



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék



Utánpótláskorú kézilabdázók alsóvégtag állapotfelmérő vizsgálatainak műszerezése

Készítette: Ágoston Dorottya
*Mechatronikai mérnök MSc
szakos hallgató*

Konzulensek: Pálya Zsófia
PhD hallgató, *BME MOGI
Tanszék*
Bacskai Kata
Gyógytornász, *OSEI*

**Országos Tudományos Diákköri Konferencia
Budapest, 2023**

1 Bevezetés

Dolgozatom témájának ötletét az Országos Sportegészségügyi Intézet gyógytornásza, TDK dolgozatom konzulense, Bacskai Katalin adta, aki elmagyarázta számomra, hogy a gyógytornász állapotfelmérő vizsgálatokat, köztük az alsóvégtag állapotára irányuló mérések legtöbbjeit is eszközök nélkül, szemrevételezéssel vagy tapintáson alapuló módszerrel értékelik ki. Tudományos munka eszközei ezen módszerek azonban nem lehetnek, hiszen kvalitatív adatokkal nem

szolgálnak. Továbbá annak ellenére, hogy a szakirodalmak alátámasztják, hogy egy jól képzett szakember megfelelő eredményekre juthat ezen módszerek alkalmazásával, mégis nagyfokú szubjektivitás hordoznak ezek a mérőszámok. A precíz mérések elvégzését tovább nehezíti, hogy a mai napig az alkalmazott műszerek halmazát a hagyományos eszközök jelentik, például a mérőszalag vagy a goniométer. Ezen eszközök alkalmazása egyszerű, azonban pontatlanságok felfedezhetők a mérések során a műszerek térbeli és anatómiailag helyes pozíciójának felvételekor. Ezenfelül mindkét módszerről elmondható, hogy a kis fokú eltérések és változások nyomonkövetése nem lehetséges általuk.

Célom ezáltal egy olyan alsó végtag állapotfelmérésére alkalmas objektív mérési rendszer megalkotása, amely nagy pontosságú, kvalitatív adatokat határoz meg, hozzájárulva ahhoz, hogy tudományos munka alapjául szolgáljon. Kiküszöbölhetővé téve az esetlegesen felmerülő szubjektivitásból adódó pontatlanságokat, nyomon követhetővé téve a relatív kicsi változásokat, így hozzájárulva a gyógytornászok munkájának elősegítéséhez, valamint a sportolók – és köztük kiemelten a kézilabdázók – fizikai állapotának javításához.

2 Irodalmi áttekintés

Irodalmi áttekintésem során célom, hogy egy átfogó képet adjak a gyógytornász állapotfelmérő tesztekéről és azok műszerezési lehetőségeiről

A gyógytornászok sportolókkal való foglalkozásának első lépése a sportolók állapotfelmérése. Az állapotfelmérés számos feladatot és tesztet foglal magába, melyek által a fizioterapeuták komplex és átfogó képet kapnak az adott ember állapotáról. A feladatok többek között tartásmegfigyelési, stabilitási, egyensúlyi, mobilitási és ízületi mozgástartományt (RoM) vizsgáló tesztekből állnak. Ezenfelül alkalmaznak izomerő felmérő és az izom hosszát vizsgáló teszteket is. A számtalan teszt közül a fizioterapeuták a sportolók állapota és a sportági sajátosságok által támasztott elvárások alapján választják ki a számukra legmegfelelőbbeket.

2.1 Állapotfelmérő tesztek műszerezése

Az állapotfelmérő teszteket műszerezése rendkívül sokféle lehet, az egészen hagyományos eszközöktől elkezdve a rendkívül innovatív és összetett rendszereken át többféle módszert alkalmaznak. Léteznek nemzetközileg is elfogadott, szakirodalmakban is publikált módszerek, azonban a technológia fejlődésével egyre több új módszer van kialakulóban, vagy akár már validálás alatt. A következőkben ezek közül ismertetek párat.

2.1.1 Tartásmegfigyelés műszerezése

A tartásmegfigyelés az állapotfelmérés egyik alapja, mivel alapvető diszbalanszokra és aszimmetriára világít rá, amelyeket kezelve megelőzhetők későbbi sérülések, nem beszélve arról, hogy a helytelen testtartás befolyásolja az izomfunkciókat is.

A tartásmegfigyelés egyik legalapvetőbb eszköze a szemrevételezés, vagyis a szakember megfigyeli a sportoló testtartását mind a négy oldalról és a látottakból levonja a következtetéseket. Hatalmas előnye, hogy semmilyen eszköz nem szükségeltetik hozzá, azonban kvantitatív adatot nem lehet meghatározni általa, illetve kis eltéréseket nem lehet detektálni. További hátránya, hogy a kapott eredmények szubjektívek, különböző vizsgáló személyek esetén eltérhetnek (Singla és Veqar, 2014).

A szemrevételezés szubjektivitását megpróbálva kiküszöbölni, eljutunk a fotografikus elemzési módszerhez, vagyis kamerák segítségével digitális fényképen rögzítjük a sportoló tartását egy vagy akár több oldalról. Az elkészült fényképek pedig bármilyen erre alkalmas szoftver segítségével kiértékelhetők. A mérés pontosságát elősegíti, ha a kamerák állványra vannak helyezve, a pontosságot csökkentik az objektívek és a leképezésből adódó torzítások (Singla és Veqar, 2014).

További lehetőség a radiográfiai módszer, ami egy pontos eljárásnak bizonyult, hiszen a felvételek egy képfeldolgozó program segítségével kiértékelhetők, azaz egyszerűen meghatározhatók a helyes ízületi szögek. Azonban mind a magas költségek, mind a nagyfokú sugárzás az eszköz használatának elterjedését korlátozza (Singla és Veqar, 2014).

2.1.2 Mozgástartomány vizsgálatának műszerezése

A mozgástartomány meghatározza egy ízület mozgásának intervallumát, amely többek között jelentheti a flexió és extenzió, az addukció és abdukció és a ki- és berotáció közti eltérés mértékét. Ennek nagyságát meghatározza az ízület típusa és felszíne, továbbá befolyásolja a környező izmok, szalagok és ínák állapota. Az ízületi mozgásvizsgálat célja – amely lehet aktív, passzív vagy a kettő kombinációja – az állapot felmérése, megőrzése és növelése. A mérés számszerűsíthető, amelynek mértékegysége a szögfok [°]. Az eredmény megállapítására a gyógytornászok a mai napig alapvetően hagyományos eszközöket használnak, goniométert vagy inklinométert (1. ábra bal oldali két képe), amelyek rögzített karral, szögmérővel, támaszponttal és mozgó karral állapítják meg az ízület tengelyéhez viszonyított szög nagyságát (Gandbhir és Cunha, 2021). Ezen eszközök által kapott eredmények pontossága és megbízhatósága megkérdőjelezhető, mivel számos kutatás rámutatott, hogy az eredményt befolyásolhatja a mérést végző személy kiléte, illetve a goniométer típusa is. Ezen probléma kiküszöbölésére nyújt egy esetleges megoldást egy telefonra letölthető applikáció (1. ábra, jobb oldal), amely pontos értékeket határoz meg a mérések folyamán, ha a telefont a vizsgált testszegmentumra rögzítjük (Milanese et al, 2014).



