas pliometrikus dobozról (Capital Sports Plyo Crew Box) kellett az erőplatóra leérkezniük (3. ábra). A résztvevők egy lábon álltak a dobozon. A vizsgált lábukat előre (az erőplató fölé) nyújtva, kezüket csípőre tartva várták az utasítást a leérkezés megkezdésére. A résztvevők azt az utasítást kapták, hogy a kiinduló helyzet támaszlábával történő előzetes térdhajlítás/súlypontosüllesztés nélkül az előrenyújtott lábukkal érkezenek az erőplatóra, majd 5 másodpercig tartásuk meg a stabil támaszhelyzetüket. A vizsgálati személyek 3 ismétlés egylábos leérkezést végeztek, a leérkezések között 2 perc pihenőidővel. A leérkezések során a DTV-t vizsgáltuk.



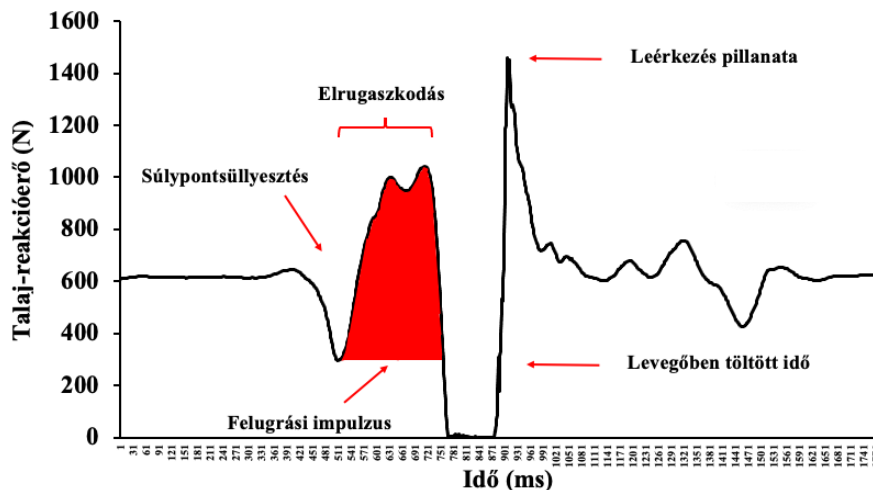
3. ábra: A leérkezés kiindulóhelyzete a dobozon (A), lelépés megkezdése (B), talajfogás, támaszhelyzet megtartása 5 másodpercen keresztül (C).

Kinematikai elemzések

Felugrások és leérkezések során a térdkinematika vizsgálatára háromdimenziós vezeték nélküli Noraxon MyoMotion mozgáskövető rendszert (Noraxon Inc., Scottsdale, AZ, USA, mintavételi frekvencia: 100 Hz.) használtunk. Az mozgáskövető szenzor combra és lábszárra történő felhelyezéséhez és kalibrálásához a gyártó ajánlásait követtük (www.noraxon.com). A szenzorok mindhárom síkban orientációs szögeket szolgáltatnak az idő függvényében. A combra helyezett szenzorral a felugrás és leérkezés tesztek során képesek voltunk számszerűsíteni a frontális síkban mért DTV nagyságát. A térdízületi szögadatokat a két (a lábszárra és a combra helyezett) szenzor egymáshoz viszonyított szögéből nyertük. Az adatelemzés során a maximális DTV meghatározásához a súlypont süllyesztés megkezdése és az elrugaszkodás vége közti értékeket vettük számításba.

CMJ típusú egylábas felugrás propulzív impulzusának meghatározása

A felugrás teszt során a vizsgálati személyek a Tenzi típusú erőplatóról (Tenzi Kft., Pilisvörösvár, Magyarország, mintavételi frekvencia: 420 Hz) rugaszkodtak el felfele, majd az erőplatóra érkeztek vissza. Az erőplatóra kifejtett vertikális talajreakciós erőt 420 Hz-es mintavételi frekvenciával rögzítettük, majd az erő-idő görbéből felugrási impulzust számoltunk, amit a vizsgálati személyek testtömegéhez normalizáltunk (4. ábra).



4. ábra: A felugrás során rögzített értékek alapján elkészített talaj-reakcióerő- idő görbe 420 Hz-es mintavételi frekvencia mellett. A pirossal kijelölt tartományból az erő-idő görbéből felugrási impulzust számoltunk, amit a vizsgálati személyek testtömegéhez normalizáltunk.

Maximális csípőízületi abdukciós forgatónyomaték mérése

A forgatónyomaték méréséhez Multicont II. számítógép vezérlésű dinamométert (Multicont II, Mediagnost, Budapest és Mechatronic Kft, Szeged, Magyarország, mintavételi frekvencia: 1000 Hz) használtunk. Vizsgálatunk során a maximális excentrikus csípőabdukciós forgatónyomatékokat mértük fel. A mérés során a vizsgálati személyek a dinamométeren oldalfekvésben (a vizsgált lábbal ellentétes oldalon) helyezkedtek el. A vizsgálati személyeknek a mérését megelőzően 2 szubmaximális (60% és 80%) bemelegítő jellegű próbára volt lehetőségük. A bemelegítő méréseket követően a vizsgálati személyeket arra utasítottuk, hogy maximális erőfeszítést végezzenek. Az excentrikus kontrakció kezdő ízületi szöghelyzete - 23 fokos csípőízületi szöghelyzetben volt. A vizsgálati személyek általi 20 Nm küszöb-forgatónyomaték kifejtésekor a dinamométer karja állandó szögsebességgel (10 fok/s) közelítette a csípőízületet (combcsontot), miközben a vizsgálati személyeknek maximális erővel ellen kellett tartaniuk a végszöghelyzet (0 fok) eléréséig. A vizsgálati személyeknek 2 maximális kontrakciót kellett végrehajtani, melyek között 2 perc pihenőidőre volt lehetőség. A résztvevők maximális erőfeszítésének biztosítása érdekében szóbeli ösztönzést adtunk. A statisztikai elemzés során a két érték közül a nagyobbik forgatónyomaték értéket vettük figyelembe.

