



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

Tartalom

1	BEVEZETÉS	1
2	IRODALOMI ÁTTEKINTÉS	2
2.1	GYÓGYTORNÁSZ ÁLLAPOTFELMÉRŐ TESZTEKRŐL ÁLTALÁBAN	2
2.2	ÁLLAPOTFELMÉRŐ TESZTEK MŰSZEREZÉSE	2
2.2.1	Tartásmegfigyelés műszerezése	2
2.2.2	A gerinc görbületeinek vizsgálata	3
2.2.3	Mozgástartomány vizsgálatának műszerezése	4
2.2.4	Izomerő mérésének műszerezése	6
2.2.5	Izomaktivitás mérésének műszerezése	7
2.2.6	Mozgáselemzés műszerezése	8
3	CÉLKITŰZÉS, HIPOTÉZIS FELÁLLÍTÁSA	10
4	MÓDSZER	11
4.1	MÉRÉSI KERETRENDSZER BEMUTATÁSA	11
4.1.1	A Motion Capture rendszer	11
4.1.2	Az alkalmazott markerösszeállítás	12
4.2	A KIVÁLASZTOTT TESZTEK BEMUTATÁSA	14
4.2.1	Guggolás teszt	14
4.2.2	Thomas teszt	15
4.2.3	A térd extenziójának vizsgálata	17
4.2.4	Sit and reach teszt	18
4.3	MÉRÉSI ALANYOK	20
4.4	A MÉRÉS MENETE	20
4.5	FELDOLGOZÁS	20
4.5.1	Guggolás teszt	21
4.5.2	Thomas teszt	22
4.5.3	A térd extenzióját vizsgáló teszt	23
4.5.4	'Sit and reach' teszt	23
5	EREDMÉNYEK	24
5.1	GUGGOLÁS TESZT	24
5.2	THOMAS TESZT	25
5.3	TÉRD EXTENZIÓJÁT VIZSGÁLÓ TESZT	26
5.4	'SIT AND REACH' TESZT	27
6	KITEKINTÉS	30
7	KONKLÚZIÓ	31
8	IRODALOMJEGYZÉK	33

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 értékeli ki. Azonban tudományos munka eszközei ezen módszerek 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

2.1 Gyógytornász állapotfelmérő tesztekéről általában

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 tesztekben állnak. Továbbá 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. A vizsgálatok elvégzésére és kiértékelésére számos eszközt hívnak segítségül a gyógytornászok, amelyeket a következő alfejezetekben részletezem.

2.2 Állapotfelmérő tesztek műszerezése

Az állapotfelmérő tesztek 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.

2.2.1 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 szükséges 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. Ezen korlátok bizonyítják, hogy nem a legmegbízhatóbb módszer, tudományos kutatáshoz nem a legmegfelelőbb eszköz (Singla és Veqar, 2014).

Meg kell említeni ezenfelül a tapintáson alapuló vizsgálatot is, amely során a gyógytornász tapintás segítségével szerez információt a sportoló állapotáról (például csípőtővisek szimmetrikus elhelyezkedése, izomaktiváció sorrendje), azonban a szemrevételezésnél elmondott hátrányok itt is igazak, ezért tudományos munka eszközeként nem használható.

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.

Meg kell említenem a fotogrammetrikus módszert is, amely egy távolságmérésen alapuló módszer. Ebben az esetben is felvételeket kell készíteni több szögből a sportolóról és szoftver segítségével kiértékelni őket (Singla és Veqar, 2014).

2.2.2 A gerinc görbületeinek vizsgálata

A gerinc megfigyelésével kapcsolatosan is több segédeszköz áll rendelkezésre a gyógytornászok számára. Hagyományos eszköznek tekinthető például a hajlékony vonalzó vagy a 'flexiruler', mely hajlíthatóságának köszönhetően le tudja követni a gerinc görbületeit, ezzel információval szolgál a gerinc állapotáról.

Ennek egy alternatívája lehet a sokkal korszerűbb és megbízhatóbb eredményt adó SpinalMouse eszköz. A számítógépes egérhez hasonló eszközt végig vezetve a gerinc vonalán (1. ábra), a gerincoszlop egyfajta digitális képét kapjuk, ennek elemzésére van lehetőség. Meghatározható általa a gerinc lefutása, mozgékonyága, közvetetten a stabilitását és terhelhetőségét is fel lehet mérni. A vizsgálat során begyűjtött adatok számítógépes program segítségével kiértékelhetők, gyors eredményekhez vezetnek. Segítségével a kis változások is nyomonkövethetők, továbbá könnyen detektálhatóvá válnak a gerinc különböző elváltozásai (Livanelioglu et al, 2015).



1. ábra: A SpinalMouse használat közben

Forrás: (Livanelioglu et al, 2015)

2.2.3 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 (2. ábra), amelyek rögzített karral, szögmérővel, támaszponttal és mozgó karral állapítják meg az ízület tengelyéhez viszonyított szög nagyságát (Gandbhir és Cunha, 2021).

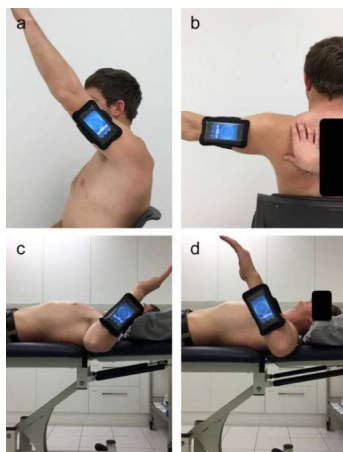
Azonban ezen eszközök által kapott eredmények pontossága és megbízhatósága megkérdőjelezhető, mivel számos kutatás rámutatott, hogy az eredményt befolyásolhatja a mérést végző személy kiléte, illetve a goniométer típusa is. Ezen probléma kiküszöbölésére nyújt egy esetleges megoldást egy telefonra letölthető applikáció, amely pontos értékeket határoz meg a mérések folyamán (Milanese et al, 2014).