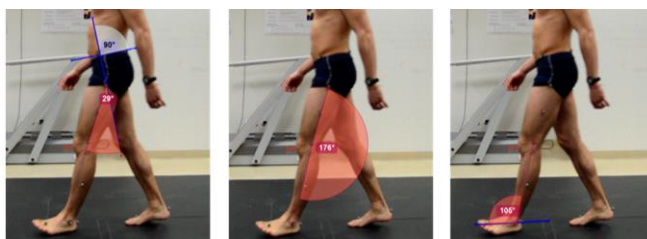
1. ábra: A hagyományos goniométer és inklinométer (bal oldal), ízületek mozgástartományának vizsgálata mobil applikáció segítségével (jobb oldal)

Forrás: (Gandbhir és Cunha, 2021.), (Milanese et al, 2014)

2.1.3 Mozgáselemzés műszerezése

A mozgáselemzések műszerezésére először csak 2 dimenziós technikák álltak rendelkezésre, amely azt jelenti, hogy egy kamera segítségével rögzítették a mozgást, és az így kapott felvételeket különböző számítógépes eszközökkel feldolgozták, kiértékeltek. Ennek továbbfejlesztése volt, amikor a vizsgálat során kettő kamerát alkalmaztak, és kettő különböző oldalra helyezték el azokat. Így a mozgás két különböző síkjából is tudtak adatokat nyerni, amellyel egy komplexebb és pontosabb képet kaptak az adott vizsgálat eredményéről.

Az ezen az elven működő szoftverek közül számos a mai napig is használatban van az egyszerű kezelhetősége, az alacsony költségei miatt, valamint, nagy előnyük, hogy nem igényelnek professzionális felszerelést. Ezzel egyidőben persze meg kell említeni, hogy a pontossága és megbízhatósága elmarad a 3 dimenziós képalkotó technológiáktól, viszont egy jó és gyors alternatíva lehet kinematikai paraméterek meghatározására, állapotfelmérő tesztek elemzésére. Erre egy példa a Kinovea nevezetű program, amely lehetőséget kínál ízületi szögek (2. ábra), távolságok, tér és időbeli paraméterek meghatározására, mindezt markerek használata nélkül. Passzív markerek alkalmazása segít az eredmények pontosításában (Balsalobre-Fernández et al, 2014).



2. ábra: Ízületi szögek számítása Kinovea program segítségével

Forrás: (Fernández-González, Koutsu, 2020)

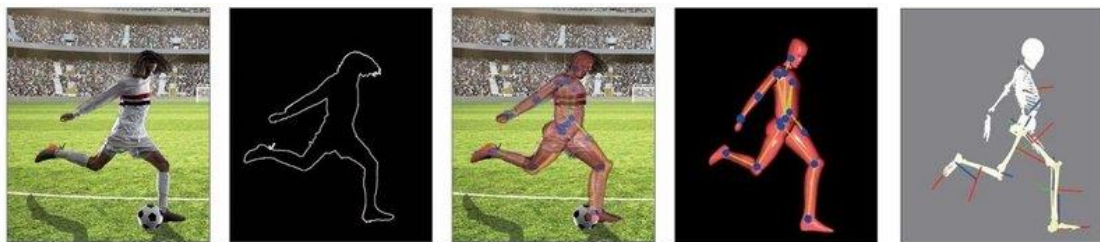
A 2D-s mozgáselemző programok kategóriájába tartozik még a Simi Aktisys rendszere is, amely kamerája segítségével nagy sebességű videórögzítésre alkalmas, a sportolókra felhelyezett aktív LED markereket detektálva valós időben szolgáltat objektív információt a mérendő paramétereikről, ízületi szögeikről, síkokról, távolságokról (3. ábra).



3. ábra: Simi Aktysis által rögzített felvételek

Forrás: (Simi, 2021)

A kétdimenziós mozgáselemző rendszereknél jóval pontosabb adatokkal szolgálnak a háromdimenziós mozgáskövető rendszerek. Régebben alkalmaztak rádiófrekvenciás vevőkön alapuló, illetve elektromágneses rendszereket, azonban mára az optikai alapú mozgásmegfigyelő berendezések a legelterjedtebbek. Az optikai alapú mozgáskövető rendszerek két fajtája különböztethető meg, a marker alapú illetve a marker nélküli 'markerless' rendszer. Elmondható róluk, hogy az előbbieken említettekhez képest ezen felszerelések a legköltségesebbek. Elsősorban zárt térben (pl. laboratóriumi körülmények között) történő mérések elvégzését teszi lehetővé, amíg a marker nélküli rendszer szabadabban alkalmazható.



4. ábra: A Simi marker nélküli mozgáskövető rendszerének működése

Forrás: (Simi, 2021)

A marker alapú mozgásrögzítő rendszer jelölőket, úgynevezett markereket használ a térben történő személyek és objektumok helyzetének és orientációjának meghatározására. A markereknek két típusát különböztethetjük meg, az aktív, valamint passzív jelölőket. A passzív markerek olyan felszínnel rendelkező gömbök, amelyek rendkívül hatékonyan sugározzák vissza a fényt a forrás felé. Általában ez az infravörös tartományba eső hullámhosszú fényt jelenti, melyet a kamerák a legjobban érzékelnek. Ezzel szemben az aktív markerek maguk bocsátanak ki fényt, amelyet általában LED segítségével oldanak meg. Ebben az esetben a rendszerrel való pontos konfiguráció és szinkronizáció elengedhetetlen. Bármelyik típusú markerről is legyen szó, az elmondható, hogy rendkívül fontos a markerek precíz felhelyezése a megfelelő felületre, antropometriai pontra, és annak fennmaradása a felvétel teljes időtartama alatt. Ezen markerek csoportjából a méréseknek megfelelő merev testeket, vagy emberek esetén úgynevezett csontvázakat (skeleton) lehet alkotni (OptiTrack wiki, 2021).

Ezzel szemben a marker nélküli rendszerek nem alkalmaznak jelölőket, így nem a markerek helyzetéből határozhatjuk meg a vizsgált emberek anatómiai pontjait, hanem a mérési alany

sziluettjét detektálja több kamera, ezzel elválasztva az embert a háttértől, és így keresi meg az anatómiai pontok helyzetét a térben (4. ábra).

A marker alapú és marker nélküli rendszerekről is elmondható, hogy egyéb mérőeszközökkel szinkronban használhatók (EMG, erőplató), így a képi információk mellett egyéb adatokat is kaphatunk.

3 Célkitűzés, hipotézis felállítása

A rendszerező irodalomkutatás követően a következő megállapítások tehetők: a felsorolt mérési módszerek közül sok az elavult, régi, számos esetben szubjektív eredmények állapíthatók meg, nincs numerikus adat, ezzel megnehezítve a változások nyomonkövetését, a mérés elvégzéséhez, vagy kiértékeléséhez szakember szükséges (például orvosi felügyelet).

Ezért, jelen dolgozat keretein belül célom egy gyorsan, egyszerűen és könnyedén alkalmazható kvalitatív módszert megalkotni, amely segítségével leredukálható a sokféle mérési eszköz használata, nagy segítségére van a gyógytornászok mindennapjaiban, hogy a sportolók állapotára vonatkozó véleményüket objektív és kvantitatív mérési adatokkal tudják alátámasztani az átlagemberek számára is érthető módon, mindeközben egyszerűen monitorizálhatóvá téve a sportoló által elért eredményeket vagy akár kisebb változásokat.