Csípőízületi abduktor edzésprogram

Az első mérési alkalmat követően mindkét csoport hetente háromszor csípőabdukciós edzést végzett dinamométeren, összesen négy hétig. Az excentrikus csoport edzésenként 4x10 maximális excentrikus kontrakciót, míg a koncentrikus csoport 4x10 $\pm$ x maximális koncentrikus kontrakciót hajtott végre. A koncentrikus csoportnál tehát edzésről edzésre manipuláltuk az ismétlésszámot azért, hogy a két csoport mechanikai munkavégzése kiegyenlítésre kerüljön (pl. ha az excentrikus csoport egyik tagja az előző edzésen 200 Joule-lal több munkát végzett, mint a koncentrikus csoportban lévő párja, akkor a következő edzésen a koncentrikus csoportban lévő párja 200 Joule-nyi kontrakcióval többet hajtott végre). A sorozatok között 5 perces pihenőidő volt. A kontrakciók kiindulási- és véghelyzete, valamint szögsebessége megegyezett a dinamikus csípőabdukciós forgatónyomaték mérésnél alkalmazottakkal.

Statisztikai elemzések

Az adatokat átlag $\pm$ szórás formában mutatjuk be. Minden változó eloszlását a Shapiro-Wilk teszt segítségével ellenőriztük. Ha egy változó nem normál eloszlást mutatott, az elemzésekhez log-transzformált adatokat használtunk, de a nem transzformált adatokat mutatjuk be. A csoport (excentrikus, koncentrikus) és az idő (pre, post) interakciójának vizsgálatára kétszemponthus varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztunk. Szignifikáns kölcsönhatás esetén Tukey-féle post-hoc összehasonlítást végeztünk. A forgatónyomaték egyéni változásainak és a DTV helyzet változásainak korrelációjával feltártuk a DTV viselkedés edzéshez való alkalmazkodásának lehetséges mechanizmusát. A DTV helyzet egyéni változásainak és a felugrási impulzus változásainak korrelációjával pedig a DTV változása és a felugrási impulzus változása közti kapcsolatot vizsgáltuk. A csoportok közötti különbséget, vagy az időbeni változásokat továbbá Cohen-féle effect size, azaz hatás mérettel jellemeztük. A szignifikancia szintet $p < 0,05$ -ben határoztuk meg.

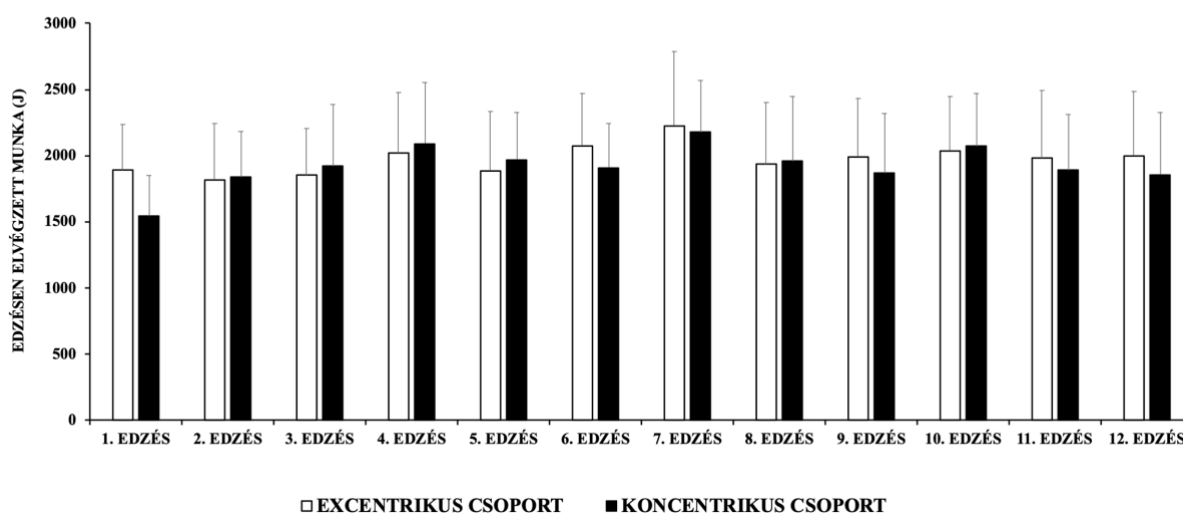
Eredmények

Csoportok között vizsgált változók kiindulási értékei

Az egylábas felugrás közbeni DVK kivételével minden vizsgált változó normál eloszlású volt a Shapiro-Wilk teszt alapján. A DTV esetében az elemzést a nem normális eloszlás miatt a log-transzformált adatokon végeztük. A két csoport nem különbözött a kiindulási értékekben (excentrikus csípőabdukciós forgatónyomaték: $p = 0,88$, DTV egylábas felugrás: $p = 0,59$ és egylábas leérkezés: ($p = 0,66$) közben, felugrási impulzus: $p = 0,57$).