Mérési módszerem kidolgozására fiatal kézilabdázó lányokat tesztelek, akik egy azon csapat játékosai, így többféle pozíciót betöltő sportoló esetén feltételezem, hogy nagyban eltérő adatokhoz fogok jutni. Hiszen például egy kapus esetén sokkal fontosabb a hajlékonyság, mint egy mezőnyjátékosnál.

4 Módszer

Jelen fejezet keretein belül az általam megalkotott módszert ismertetem.

4.1 Mérési keretrendszer bemutatása

4.1.1 A Motion Capture rendszer

Az optikai-alapú mozgásrögzítő rendszerek (motion capture system) egyre szélesebb körben terjednek el. A biomechanikai vizsgálatok műszerezésén túl számos egyéb iparágban alkalmazzák. Egyik legfőbb terület a film és számítógépes játék gyártása.

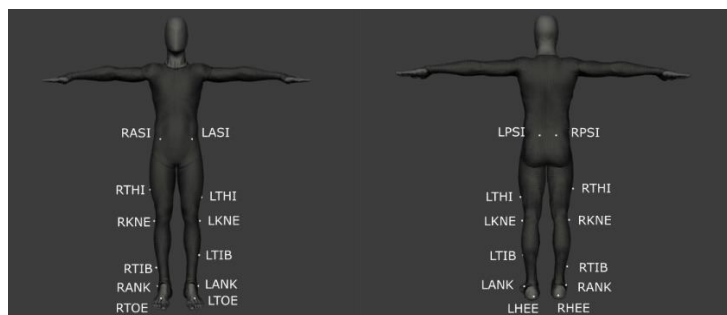
A méréseimet az Országos Sportegészségügyi Intézetben végeztem el, egy kitelepíthető optikai-alapú OptiTrack (gyártó: NaturalPoint, székhely: USA, Oregon) mozgásvizsgáló rendszer segítségével. A tesztek felvételéhez hat darab infravörös tartományban működő, Flex 13 (felbontás: 1280×1024px, felvétel sebessége: 30-120 fps, FOV: 56×46°) típusú kamerát szereltem fel a mérési terület köré. A kamerákat váltakozó magasságban állványokra helyeztem, és lencséjüket úgy irányítottam, hogy a lehető legnagyobb területet lefedjem.

A kamerák működéséhez a Motive szoftvert (gyártó: Motive Inc., székhely: USA, Texas, Austin, verziószám: 1.21) használtam. A mérések során az előre beállított mintavételezés 120 Hz volt.

4.1.2 Az alkalmazott markerösszeállítás

Az általam használt OptiTrack mozgásrögzítő rendszer passzív, retro-reflektív jelölőket, úgynevezett markereket használ a térben történő személyek és objektumok helyzetének meghatározására. A retro-reflektív jelölők az infravörös tartományba eső (780-1400 nm hullámhosszú) fényt reflektálják, amelyen a kamerák is működnek. A biomechanikai mérések során kiemelten fontos a markerek precíz felhelyezése a megfelelő felületre, anatómiai pontra, testszegmensre. A Motive szoftverben számos előre definiált marker elrendezés (marker set) közül lehet kiválasztani. Ezek előnye, hogy már validált modellek, így alkalmasak biomechanikai mérések elvégzésére. A markerek két csoportra bonthatók, anatómiai jelölő markerekre és oldaljelölő markerekre. Az anatómiai markerek esetében kiemelt fontosságú a pontos felhelyezés, ezzel is minimalizálva a bőr elmozdulásából adódó pontatlanságot (Optitrack wiki, 2021). Ez legkönnyebben úgy kivitelezhető, ha az adott ízületet kitapintjuk, és megkérjük a mérési alanyt, hogy hajlítsa be, majd nyújtsa ki az adott testszegmensét. A jelölő markerek nincsenek ízületekhez kötve, a test bizonyos részeire kell őket felhelyezni aszimmetrikusan, így kijelölve a jobb és bal oldalt, egyszerűbben felismerhetővé téve őket a felvétel során. Ennek főképp akkor van jelentősége, ha keresztezzük a testrészeket a felvétel során. Az aszimmetrikus elrendezés mindig garantálja az egyértelmű oldalmeghatározást.

Ezen előre meghatározott marker vázak közül az úgynevezett 'conventional lower body skeleton'-t alkalmaztam a méréseim során, amely 16 markerből álló, alsó végtagot jelölő elrendezés.



5. ábra: A 'conventional lower body' markereinek helyei

Forrás: (OptiTrack wiki, 2021)

Az általam alkalmazott marker elrendezés a 5. ábrán látható. Mindkét oldalra egyaránt felkerültek anatómiai markerek (összesen 12 darab). Ezek a jobb és bal oldali elülső felső csípőtővisék (RASI, LASI), a hátulsó felső csípőtőviséket (LPSI, RPSI). Emellett kerültek

markerek a térdekre (RKNE, LKNE), bokákra (RANK, LANK), sarkokra (RHEE, LHEE) és lábfejekre (RTOE, LTOE) is. Ezenfelül oldaljelölő markereket helyeztem el combra (RTHI, LTHI) és két lábszárra (RTIB, LTIB). A fent említett 16 markeren kívül két markert használtam a vizsgálati ágy szélének kijelölésére, mely az egyik teszt kiértékeléséhez elengedhetetlen. Illetve az egyik mobilitás teszt során marker került a vizsgált személyek 3. ujjára is.

4.2 A kiválasztott tesztek bemutatása

A 4.2-es alfejezetben magát a méréseket fogom bemutatni, vagyis a kiválasztott 4 darab tesztről, a speciálisan végrehajtott guggolásról, a Thomas tesztről, a 'sit and reach' tesztről és a térd nyújthatóságát vizsgáló feladatról írok.

4.2.1 Guggolás teszt

A guggolás teszt nem egy hivatalos állapotfelmérő teszt, hanem egy mobilizációs gyakorlat, amellyel a bokaízület dorziflexiójának mozgástartományát lehet növelni, ehhez a méréshez nem tartozik pontos szakirodalmi leírás.

A guggolás teszt végrehajtásakor a mérési alanyok a vizsgálati ágyra helyezték alkarjaikat egymással párhuzamosan. Lábuikat egy előre kijelölt vonalhoz igazították szintén párhuzamosan, csípőszéles távolságra egymástól. A teszt végrehajtása a 6. ábrán látható. A guggolás akkor tekinthető szabályszerűnek, ha a sportoló nem lefelé, hanem előre kezdte engedni a testsúlyát, miközben a térdek párhuzamosan haladtak, nem tartottak egymás felé, sem kifelé. A mozgást a sarok földön maradásáig kellett végezni, a végpozíciót megtartani. Ebben a helyzetben pedig a bokaízület szögét vizsgáltam, majd a két oldal szimmetriáját hasonlítottam össze.



6. ábra: Guggolás teszt kezdő- és végpozíciója

4.2.2 Thomas teszt

A csípőízület flexiós kontraktúrájának vizsgálatára alkalmazható az úgynevezett Thomas teszt. A hivatalos teszt elvégzése során a sportoló hanyatt fekszik úgy, hogy a medencéje vízszintes helyzetben legyen. Ha a gyógytornász beteszi a kezét a páciens dereka alá, stabilizálni tudja a medencét. Ezt követően lehet elkezdeni emelni a vizsgált személy egyik lábát, combját közelíteni a mellkasához. Amikor a lumbális gerinc lordózisa ellaposodik megállapítható, hogy a további mozgás csak csípőízületből jön létre. A mozgástartomány határának végét az jelzi, amikor a comb beleütközik a hasba. Ugyanígy megemelhető a másik láb is, majd az egyik alsó végtagját kinyújtja

a páciens. Ha nem tudja teljes mértékben kinyújtani a lábát, hogy a csípőízületi flexió megszűnjön, vagy elemelkedik a lumbális gerince az ágyról, akkor az csípőízületi flexiós kontraktúrára utal. A kontraktúra mértéke meghatározható, ha oldalról megfigyeljük, mekkora szöget zár be a páciens combja a kezelőágygal (Hoppenfeld, 2009).