Csípőízületi abdukciós edzés terhelése

A két csoport edzésenként elért mechanikai munkavégzése egyetlen edzés esetében sem különbözött ($F = 0.137$, $p = 0.715$) (5. ábra).



5. ábra: Az excentrikus és a koncentrikus csoport által edzésenként átlagosan elvégzett mechanikai munka Joule-ban kifejezve. Az oszlopokon megjelenő függőleges vonalak a szórást jelölik.

Maximális csípőízületi abdukciós forgatónyomaték

Szignifikáns idő fő hatást ($F = 39,7$, $p < 0,001$) találtunk a maximális excentrikus csípőabdukciós forgatónyomaték esetében (2. táblázat). A csoport és idő interakciója nem volt szignifikáns ($p > 0.05$). Ez azt jelenti, hogy az excentrikus és a koncentrikus edzésmódszer hasonlóan javította az excentrikus csípőabdukciós forgatónyomatékot. A 2. táblázat az egyes változók Cohen-féle hatásméreteit is mutatja az excentrikus ($d = 1,51$) és a koncentrikus ($d = 1,46$) edzéscsoporton belül.

2. táblázat: Az excentrikus és a koncentrikus edzésmódszer csípőabdukciós forgatónyomatékra gyakorolt hatása.

Változók	Csoport	1. mérés, Átlag ± szórás	2. mérés, Átlag ± szórás	Δ , abs	Δ , %	d	ANOVA			
							Idő fő hatás		Csoport x idő interakció	
							F	p	F	p
Excentrikus csípőabdukciós forgatónyomaték (Nm)	EXC (n=10)	122,78 ± 16,47	147,67 ± 35,59	24,89	20,27	1,51	39,66	0,000	1,224	0,284
	KON (n=10)	124,40 ± 24,33	159,90 ± 25,65	35,50	28,54	1,46				

d, Cohen-féle hatásméret a korrelált mintákra vonatkozóan a pre és post közötti időszakban

EXC, Excentrikus kontrakcióval edző csoport

KON, Koncentrikus kontrakcióval edző csoport

Dinamikus térd valgus szög

A felugrás során keletkező DTV esetében az elemzést a nem normális eloszlás miatt a log-transzformált adatokon végeztük. Mind az egylábás felugrás ($F = 30,3$, $p < 0,0001$), mind a leérkezés ($F = 14,8$, $p = 0,001$) során keletkező DTV esetében szignifikáns idő fő hatást találtunk. Ezek a változások -39,92% és -78,11% az excentrikus és -21,94% és -36,84% a koncentrikus csoportban (3. táblázat). A 3. táblázat az egyes változók hatásméreteit is mutatja az egyes edzéscsoportokon belül. Ezek az értékek az excentrikus csoportban $d = -0,88$ és $d = -1,09$, a koncentrikus csoportban pedig $d = -0,30$ és $d = -0,74$.

A csoport és az idő közötti kölcsönhatás szignifikáns egylábás felugrás során keletkező DTV esetében ($F = 8,7$, $p = 0,016$) (3. táblázat). A post-hoc elemzés kimutatta, hogy a DTV az excentrikus edzés hatására szignifikánsan csökkent ($p = 0,02$), a koncentrikus edzés hatására változatlan maradt.

Nem volt szignifikáns a csoport és az idő közötti kölcsönhatás egylábás leérkezés során keletkező DTV esetében ($F = 3,9$, $p = 0,066$). A post-hoc elemzések azt mutatták, hogy a felugrás során keletkező DTV az excentrikus csoportban szignifikánsan csökkent ($p = 0,001$), míg a koncentrikus edzést végzők esetében a csökkenés nem volt szignifikáns ($p = 0,051$).

3. táblázat: Az excentrikus és a koncentrikus edzésmódszer DTV-re gyakorolt hatása.

Változók	Csoport	1. mérés, Átlag ± szórás	2. mérés, Átlag ± szórás	Δ , abs	Δ , %	d	ANOVA			
							Idő fő hatás		Csoport x idő interakció	
							F	p	F	p
DKV mértéke egylábás felugrás során (°)	EXC (n=10)	17,56 ± 10,72	10,55 ± 9,2	-7,01	-39,92	-0,88	30,32	0,000	8,68	0,016
	KON (n=10)	15,50 ± 6,34	12,10 ± 6,72	-3,4	-21,94	-0,30				
DKV mértéke egylábás leérkezés során (°)	EXC (n=10)	20,10 ± 14,39	4,4 ± 4,67	-15,70	-78,11	-1,09	14,77	0,001	3,859	0,066
	KON (n=10)	20,90 ± 10,47	13,20 ± 9,04	-7,70	-36,84	-0,74				

d, Cohen-féle hatásméret a korrelált mintákra vonatkozóan a pre és post közötti időszakban

EXC, Excentrikus kontrakcióval edző csoport

KON, Koncentrikus kontrakcióval edző csoport

Felugrási impulzus

Az egylábás felugrás során keletkezett felugrási impulzusnál szignifikáns idő fő hatást ($F = 5,1$, $p = 0,039$) találtunk (4. táblázat), vagyis a csípőabdukción edzés a felugrási impulzus növekedését eredményezte felugrások során, független az edzés típusától. Az idő és a csoport interakciója nem volt szignifikáns (4. táblázat).

4. táblázat: Az excentrikus és a koncentrikus edzésmódszer felugrási impulzusra gyakorolt hatása.