A szakirodalomban leírtakhoz képest kisebb módosításokkal lett végrehajtva a vizsgálati feladat úgy, hogy az a vizsgálat célját (a csípőízület flexiós kontraktúrájának vizsgálatát) ne befolyásolja. A feladat során a mérési alanyok a vizsgálati ágy szélén foglaltak helyet, egyik lábukat hajlítva felhúzták mellkashoz és átkulcsolták. Ebből az ülőhelyzetből kellett a hátukra gurulni, az asztalról lelógó lábukat teljesen elengedve feküdni (7. ábra). Ezt követően pedig ellentétes oldalra is végrehajtja a sportoló a tesztet. Fontos volt, hogy a tesztet végző személy teljes mértékben elengedje a lábát, vagyis lábizmai ne legyenek megfeszítve, ne dolgozzon a gravitáció ellen. A végpozíció helyzete nagyon fontos, hiszen ezt kiértékelve kapható a Thomas-teszt eredménye. A comb helyzete ideális esetben vízszintes, és a vizsgálati ágy szélére merőleges, vagyis nincs sem addukált, sem abdukált állapotban. Ettől való eltérés izomkontraktúrára enged következtetni. A másik megfigyelendő testrész a lábszár, amely optimális esetben függőleges és rotációmentes. A vizsgálat során nézni kell, hogy milyen mértékben tér el mind frontális, mind szagittális síkban. A két oldalra kapott eredményeket érdemes összevetni, megállapítva a két oldal közti eltérést.



7. ábra: A Thomas teszt végrehajtása bal és jobb oldal esetén

4.2.3 A térd extenziójának vizsgálata

A térd nyújthatóságát vizsgáló feladat egy passzív teszt, mivel a mérést végző alany nem önerőből hajtja végre a meghatározott mozgást, hanem a vizsgáló személy mozgatja az alany lábát. A hivatalos teszt első lépéseként a mérési alany hanyatt fekszik a vizsgálati asztalon, ezt követően a vizsgált oldali lábát felhúzza az alábbi ábrán is látható módon úgy, hogy mind a csípő-, mind a térdízülete 90°-os flexióban legyen. Ebből a kezdeti pozícióból kiindulva, a csípő ízületi flexiót megtartva a megfigyelő passzívan nyújtja ki az alany lábát mindaddig, amíg nem ütközik ízületi ellenállásba, vagy amíg a mérési alany nem jelzi, hogy mozgástartománya maximumához érkeztek, esetleg fájdalomról nem számol be (Reurink et al, 2013). A térd kinyújtásának szöge a vizsgált oldali lábszár, valamint a combcsont hossz tengelyére merőleges egyenes által bezárt szöggént határozható meg.

Az általam elvégzett feladat az irodalomban leírtakhoz képest nem passzív, hanem aktív végrehajtással zajlott, vagyis nem a gyógytornász mozgatta a mérési alany lábát, hanem önerőből kellett a feladatot végrehajtani. A teszt folyamán a mérési alany a háton fekvésben helyezkedett el. A kiinduló helyzetben (8. ábra, bal kép) a sportoló a vizsgálandó lábát felhúzta, combját függőleges helyzetben átkulcsolta, lábfejét visszafeszítette, térdét derékszögig hajlította, másik lábát a földön nyújtott helyzetben hagyta. A vizsgálat során a behajlított térdízületét kellett a mozgástartomány végéig nyújtani (8. ábra, jobb kép). Ez ideális esetben teljes kinyújtást jelent függőleges helyzetben. A mérés végrehajtása után ellentétes oldalra is megismételtetem a tesztet.



8. ábra: A térd extenziójának vizsgálatának kezdő (bal) és végpozíciója (jobb)

4.2.4 Sit and reach teszt

Utolsó tesztként az úgynevezett 'sit and reach' teszt következett. A 'sit and reach' teszt egyik leggyakrabban alkalmazott hosszirányú hajlékonysági teszt, amely segítséget nyújt a combhajlító izmok, valamint a hát alsó részének nyújthatóságának mérésében. A tesztnek számtalan technikája és variációja van, ezek közül néhány: unilaterális, bilaterális, 'V', 'Toe-touch' teszt, módosított valamint hát kímélő 'sit and reach' teszt. Ezen variációk közül a gyógytornász saját preferenciái és mérési szokásainak megfelelően választ egyet. Bármely változatról legyen szó, érdemes a feladat végrehajtása előtt bemelegíteni, és enyhe nyújtó gyakorlatokat végezni. A teszt végrehajtása mezítláb történik, a két lábat a talajon nyújtva kell elhelyezni. A két kart előre nyújtva, lefelé néző, egymáson elhelyezett tenyerekkel indul a mozgás. Magánál a mozdulatnál érdemes figyelni arra, hogy hirtelen mozdulatoktól mentes legyen a folyamat, ezzel is elkerülve a húzódás, sérülés lehetőségét. A mérési alany ameddig tud, addig előre hajol, a mozgástartomány végső pozíciójában 2 másodpercig megtartva a testhelyzetet. Ügyelni kell arra, hogy egyik kézfej se menjen a másik elé. A teszt eredményét az ujjbegy helyzete adja, melyet egy mérce segítségével határoznak meg. A mozdulat végrehajtása során végig nyújtott helyzetben kell legyen a térdízület, ezt a mérést felügyelő ember ellenőrzi. Fontos, hogy a térdet nem szabad lenyomni, ezzel megőrizve nyújtott állapotát (Mayorga-Vega, 2014).

A szakirodalomban leírtakhoz képest kismértékű módosítást hajtottam végre. A mérési alany nyújtott lábakkal, egyenes törzsszel ült, a vizsgálat során ebben a helyzetben próbált minél egyenesebb háttal előre hajolni (9. ábra). A mérés során figyeltem az ujjak lábfejekhez való

közeledését, illetve vizsgáltam a medence dőlését, ezáltal ellenőrizve, hogy ténylegesen az alsóvégtag hátsó izomláncának nyújthatóságát teszteljem.



9. ábra: 'sit and reach' teszt végrehajtása

4.3 Mérésben résztvevő személyek

A mérések során 11 utánpótláskorú kézilabdázó lányt (életkor: $16,91 \pm 0,67$ év, testmagasság: $165,77 \pm 5,55$ cm, testtömeg: $62,56 \pm 5,08$ kg) vizsgáltunk. A lányok egy csapatból kerültek kiválasztásra, viszont fontos volt, hogy különböző posztokat töltsenek be a csapaton belül. Az összes mérési személyre igaz, hogy aktuálisan fizikálisan egészséges volt, az esetleges múltbeli sérüléseiket feljegyeztük. mindenki megfelelően kipihent és hidratált állapotban érkezett a délelőtti vagy kora délutáni mérésekre. Minden vizsgált személy írásos beleegyezését adta, hogy részt vegyen a feladatok elvégzésében és adataik kiértékelésre kerüljenek.