Változók	Csoport	1. mérés, Átlag ± szórás	2. mérés, Átlag ± szórás	Δ , abs	Δ , %	d	ANOVA			
							Idő fő hatás		Csoport x idő interakció	
							F	p	F	p
Felugrási impulzus egylábasfelugrás során (N·s/kg)	EXC (n=10)	0,33 ± 0,054	0,36 ± 0,07	0,03	9,09	0,56	5,079	0,039	0,130	0,723
	KON (n=10)	0,34 ± 0,05	0,36 ± 0,04	0,02	5,88	0,40				

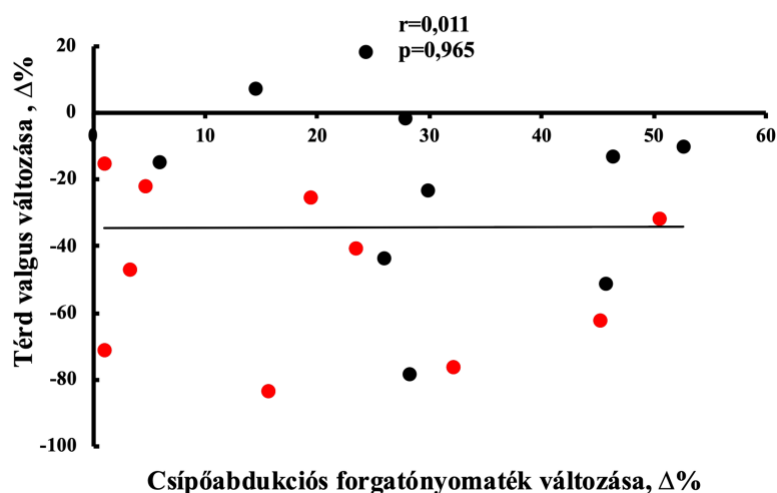
d, Cohen-féle hatásméret a korrelált mintákra vonatkozóan a pre és post közötti időszakban

EXC, Excentrikus kontrakcióval edző csoport

KON, Koncentrikus kontrakcióval edző csoport

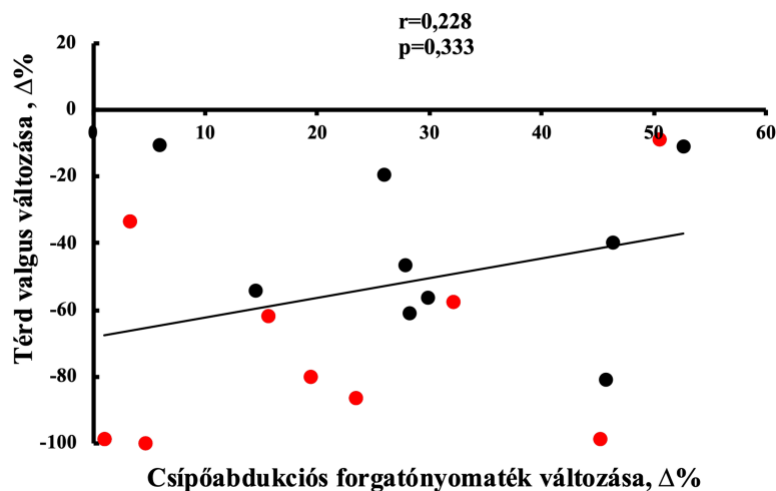
Az excentrikus csípőabdukciós forgatónyomaték növekedésének aránya és a térd valgus csökkenés aránya közti kapcsolat

Nincs összefüggés az egylábas felugrás során mért DTV-ben a csípőabdukciós erőedzés hatására bekövetkezett változások ($\Delta\%$) és az excentrikus forgatónyomaték változások ($\Delta\%$) között ($r = 0,011$, $p = 0,965$) (6. ábra).



6. ábra: Pearson korreláció az egylábas felugrás során mért DTV-ben csípőabdukciós erőedzés hatására bekövetkezett változások ($\Delta\%$) és a csípőabdukciós forgatónyomaték változások ($\Delta\%$) között. A piros jelek az excentrikusan, a fekete jelek pedig a koncentrikusan edző vizsgálati személyeket jelölik. A két változó között nem volt összefüggés ($r = 0,011$, $p = 0,965$).

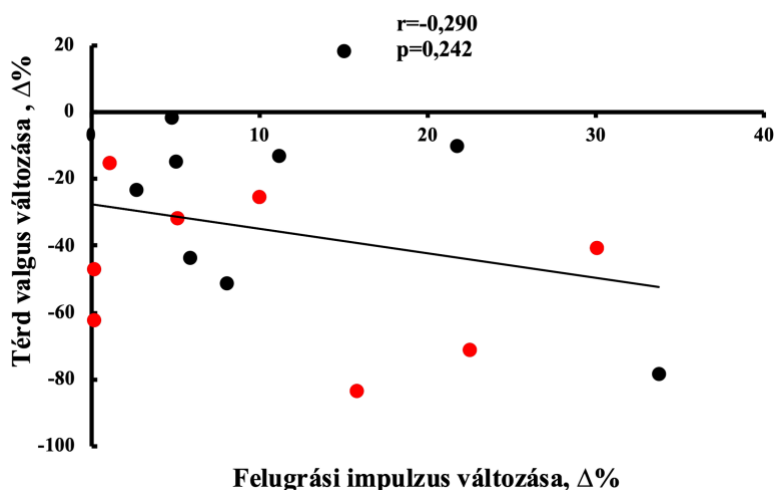
Nincs összefüggés az leérkezés során mért DTV-ben csípőabdukciós erőedzés hatására bekövetkezett változások és excentrikus ($r = 0,228$, $p = 0,333$) forgatónyomaték változások ($\Delta\%$) között (7. ábra).