4.4 A mérés menete

A sportolókat egyesével vizsgáltam, első lépésként felhelyezésre kerültek a markerek a meghatározott anatómiai pontok bőrfelületére, majd a mérés során a négy feladatot mindenki azonos sorrendben hajtotta végre. Elsőként a guggolás tesztre került sor, ezt követte a Thomas teszt, majd a térd extenziójának vizsgálatára került sor. Az utolsó teszt volt minden esetben a 'sit and reach' teszt. A tesztek végrehajtása után befejeződött a mérés, a felragasztott markerek leszedésre kerültek.

4.5 Feldolgozás

A méréseket követően a felvételeket a Motive programban utómunkálatoknak vetettem alá. Mivel a mérések 6 kamerával lettek rögzítve, így néhány felvétel során a rendszer elvesztette a skeleton egy-egy markerének jelölését, így ezeket utólag korrigálni kellett. Az utómunkálatok után a fájlokat .csv kiterjesztésben exportáltam.

A felvételek kiexportálása után egy saját készítésű Matlab (gyártó: The MathWorks, székhely: Amerikai Egyesült Államok, Massachusetts, Natick, verziószám: R2019a) programot használtam az adatsorok kiértékelésére. Mivel a felvételeket néhol zajosnak ítélt meg, ezért a rögzített adatsorok beolvasását követően megszürttem azokat. Irodalmi ajánlások alapján a szűréshez egy hatodrendű, aluláteresztő Butterworth-szűrőt választottam, 15 Hz vágási körfrekvenciával, mely egy digitális végtelen impulzus válasz szűrő (IIR) (Rácz és Kiss,2021). A szűrést követően a

megfelelő markereket felhasználva meghatároztam a jellemző mérőszámokat. Ezeket a következő alfejezetekben részlettem.

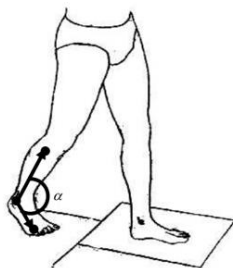
4.5.1 Guggolás teszt

A teszt elvégzése során a fő információt a boka dorziflexiójának mértéke szolgáltatta, illetve a két oldal közti eltérés. Az anatómiailag helyes bokaszög (10. ábra) meghatározásához az alábbi képletet segítségével lehetséges (Kocsis et al, 2007):

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{(x_7 - x_5)(x_1 - x_5) + (y_7 - y_5)(y_1 - y_5) + (z_7 - z_5)(z_1 - z_5)}{L_{1-5} L_{5-7}} \right] \quad (1)$$

ahol

- x_1, y_1, z_1 a corpus metatarsi V. (V. lábujj) anatómiai pont térbeli koordinátája,
- x_5, y_5, z_5 a malleolus lateralis (külső boka) anatómiai pont térbeli koordinátája,
- x_7, y_7, z_7 a caput fibulae (szárkapocs feje) anatómiai pont térbeli koordinátája,
- L_{5-7} a külső boka és szárkapocs feje anatómiai pontok közötti távolság,
- L_{1-5} a szárkapocs feje és a külső boka anatómiai pontok közötti távolság.



10. ábra: Általános bokaszög (α)

Forrás: (Kocsis et al, 2007)

Én az anatómiai értékhez képest csak közelítő értékkel tudtam számolni, az általam használt marker elrendezés miatt kis változásokat hajtottam végre az anatómiai pontokkal kapcsolatban. Az V. lábujj helyett a 'TOE' nevezetű marker koordinátaival számoltam, ami a III. és IV. lábujj tövéhez lett felragasztva. A szárkapocs feje helyett pedig a 'KNE' nevezetű marker koordinátaival számoltam, vagyis a térdet jelölő markert jelenti. Ez kismértékű eltérést eredményezett, viszont a relatív eltérés jellemzésére jó mérőszámnak bizonyult. Az így kapott közelítő bokaszöget kiszámoltam a teljes teszt folyamán, mindkét oldalra, és megkerestem az adatsoraim minimum és maximum értékeit, melyek különbsége megadta a dorziflexió nagyságát, vagyis az általam keresett szöget.

4.5.2 Thomas teszt

Mint ahogy azt a mérés leírásánál is említésre került, a Thomas-teszt végrehajtásakor a comb, illetve lábszár helyzetére vagyunk kíváncsiak a vizsgálati ágy széléhez viszonyítva. Az ágy szélének függőleges síkját két, az ágy szélének két sarkára felhelyezett marker segítségével határoztam meg.

Ezzel a függőleges síkkal bezárt szögét számítottam ki a lábszár által meghatározott egyenesnek, mely érték megadta a lábszár függőleges helyzetétől való eltérését (11. ábra, α szög).



11. ábra: A Thomas teszt esetén számolt α és β ábrázolása

Ezt követően vettem az előbb említett függőleges síkra vett szintén függőleges merőleges síkot, és ebben az esetben is kiszámoltam a lábszár illetve a comb által meghatározott egyenesek és a sík által bezárt szöget, ezzel megkapva az oldalirányú eltérést. Egyszerűen kifejezve a comb és lábszár oldalirányú kitérésének értékét számoltam ki ezzel a módszerrel. Végül meghatároztam az ágy vízszintes síkjának a comb által meghatározott egyenessel bezárt szögét, ezzel megkapva a vízszintes irányú eltérést (11. ábra β szög). A negatív előjelű szám adatok arra utalnak, hogy a comb a csípőtől a térd irányában emelkedett, a pozitív előjelű szám adat pedig ennek az ellenkezőjére utal.

Az előbb felsorolt szögek kiszámításához megírt kódot mindkét oldalra (bal és jobb oldal) lefuttattam, és táblázatba összegeztem, így könnyen áttekinthetők és kiértékelhetők az eredmények.

4.5.3 A térd extenzióját vizsgáló teszt

A szakirodalomban megfogalmazottak alapján a lábszár vízszintestől való eltérését néztem szögfokban. Vagyis meghatároztam a vizsgált oldali térd és boka markerek segítségével a lábszár egyenesét, és ennek vettem a vízszintessel bezárt szögét, és kerestem a maximális értékét. Mindkét oldalra ugyanezt a módszert alkalmaztam.

4.5.4 'Sit and reach' teszt

A 'sit and reach' teszt kiértékelése volt a legösszetettebb. Először megkerestem a lábfejek (lábujj markerek) által meghatározott függőleges síkot, és ehhez a síkhoz képest figyeltem a középső ujjakra helyezett markerek távolságát. A kiszámolt távolság adatokból kiválasztottam a minimum értékeket, ezzel megkapva a mérés eredményét. Ha a sportoló tovább tudott nyúlni a lábfejei által megszabott síkon, akkor az értékek negatív előjelet kaptak, így igaz maradt az állítás, hogy a legkisebb érték adja a számunkra fontos információt. Mivel számos esetben megfigyelhető volt, hogy a dinamikus mozdulat következtében a sportoló egy bizonyos pontig el tud nyúlni, de ezt a helyzetet nem tudja fenntartani pár másodperc erejéig sem, ezért a mérés végi statikus pozíció

értékét is figyelembe vettem. Az ujjak helyzetének vizsgálata mellett a csípő állapotát is néztem a mérés során. Mivel esetünkben csak az alsó végtagokra vannak markerek helyezve, így a medence dőlésszögéből tudunk következtetni, hogy a mozgás milyen mértékben történt a lumbális gerincszakasz segítségével, és milyen mértékben a combhajlító komplex nyújthatóságának következménye.