7. ábra: Pearson korreláció az egylábas leérkezés során mért DTV-ben csípőabdukciós erőedzés hatására bekövetkezett változások ($\Delta\%$) és a csípőabdukciós forgatónyomaték változások ($\Delta\%$) között. A piros jelek az excentrikusan, a fekete jelek pedig a koncentrikusan edző vizsgálati személyeket jelölik. A két változó között nem volt összefüggés ($r = 0,228$, $p = 0,333$).

Térd valgus csökkenésének aránya és a felugrási impulzus növekedésének aránya közti kapcsolat

A korrelációs vizsgálat azt mutatta, hogy nincs összefüggés az egylábas felugrás során mért DTV-ben csípőabdukciós erőedzés hatására bekövetkezett változások ($\Delta\%$) és a felugrás során mért impulzus változások ($\Delta\%$) között ($r = -0,29$, $p = 0,242$) (8. ábra).



8. ábra: Pearson korreláció az egylábas felugrás során mért DTV-ben csípőabdukciós erőedzés hatására bekövetkezett változások ($\Delta\%$) és a felugrás során mért impulzus változások ($\Delta\%$) között. A piros jelek az excentrikusan, a fekete jelek pedig a koncentrikusan edző vizsgálati személyeket jelölik. A két változó között nem volt összefüggés ($r = -0,29$, $p = 0,242$).

Megbeszélés

Jelen vizsgálat célja az volt, hogy összehasonlítsa a négy héten át tartó maximális excentrikus és koncentrikus erő kifejtéseket tartalmazó csípőabdukciós erőedzés hatását az excentrikus csípőabdukciós csúcsnyomatékra, a CMJ típusú egy lábás felugrás és az egy lábás leérkezés közben kialakuló DTV-ra, valamint a CMJ típusú egy lábás felugrás impulzusára. Feltételeztük, hogy az excentrikus kontrakciókból álló edzés hatékonyabban fogja növelni az excentrikus csípőabdukciós forgatónyomatékokat. Feltételeztük, hogy az excentrikus edzés a koncentrikus edzéshez képest nagyobb mértékben csökkenti a DTV-t. Feltételeztük, hogy az edzés hatására bekövetkező DTV csökkenésének mértéke összefügg az excentrikus forgatónyomaték növekedésével, és a DTV csökkenésének mértéke összefügg a felugrási impulzus növekedésének mértékével is.

A H1-es hipotézissel ellentétben, mindkét edzésprogram hatására jelentős, szignifikáns forgatónyomaték növekedés következett be, de ezek a változások nem követték a specificitás elvét. A növekedés az excentrikus edzést végzőknél ~20 % (~25 Nm), a koncentrikus edzést végzők esetében ~28% (~35Nm) volt. A két edzés módszer nem okozott eltérő hatást, ami ellentmond a szakirodalmakban olvasottaknak (Fridén et al., 1983; Higbie et al., 1996; Hortobágyi et al., 1996). Azon tanulmányokban amelyekben a DTV csökkenését csípőabdukciós erőedzéssel (izolált, funkcionális) igyekeztek előidézni, számos esetben sikerült növelni a csípőabdukciós forgatónyomatékokat (Dawson & Herrington, 2015; Emamvirdi et al., 2019; Palmer et al., 2015). Jelen vizsgálat az első, amely kontrakció-specifikus edzést használt, azaz a csípőabduktoroknak a leérkezés során történő excentrikus kontrakcióját hangsúlyozva. Eddig nem jelent meg olyan vizsgálat, amely a csípőabduktorok excentrikus és koncentrikus edzését hajtotta volna végre, így jelen program hatékonyságát nem tudjuk összehasonlítani. Maximális csípőabdukció erő kifejtés 'akaratlagos' formában nagyon ritkán, vagy talán soha nem fordul elő a hétköznapi életben, kivéve sportmozgásokat. A harántcsíkolt izom mechanikai tulajdonságaiból ismert, hogy az akaratlagos erő kifejtés maximuma akár 20-50%-kal is nagyobb lehet excentrikus, mint koncentrikus erő kifejtés során. Valószínű, hogy az edzés során ennél sokkal kisebb volt a különbség a két erő kifejtési fajta között, ami a megfigyelt nem-kontrakció specifikus edzés-alkalmazkodást eredményezte. Itt fontos kiemelni, hogy kutatásunk során az edzésen elvégzett munka (Joule-ban kifejezve) a négy hét során folyamatosan kiegyenlítésre került. A koncentrikus kontrakciókkal edző csoport minden edzésen több kontrakciót (ismétést) hajtott végre annak érdekében, hogy az edzésen elvégzett munka a két csoport (ő és a másik csoportban lévő párja) között egyenlő legyen.

H2-es hipotézisünk részben igazolódott, mivel eltérő hatást okozott a két edzés módszer a felugrások és leérkezések során kialakuló DTV esetében. Az excentrikus kontrakciókból álló edzésprogram szignifikánsan 39,92%-al ($7,01^\circ$) -al csökkentette a felugrások, 78,11%-al ($15,7^\circ$ -al) a leérkezések során kialakuló DTV mértékét. Korábbi szakirodalmak a 3 foknál nagyobb mértékű valgus változást klinikailag jelentősnek tekintik (Palmer et al., 2015). A koncentrikus kontrakciókból felépülő edzésprogram nem okozott szignifikáns DTV csökkenést, ami megegyezik Palmer és munkatársai (2015) által végzett koncentrikus edzés gyakorlatok hatásával egy lábass guggolás, és egy lábass leérkezések tesztek során, de eltér Dawson és munkatársai (2015) egy lábass guggolás során kialakuló DTV mérséklésére gyakorolt hatékonyságától. Az excentrikus edzés által kiváltott DTV csökkenés mértéke felugrások során szignifikánsan nagyobb volt, mint a koncentrikus edzés által kiváltott csökkenés. A két edzés módszer hatására leérkezések során kialakuló DTV csökkenés mértéke közötti különbség nem volt szignifikáns. A kontrakció-specifikus edzés hatás hiánya talán annak tulajdonítható, hogy felugrások és főként leérkezések során az erő kifejtések magnitúdója és dinamikája eltér az edzés során kifejtett erő nagyságától és az erő kifejtésének sebességétől. Elképzelhető, hogy az excentrikus kontrakciókból álló edzés, excentrikus kontrakcióra gyakorolt kedvezőbb neurális adaptációja áll a DTV csökkenésének hátterében (Hortobágyi et al., 1994).

H3-as hipotézisünkkel ellentétben, a DTV csökkenés mértéke nem függ össze az excentrikus csípőabdukciós forgatónyomaték növekedésének mértékével. Ennek oka lehet, hogy a dinamométerben az excentrikus forgatónyomaték kifejtése akaratlagos módon és kisebb szögsebességgel történt, míg a felugrás vagy leérkezés során az excentrikus forgatónyomaték kifejlődése akaratától függetlenül egy nagyobb szögsebességnél következik be. Így lehet, hogy azon vizsgálati személyek, amelyek a koncentrikus edzéssel érték el a dinamométeren kifejtett excentrikus forgatónyomatékban bekövetkezett növekedést, ugyan ezt az izommunkát felugrások és leérkezések során (funkcionális körülmények között) nem tudták érvényesíteni. Annak a háttere tehát egyelőre ismeretlen, hogy mi áll a felugrások és leérkezések során kialakuló DTV csökkenések hátterében. Elképzelhető, hogy nem az erő mértéke, hanem annak mechanikai vagy neurális szabályozása lehet a DTV szög és az ACL sérülések közötti összefüggés hátterében (Hortobágyi et al., 1994).

H4-es hipotézisünkben korábbi szakirodalmak alapján (Gafner et al., 2018; S.-P. Lee & Powers, 2014; Salavati et al., 2007) feltételeztük, hogy a DTV csökkenése, hozzájárulhat a felugrási impulzus növekedéséhez. A korrelációs vizsgálatok azonban nem mutattak ki kapcsolatot a DTV csökkenésének aránya és a felugrási impulzus növekedésének aránya között.

A háttere tehát ismeretlen, hogy mi váltotta ki a felugrási impulzus növekedését. Egy korábbi vizsgálat során azt tapasztalták, hogy a csípőízületi abduktorok fáradása az előzetes térdhajlítás (súlypontosüllesztés) csökkenéséhez vezetett CMJ típusú egylábas felugrások során (Fésüs et al., 2021). Az előzetes térdhajlítás csökkenése együtt járt a felugrási impulzus csökkenésével. Elképzelhető, hogy az általunk alkalmazott csípőízületi abduktorokat célzó edzésprogramok által kiváltott csípőabdukciós forgatónyomaték növekedése fokozta az előzetes térdhajlítás mértékét, amely a felugrási impulzus növekedését eredményezte.

Összefoglalás

Az excentrikus és koncentrikus csípőabdukciós edzés növelte a maximális csípőabdukciós erőt és bizonyos gyakorlatok végrehajtása során csökkentette a DTV-t egészséges rekreációs sportolóknál. Az erőnövekedés és a DTV csökkenés közötti kapcsolat hiánya arra utalhat, hogy nem az erő mértéke, hanem annak mechanikai vagy neurális szabályozása lehet a DTV szög és az ACL sérülések közötti összefüggés hátterében.

Kutatási eredményeink alapján elmondható, hogy a csípőabdukciós forgatónyomaték növekedése megtevesztő lehet, hiszen nem feltétlen párosul a sérülés rizikó (pl. túlzott DTV helyzet) csökkenésével. A két edzés módszer független az edzés típusától növelte a felugrási impulzust. A felugrási impulzus növekedése és a DTV szög csökkenése közötti kapcsolat hiánya arra utal, hogy a felugrási impulzus növekedése nem a DTV szög csökkenésének eredménye.