5 Eredmények

A leírt metódusok alapján kiszámolt eredményeimet a következőkben ismertetem.

5.1 Guggolás teszt

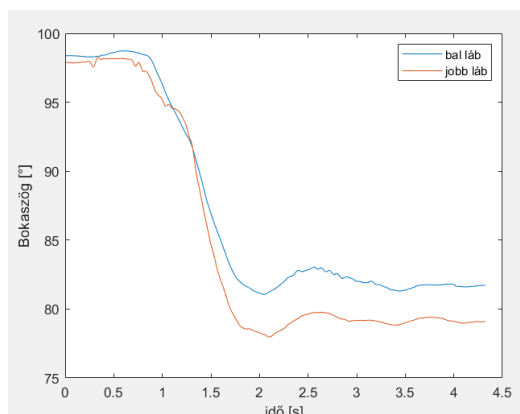
A guggolás tesztnél a leírtak alapján kiszámolt anatómiai bokaszögek értékeit az 1. táblázat foglalja magában. A táblázat utolsó oszlopában pedig a két oldal közti különbséget számszerűsítettem.

1. táblázat: [Bokaízület dorziflexiójának mértéke (bokaszög)]

Mérési alanyok	Jobb boka [°]	Bal boka [°]	Relatív eltérés [%]
sportoló 01	26,39	27,89	5,67
sportoló 02	20,25	24,31	20,03
sportoló 03	35,63	38,95	9,33
sportoló 04	24,91	28,83	15,72
sportoló 05	20,29	17,66	12,96
sportoló 06	28,98	29,40	1,44
sportoló 07	34,46	35,30	2,44
sportoló 08	26,99	27,03	0,15
sportoló 09	29,95	28,70	4,19
sportoló 10	36,67	38,00	3,61
sportoló 11	30,18	31,24	3,52

Az 1. táblázat adataiból jól kiolvasható, hogy a 3-as és 10-es sportoló rendelkezik a legnagyobb bokamobilitással, míg az 5-ös sportoló a legkisebbel. Érdekességként elmondható, hogy a legnagyobb érték közelítőleg kétszerese a legkisebbnek, ez arra enged következtetni, hogy mobilitás szempontjából széles spektrumon helyezkednek el a vizsgált lányok. Továbbá megállapítható, hogy amíg a 8-as alany két oldala között a legkisebb az eltérés, kevesebb, mint 1%, addig a 2-es számúé között a legnagyobb (kb. 20 %).

A folyamatosan rögzített mérési adatok a számszerű adatok mellett ábrákat is készítését is lehetővé teszik, akár a jobb szemléltetésre is lehetőséget nyújtanak. A 12. ábrán az 5-ös számmal ellátott alany bokaszögének alakulása látható a guggolás teszt folyamán. A két oldal közti eltérés feltűnő, jól kivehető, hogy a jobb bokaízület mozgástartománya nagyobb a bal oldalénál.



12. ábra: Az 5-ös sportoló bokaszöge a guggolás teszt folyamán

5.2 Thomas teszt

A feldolgozásnál leírt adatok numerikus értékei az egyes sportolókra. A 2. táblázat a jobb lábra vonatkozó adatokat tartalmazza, a 3. táblázat pedig a balra.

A feldolgozásnál leírt adatok számszerűleg az egyes sportolókra. Az 2. táblázat a jobb lábra vonatkozó adatokat tartalmazza, míg a 3. táblázat pedig a bal lábra vonatkozó paramétereket.

2. táblázat: [A Thomas teszt jobb alsóvégtagjára vonatkozó eredményei]

Mérési alanyok	Comb függőlegestől való eltérése [°]	Comb oldalra való kitérése [°]	Lábszár oldalra való kitérése [°]	Lábszár előre való kitérése [°]
sportoló 01	18,47	13,21	3,70	22,68
sportoló 02	8,18	10,01	3,70	24,77
sportoló 03	2,97	19,34	1,07	11,78
sportoló 04	15,88	23,18	5,66	14,65
sportoló 05	14,92	24,58	5,73	20,98
sportoló 06	17,97	23,38	9,97	13,93
sportoló 07	13,47	15,44	3,50	7,98
sportoló 08	12,79	22,57	9,38	20,91
sportoló 09	9,07	18,56	4,84	25,34
sportoló 10	-1,75	16,20	3,77	23,05
sportoló 11	6,57	23,76	10,88	30,99

3. táblázat: [A Thomas teszt bal alsóvégtagjára vonatkozó eredményei]

Mérési alanyok	Comb függőlegestől való eltérése [°]	Comb oldalra való kitérése [°]	Lábszár oldalra való kitérése [°]	Lábszár előre való kitérése [°]
sportoló 01	7,92	25,69	3,70	17,82
sportoló 02	7,69	19,34	5,45	19,47
sportoló 03	18,41	5,18	10,94	6,41
sportoló 04	14,86	18,62	7,63	13,47
sportoló 05	0,71	10,83	3,16	16,89
sportoló 06	10,31	12,71	5,75	19,65
sportoló 07	11,75	22,31	9,06	9,73
sportoló 08	12,65	13,43	10,33	21,18
sportoló 09	5,31	20,45	8,41	21,89
sportoló 10	-8,03	17,70	13,54	19,75
sportoló 11	5,19	17,56	12,58	22,37

5.3 Térd extenzióját vizsgáló teszt

Az alábbi táblázat tartalmazza a mérési alanyok lábszárának vízszintestől való maximális eltérését. Ideális esetben az érték 90° , az ettől való eltérés a combhajlító izomcsoport kontraktúrájának mértékére utal.

4. táblázat: [A lábszár vízszintes síkhoz vett eltérése]

Sportolók	Vízszintes síkhoz vett távolság		Relatív eltérés [%]	Függőleges síktól vett eltérés	
	Jobb oldal [°]	Bal oldal [°]		Jobb oldal [°]	Bal oldal [°]
sportoló 01	81,51	83,56	2,51	8,49	6,44
sportoló 02	65,66	60,37	8,05	24,34	29,63
sportoló 03	55,87	60,22	7,78	34,13	29,78
sportoló 04	67,53	59,10	12,49	22,47	30,90
sportoló 05	58,68	59,02	0,57	31,32	30,99
sportoló 06	79,88	83,20	4,16	10,12	6,80
sportoló 07	52,81	48,59	8,00	37,19	41,41
sportoló 08	80,23	83,08	3,56	9,77	6,92
sportoló 09	67,60	70,33	4,03	22,40	19,67
sportoló 10	68,05	69,90	2,73	21,95	20,10
sportoló 11	78,26	82,24	5,09	11,74	7,76

A 4. táblázat 2. és 3. oszlopának adatait végig nézve megállapítható, hogy a 7-es és 3-as sportoló combhajlító izomcsoportjának kontraktúrájának mértéke a legnagyobb, míg az 1-es és 8-as sportoló térdízületének értéke a legmagasabb. Feltűnő a 4-es sportoló két értéke közötti eltérés mértéke.

Mivel bizonyos szakirodalmak nem a 90° -tól való eltérést veszik figyelembe, hanem a függőleges helyzet megközelítésének mértékét veszik alapul, így a 4. táblázat két jobboldali oszlopa a lábszár függőleges helyzettől való eltérésének mértékét mutatja az egyes mérési alanyok esetében. Ebben az esetben az ideális a 0° érték lenne, az ettől vett különbség mértéke a combhajlító izomcsoport kontraktúrájára utal.

5.4 'Sit and reach' teszt

A 4.5.4-es alfejezetben felvázolt feldolgozási módszer segítségével kapott numerikus adatok az alábbiak.

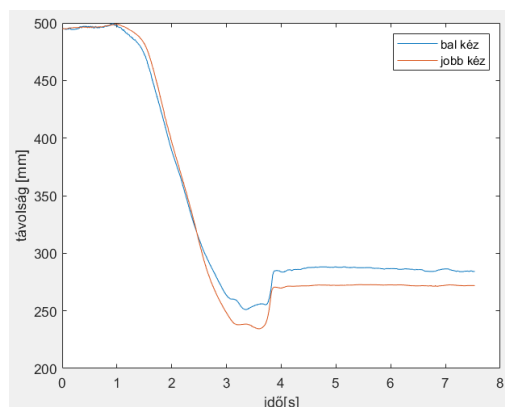
5. táblázat: [Az ujjak lábfejhez vett távolságai, és a medence dőlésszöge]

Mérési alanyok	Jobb ujj és lábfej statikus távolsága [cm]	Bal ujj és lábfej statikus távolsága [cm]	Medence dőlésszöge [°]
sportoló 01	5,73	9,28	15,97
sportoló 02	9,35	7,60	16,02
sportoló 03	10,24	8,97	12,08
sportoló 04	18,14	17,48	23,91
sportoló 05	11,22	14,37	6,35
sportoló 06	-3,18	-4,94	20,11
sportoló 07	27,20	28,54	3,57

sportoló 08	-14,84	-14,82	29,42
sportoló 09	15,16	15,88	4,37
sportoló 10	-4,13	-3,36	19,60
sportoló 11	-5,80	-3,03	18,74

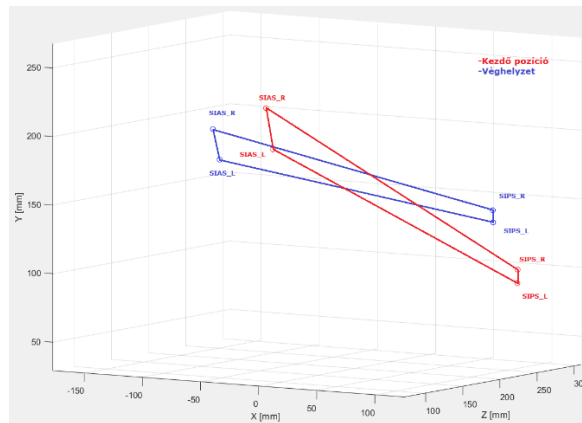
A kapott eredmények esetén, ha negatívval szerepel egy érték, akkor az azt jelenti, hogy a sportoló a lábfeje síkján túl tudott nyúlni, vagyis jól végre tudta hajtani a feladatot, ha azonban az érték pozitív előjellel rendelkezik, az a sportoló kötöttségéről árulkodik. A 5. táblázat adatait így megfigyelve megállapítható, hogy a leghajlékonyabb a 8-as, míg a legkevésbé flexibilis a 7-es alany.

Az ujjak és a lábfejek távolságának ábrázolása szintén érdekes információval szolgálhat az idő függvényében. A 13. ábra egy vizsgált személy mérését szemlélteti. Az ábrán jól kivehető, hogy lendületből a sportoló előre tud nyúlni egy bizonyos pontig, azonban ezt a helyzetet nem tudja fenntartani. Továbbá megfigyelhető a két kéz közti minimális eltérés is.



13. ábra: Az ujjak és lábfejek távolsága a 'sit and reach' teszt végrehajtása során a 7-es sportoló esetében

Továbbá a medence dőlésszögét is kiszámoltam, melynek szemléltetése a 14. ábrán látható. Az ábrán 3D-ben, piros színnel látszódik a medence kiinduló helyzetben vett helyzete, míg késsel a mozgulat végpozíciója látható. A medencét 4 anatómiai pont segítségével ábrázoltam, A jobb és bal oldali elülső felső csípőtővisekkel (SIAS), valamint a jobb és bal oldali hátulsó felső csípőtővisekkel (SIPS). A 4-4 pont segítségével meg tudtam határozni a medence síkját, így a két sík közötti szögelfordulás mértéke is megállapítható.



14. ábra: A medence dőlésszögének ábrázolása az 1-es alany adataival

A csípő anatómiai pontjaira felhelyezett markerek segítségével kiszámolt, általam használt szögek az egyes sportolók esetében a 5. táblázat utolsó oszlopa mutatja. A 5. táblázat adataiból jól látható, hogy a teszt végrehajtása során a 8-as sportoló medencéje fordult el a legnagyobb mértékben, míg a 7-es és 9-es lányé a legkevesebbé.

6 Kitekintés

A sportolók állapotfelmérő tesztjeinek korszerűsítésére és műszerezésre az utóbbi időben egyre nagyobb hangsúly tevődik. Dolgozatom megírása során azt a célt tűztem ki, hogy egy gyorsan, egyszerűen és könnyen alkalmazható kvalitatív módszert alkossak meg, amely segítség lehet a gyógytornászok mindennapjaiban, hogy a sportolók állapotára vonatkozó véleményüket objektív és kvantitatív mérési adatokkal tudják alátámasztani. A hipotézisnek megfelelően elmondható, hogy az általam bemutatott tesztek műszerezése egy objektív és pontos mérési módszer, amely kvalitatív adatokat szolgáltat a sportolók és gyógytornászok részére.

A Thomas teszt esetében számos paramétert határoztam meg, amely az eredeti szemrevételezéssel kiértékelt feladathoz képest objektívebb és számos extra információt szolgáltat, valamint komplex képet nyújt az alsó végtag izmainak állapotáról. A guggolás teszténél mért boka dorziflexiós szöge a bal boka esetén $29,61^\circ \pm 5,83^\circ$, jobb boka esetén $28,45^\circ \pm 5,33^\circ$, ami a szakirodalomban olvasható, terhelt állapotban mérhető $7,1^\circ$ - $34,7^\circ$ -os tartománnyal egybeesik (Baggett és Young, 1993). A térd aktív extenzióját vizsgáló teszt során a lábszár függőlegestől való eltérésére $21,26^\circ \pm 9,74^\circ$ és $20,94^\circ \pm 11,89^\circ$ értékeket kaptam a jobb és bal láb esetén. A szakirodalom a normatív értéknek egészséges lányok esetében $13,4^\circ \pm 6^\circ$ intervallumot határoz meg (Yıldırım et al., 2018). Itt nagyobb mértékű a deviancia, azonban megállapítható, hogy jellegetre helyes adatokat kaptam, és a kapott eredmények a gyógytornász számára használható információkat hordoznak.

A 'sit and reach' teszt esetén elmondható, hogy a teszt végrehajtása során több komponenst is vizsgáltam egyszerre, amely szemrevételezéssel nem egyszerű feladat. A medence előredőlésének meghatározásával többlet információhoz juthat a gyógytornász, amelynek nagysága szabad

szemmel nehezen érzékelhető. A kapott eredmények elég szerteágazók lettek, melyek legtöbbje az elfogadható és jó értékek között mozog (Dorneles et al., 2016).