Irodalomjegyzék

1. Agel, J., Arendt, E. A., & Bershadsky, B. (2005). Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer: A 13-year review. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 524–530. <https://doi.org/10.1177/0363546504269937>
2. Ali, N., Rouhi, G., & Robertson, G. (2013). Gender, Vertical Height and Horizontal Distance Effects on Single-Leg Landing Kinematics: Implications for Risk of non-contact ACL Injury. *Journal of Human Kinetics*, 37, 27–38. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0022>
3. Arundale, A. J. H., Silvers-Granelli, H. J., & Myklebust, G. (2022). ACL injury prevention: Where have we come from and where are we going? *Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society*, 40(1), 43–54. <https://doi.org/10.1002/jor.25058>
4. Boden, B. P., & Sheehan, F. T. (2022). Mechanism of non-contact ACL injury: OREF Clinical Research Award 2021. *Journal of Orthopaedic Research*, 40(3), 531–540. <https://doi.org/10.1002/jor.25257>
5. Chappell, J. D., Creighton, R. A., Giuliani, C., Yu, B., & Garrett, W. E. (2007). Kinematics and electromyography of landing preparation in vertical stop-jump: Risks for noncontact anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(2), 235–241. <https://doi.org/10.1177/0363546506294077>

6. Dai, B., Mao, M., Garrett, W. E., & Yu, B. (2015). Biomechanical characteristics of an anterior cruciate ligament injury in javelin throwing. *Journal of Sport and Health Science*, 4(4), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2015.07.004>
7. Dawson, S. J., & Herrington, L. (2015). Improving Single-Legged-Squat Performance: Comparing 2 Training Methods With Potential Implications for Injury Prevention. *Journal of Athletic Training*, 50(9), 921–929. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.9.03>
8. Donohue, M. R., Ellis, S. M., Heinbaugh, E. M., Stephenson, M. L., Zhu, Q., & Dai, B. (2015). Differences and correlations in knee and hip mechanics during single-leg landing, single-leg squat, double-leg landing, and double-leg squat tasks. *Research in Sports Medicine (Print)*, 23(4), 394–411. <https://doi.org/10.1080/15438627.2015.1076413>
9. Emamvirdi, M., Letafatkar, A., & Khaleghi Tazji, M. (2019). The Effect of Valgus Control Instruction Exercises on Pain, Strength, and Functionality in Active Females With Patellofemoral Pain Syndrome. *Sports Health*, 11(3), 223–237. <https://doi.org/10.1177/1941738119837622>
10. Fésüs, Á., Fésüs, V., Ivusza, P., Sebesi, B., Gáspár, B., Varga, M., & Váczi, M. (2021). A csípőízületi abduktorok fáradásának hatása az unilaterális felugrás neurokinematikájára. In Gyöngyvér Prisztóka, Bendegúz Kertai (Ed.), *XIX. Szentágotthai János Mutidiszciplináris Konferencia és Hallgatói Verseny Absztrakt kötet* (Szentágotthai János Szakkollégiumi egyesület, pp. 153–154). B-Press Digitális Nyomda. <https://pea.lib.pte.hu/handle/pea/23988>
11. Fridén, J., Seger, J., Sjöström, M., & Ekblom, B. (1983). Adaptive Response in Human Skeletal Muscle Subjected to Prolonged Eccentric Training. *International Journal of Sports Medicine*, 04(03), 177–183. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1026031>
12. Fukuda, Y., Woo, S. L.-Y., Loh, J. C., Tsuda, E., Tang, P., McMahon, P. J., & Debski, R. E. (2003). A quantitative analysis of valgus torque on the ACL: A human cadaveric study. *Journal of Orthopaedic Research*, 21(6), 1107–1112. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(03\)00084-6](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(03)00084-6)
13. Gafner, S. C., Hoevel, 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*, 43, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2018.09.004>
14. Habelt, S., Hasler, C. C., Steinbrück, K., & Majewski, M. (2011). Sport injuries in adolescents. *Orthopedic Reviews*, 3(2), e18. <https://doi.org/10.4081/or.2011.e18>
15. Harty, C. M., DuPont, C. E., Chmielewski, T. L., & Mizner, R. L. (2011). Intertask comparison of frontal plane knee position and moment in female athletes during three distinct movement tasks. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(1), 98–105. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01022.x>
16. Hertel, J. (2002). Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, 37(4), 364–375.
17. Higbie, E. J., Cureton, K. J., Warren, G. L., & Prior, B. M. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2173–2181. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.5.2173>
18. Hopper, A. J., Haff, E. E., Joyce, C., Lloyd, R. S., & Haff, G. G. (2017). Neuromuscular Training Improves Lower Extremity Biomechanics Associated with Knee Injury during Landing in 11–13 Year Old Female Netball Athletes: A Randomized Control Study. *Frontiers in Physiology*, 8, 883. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00883>
19. Hortobágyi, T., Hill, J., Lambert, N., & Israel, R. (1994). 174 FORCE AND EMG RESPONSES TO ECCENTRIC AND CONCENTRIC RESISTIVE EXERCISE TRAINING: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26(Supplement), S31. <https://doi.org/10.1249/00005768-199405001-00175>
20. Hortobágyi, T., Barrier, J., Beard, D., Braspenning, J., Koens, P., Devita, P., Dempsey, L., & Lambert, J. (1996). Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening. *Journal of Applied Physiology*, 81(4), 1677–1682. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.4.1677>
21. Joseph, M. F., Rahl, M., Sheehan, J., MacDougall, B., Horn, E., Denegar, C. R., Trojian, T. H., Anderson, J. M., & Kraemer, W. J. (2011). Timing of lower extremity frontal plane motion differs between female and male athletes during a landing task. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(7), 1517–1521. <https://doi.org/10.1177/0363546510397175>