Összeségében a numerikus eredményeket látva, megállapítható, hogy a módszer a kézilabdázók alsóvégtag állapotfelmérésére alkalmas. Rendkívül jól rávilágít a sportolók esetén felmerülő aszimmetria mértékére. Ugyan az általánosságban elmondható, hogy a domináns oldallal jobb értékeket szoktak elérni a sportolók, azonban az eltérés mértéke nem lehet számottevően nagy, mivel abban az esetben, ha a két oldal között több, mint 10 % az eltérés, az sérülésveszélyt jelent. A kapott numerikus és grafikus eredmények által pedig a gyógytornász egyből kiszűrheti a vizsgált csapatból a leginkább sérülésveszélynek kitett játékosait.

7 Konklúzió

Összefoglalva a dolgozatom során egy olyan mérési módszert szerettem volna megalkotni, amely segítséget nyújt a gyógytornászok munkája során az alsó végtag állapotfelmérésében. A módszer kidolgozásához négy tesztfeladatot műszereztem optikai-alapú mozgásvizsgáló rendszer segítségével az Országos Sportegészségügyi Intézetben. Az általam alkalmazott gyógytornász tesztek a Thomas tesztet, egy speciális guggolást, egy térd extenzióját vizsgáló feladatot és az úgynevezett 'sit and reach' tesztet foglaltak magukba. Ezen feladatokat 11 utánpótláskorú kézilabdázó lányon végeztem el, a kapott felvételeket pedig egy saját fejlesztésű Matlab programban írt saját kódokkal értékeltem ki.

Összeségében elmondható, hogy az általam alkotott módszer objektív, nagyfokú pontossággal bíró kvalitatív adatokat szolgáltat. Ezzel egyidőben megállapítható, hogy a hagyományos eszközök használatát kiküszöbölte, a sok eszköz bevonását redukálta. A kapott eredmények alkalmasak, hogy a gyógytornász munkáját segítse, következtetéseket vonjon le belőlük, és az adatok segítségével dolgozzon. Továbbá olyan adatokhoz juthatunk általa, amely szabad szemmel nehezen észrevehető, egy időben több komponenst lehet vele vizsgálni, az eredményeket időben lehet vizsgálni, akár ábrázolni, nem utolsósorban pedig bármikor visszanezézhetőek a rögzített eredmények, szükség esetén egyéb komponensek is számíthatók. A módszer visszamérések segítségével kutatáshoz is felhasználható, többek között akár a megfelelő vízfogyasztásnak, nyújtógyakorlatoknak vagy az SMR henger rendeltetésszerű használatának hatása is vizsgálható az alsóvégtag állapotára.

Továbbfejlesztési lehetőségként elmondható, hogy egy több markerből álló markerösszeállítást választva, esetleg a méréshez egyedi markervázatot alkotva még pontosabb, és szerteágazóbb anatómiai értékekhez juthatunk. Ezenfelül a mérést több kamerával elvégezve kiküszöbölhetők az esetleges vakfoltok. A számított mérőszámok bővítése érdekében érdemes lehet egyéb szoftverek (pl. OpenSim) alkalmazása is, amely akár gyorsíthat a számolási folyamaton, vagy akár előre definiált anatómiai szövegeket kiszámítását is lehetővé teszi.

8 Irodalomjegyzék

- B Baggett, B. D., & Young, G. (1993). *Ankle joint dorsiflexion. Establishment of a normal range.* Journal of the American Podiatric Medical Association, 83(5), 251-254.
- Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C. M., del Campo-Vecino, J., & Bavaresco, N. (2014). *The concurrent validity and reliability of a low-cost, high-speed camera-based method for measuring the flight time of vertical jumps.* The Journal of Strength & Conditioning Research, 28(2), 528-533.
- Dorneles, R. C. G., Oliveira, H. L. D. R., Bergmann, M. L. D. A., & Bergmann, G. G. (2016). *Flexibility and muscle strength/resistance indicators and screening of low back pain in adolescents.* Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano, 18, 93-102.
- Fernández-González, P., Koutsou, A., Cuesta-Gómez, A., Carratalá-Tejada, M., Miangolarra-Page, J. C., & Molina-Rueda, F. (2020). *Reliability of kinovea® software and agreement with a three-dimensional motion system for gait analysis in healthy subjects.* Sensors, 20(11), 3154.
- Gandbhir, V. N., & Cunha, B. (2021). *Goniometer.* In StatPearls. StatPearls Publishing.
- Hoppenfeld, S., & Éva, B. (2009). *A gerinc és a végtagok fizikális vizsgálata.* Medicina. 165.
- Kocsis, L., Kiss, R. M., & Illyés, Á. (2007). *Mozgásszervek biomechanikája.* Budapest: Terc Kiadó.
- Mayorga-Vega, D., Merino-Marban, R., & Viciania, J. (2014). *Criterion-related validity of sit-and-reach tests for estimating hamstring and lumbar extensibility: a meta-analysis.* Journal of sports science & medicine, 13(1), 1.
- Milanese, S., Gordon, S., Buettner, P., Flavell, C., Ruston, S., Coe, D., ... & McCormack, S. (2014). *Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: smart phone app versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians.* Manual therapy, 19(6), 569-574.
- Nakaizumi, D., Asai, H., & Inaoka, P. T. (2018). *Pelvic inclination angle during the straight leg raise test and knee extension test.* Bone Muscle, 1, 1-5.
- Naqvi, U. (2020). *Muscle strength grading.* Statpearls [Internet]. (megtekintve: 2021. 10. 28.)
- Oncourt: <https://oncourt.ca/wp-content/uploads/2013/05/1.jpg>, (megtekintve: 2021. 10. 31.)
- OptiTrack [wiki: https://v22.wiki.optitrack.com/index.php?title=Skeleton_Tracking#Biomechanics_Markersets](https://v22.wiki.optitrack.com/index.php?title=Skeleton_Tracking#Biomechanics_Markersets) (megtekintve: 2021. 10. 18.)
- Orthofixar: <https://www.orthofixar.com/special-test/thomas-test/>, (megtekintve: 2021. 10. 31.)
- Physiopedia: Muscle Strength Testing, https://www.physio-pedia.com/Muscle_Strength_Testing#cite_note-0-1, (megtekintve: 2021. 11. 01.)
- Puig-Diví, A., Escalona-Marfil, C., Padullés-Riu, J. M., Busquets, A., Padullés-Chando, X., & Marcos-Ruiz, D. (2019). *Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives.* PloS one, 14(6), e0216448.
- Rácz, K., & Kiss, R. M. (2021). *Marker displacement data filtering in gait analysis: A technical note.* Biomedical Signal Processing and Control, 70, 102974.
- Reurink, G., Goudswaard, G. J., Oomen, H. G., Moen, M. H., Tol, J. L., Verhaar, J. A., & Weir, A. (2013). *Reliability of the active and passive knee extension test in acute hamstring injuries.* The American journal of sports medicine, 41(8), 1757-1761.
- Singla, D., & Veqar, Z. (2014). *Methods of postural assessment used for sports persons.* Journal of clinical and diagnostic research: JCDR, 8(4), LE01.
- Yıldırım, M. Ş., Tuna, F., Kabayel, D. D., & Süt, N. (2018). *The cut-off values for the diagnosis of hamstring shortness and related factors.* Balkan medical journal, 35(5), 388.