22. 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>
23. Kim, E.-K. (2016). The effect of gluteus medius strengthening on the knee joint function score and pain in meniscal surgery patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(10), 2751–2753. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.2751>
24. LaPrade, R. F., & Burnett, Q. M. (1994). Femoral intercondylar notch stenosis and correlation to anterior cruciate ligament injuries. A prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 22(2), 198–202; discussion 203. <https://doi.org/10.1177/036354659402200208>
25. Laubach, L. L. (1976). Comparative muscular strength of men and women: A review of the literature. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 47(5), 534–542.
26. Lee, J. H., Shin, K. H., Han, S.-B., Sun Hwang, K., Lee, S. J., & Jang, K.-M. (2022). Prospective comparative study between knee alignment-oriented static and dynamic balance exercise in patellofemoral pain syndrome patients with dynamic knee valgus. *Medicine*, 101(37), e30631. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000030631>
27. 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>
28. Lyle, M. A., Valero-Cuevas, F. J., Gregor, R. J., & Powers, C. M. (2014). Control of dynamic foot-ground interactions in male and female soccer athletes: Females exhibit reduced dexterity and higher limb stiffness during landing. *Journal of Biomechanics*, 47(2), 512–517. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.10.038>
29. Markolf, K. L., Burchfield, D. M., Shapiro, M. M., Shepard, M. F., Finerman, G. A. M., & Slauterbeck, J. L. (1995). Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *Journal of Orthopaedic Research*, 13(6), 930–935. <https://doi.org/10.1002/jor.1100130618>
30. Marshall, A. N., Hertel, J., Hart, J. M., Russell, S., & Saliba, S. A. (2020). Visual Biofeedback and Changes in Lower Extremity Kinematics in Individuals With Medial Knee Displacement. *Journal of Athletic Training*, 55(3), 255–264. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-383-18>
31. Mauntel, T. C., Frank, B. S., Begalle, R. L., Blackburn, J. T., & Padua, D. A. (2014). Kinematic differences between those with and without medial knee displacement during a single-leg squat. *Journal of Applied Biomechanics*, 30(6), 707–712. <https://doi.org/10.1123/jab.2014-0003>
32. Munro, A., Herrington, L., & Comfort, P. (2017). The Relationship Between 2-Dimensional Knee-Valgus Angles During Single-Leg Squat, Single-Leg-Land, and Drop-Jump Screening Tests. *Journal of Sport Rehabilitation*, 26(1), 72–77. <https://doi.org/10.1123/jsr.2015-0102>
33. Myer, G. D., Ford, K. R., Palumbo, J. P., & Hewett, T. E. (2005). Neuromuscular Training Improves Performance and Lower-Extremity Biomechanics in Female Athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 51. <https://doi.org/10.1519/13643.1>
34. 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: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 43, 230–235. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.12.008>
35. Neumann, D. A. (2016). *Kinesiology of the Musculoskeletal system Foundations for rehabilitTION: Vol. Third Edition*. Elsevier - Health Sciences Division.
36. Palmer, K., Hebron, C., & Williams, J. M. (2015). A randomised trial into the effect of an isolated hip abductor strengthening programme and a functional motor control programme on knee kinematics and hip muscle strength. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 16, 105. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0563-9>
37. Rosa, B. B., Asperti, A. M., Helito, C. P., Demange, M. K., Fernandes, T. L., & Hernandez, A. J. (2014). Epidemiology of sports injuries on collegiate athletes at a single center. *Acta Ortopédica Brasileira*, 22(6), 321–324. <https://doi.org/10.1590/1413-78522014220601007>
38. 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>

39. Saltzman, B. M., Cvetanovich, G. L., Nwachukwu, B. U., Mall, N. A., Bush-Joseph, C. A., & Bach, B. R. (2016). Economic Analyses in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Qualitative and Systematic Review. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(5), 1329–1335. <https://doi.org/10.1177/0363546515581470>
40. Suzuki, H., Omori, G., Uematsu, D., Nishino, K., & Endo, N. (2015). THE INFLUENCE OF HIP STRENGTH ON KNEE KINEMATICS DURING A SINGLE-LEGGED MEDIAL DROP LANDING AMONG COMPETITIVE COLLEGIATE BASKETBALL PLAYERS. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(5), 592–601.
41. T. Liu. Ambrose. (2003). The anterior cruciate ligament and functional stability of the knee joint | British Columbia Medical Journal. Vol.45 No.10, 495–499. <https://bcmj.org/articles/anterior-cruciate-ligament-and-functional-stability-knee-joint>
42. Taylor, J. B., Ford, K. R., Nguyen, A.-D., & Shultz, S. J. (2016). Biomechanical Comparison of Single- and Double-Leg Jump Landings in the Sagittal and Frontal Plane. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 4(6), 2325967116655158. <https://doi.org/10.1177/2325967116655158>
43. Vadász, K., Varga, M., Sebesi, B., Hortobágyi, T., Murlasits, Z., Atlasz, T., Fésüs, Á., & Vácz, M. (2022). 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), 220. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010220>
44. 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>
45. Waldén, M., Häggglund, M., Werner, J., & Ekstrand, J. (2011). The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): A review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 19(1), 3–10. <https://doi.org/10.1007/s00167-010-1172-7>
46. 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), 8208. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218208>
47. Yamazaki, J., Muneta, T., Ju, Y. J., & Sekiya, I. (2010). Differences in kinematics of single leg squatting between anterior cruciate ligament-injured patients and healthy controls. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 18(1), 56–63. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0892-z>
48. Zebis, M. K., Andersen, L. L., Ellingsgaard, H., & Aagaard, P. (2011). Rapid hamstring/quadriceps force capacity in male vs. Female elite soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 1989–1993. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e501a6>

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm a vizsgálatban résztvevő hölgyeknek, hogy a saját szabadidejüket rászánva részt vettek vizsgálatunkban és ezzel hozzájárultak pályamunkám megvalósulásához.

Lezárás dátuma: 2023. 01. 17.