2. ábra: A hagyományos goniométer és inklinométer

Forrás: (Gandhir és Cunha, 2021.)

Korszerűbb megoldás lehet mobilapplikáció segítségével végrehajtott mérések elvégzése (3. ábra). Ekkor a tesztek folyamán a megfelelő testszegmensre rögzítik a telefont, amely a mozgásváltozás mértékéből állapít meg eredményeket (Milanese és Gordon, 2014).



3. ábra: Ízületek mozgástartományának vizsgálata mobil applikáció segítségével

Forrás: (Milanese et al, 2014)

Mozgástartomány vizsgálata során szögmérés mellett bizonyos esetekben hossz-méréssel foglalkoznak, amelyre a legalapvetőbb eszköz a mérőszalag.

2.2.4 Izomerő mérésének műszerezése

Az izomerő mérése fontos eleme a fizikai vizsgálatoknak, amely fontos információkat szolgáltat az izomgyengeségről, illetve neurológiai hiányosságokról is. Ezek mellett segítségével hatékonyan megkülönböztethető a rossz állóképesség, egyensúlytalanság és a valódi gyengeség. Az izomerőt különböző módszerekkel ki lehet értékelni, többek között manuálisan, funkcionálisan és mechanikusan is. Az erő nagyságát számos tényező befolyásolhatja beleértve az idegi tényezők kombinációját, az izom felépítését, merevségét és keresztmetszetét, valamint a neuromuszkuláris gátlást (Naqvi, 2020).

Az izomerő nagyságának meghatározására is többféle műszert használnak. Az eszköz kiválasztásában nagy szerepet játszik a tesztelni kívánt izom kiléte. Egyik legismertebb ilyen teszt a markolás erejének mérése, amely során a mérési személy kézfeje által kifejtett erő nagysága adható meg. Ennek a tesztnek a pontos kiértékeléséhez dynamométert használnak, mely Newton-ban adja meg az eredményt, és az eredmény által a teljes test erejéről következtetést lehet elvonni (Physiopedia, 2021).

Kifejezetten alsóvégtag izomerejének mérésére alkalmas eszköz is létezik. Az erre a célra használt eszközök egyike a kézi dynamométer, amely izometrikus izomerő mérésére alkalmas. Erre egy példa a quadriceps izometrikus erejének mérésére kialakított teszt. Ahogy az a 4. ábrán is jól látszódik, a mérés elvégzéséhez a mérési alanyt leültetik, csípőjét stabilizálják az egyén ízületi mozgások kiküszöbölésére. A vizsgált lábat egy sínre kell helyezni, amelyet az alany antropometriájához igazítanak. A sínre való rögzítésre használt pánt belsejébe helyezik fel a kézi dynamométert. A mérés során az alany megpróbálja kinyújtani a lábát, vagyis erőt fejt ki az eszközre. A dynamométer a kifejtett erő nagyságát Newtonban adja meg, ezzel számszerűsítve a combfeszítő izomcsoport erejét (McNamara et al, 2018).



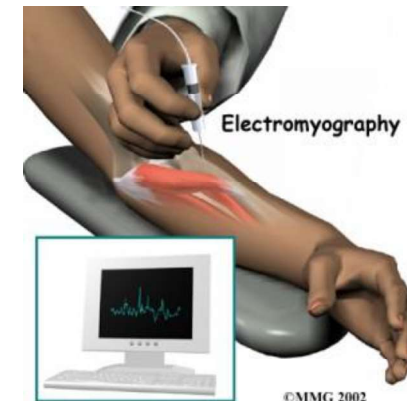
4. ábra: A kézi dynamométer használata a quadricepsz izometrikus erejének meghatározására

Forrás: (McNamara et al, 2018)

2.2.5 Izomaktivitás mérésének műszerezése

Izomaktivitás mérésére az egyik legelterjedtebb mérési módszer az elektromiográfia, rövidítve EMG. Az EMG műszere az elektromiográf, amely az izom által generált elektromos potenciált detektálja, amelyből az izomaktivitásra utaló felvételt kapunk, azaz az elektromiográfot. Az EMG az izomaktivitás vizsgálata mellett számos neuromuszkuláris betegség és motorikus szabályozási rendellenesség azonosítására alkalmas. Két típusát különböztetjük meg, a felszíni és az intramuszkuláris EMG-t.

A felszíni EMG bőrre helyezve jó következtetést ad, hogy mely felszín közeli izmok, izomcsoportok aktívak egy bizonyos mozgás során, ellenben a finom struktúráról nem nyújt kellő mennyiségű információt. Ezzel szemben az intramuszkuláris EMG tű elektródáját a vizsgálandó izomba illesztik bele (5. ábra), szigorúan orvosi felügyelet mellett, így rögzítik a nyugalomban levő, vagy éppen összehúzódó izomrostok által keltett elektromos adatokat. Ez a típusú mérés objektív adatokat szolgáltat, azonban hátránya, hogy önkéntes izomaktivációt is maga után vonhat, nehezítve a valós mérési adatok begyűjtését, mivel a mérési adatok zajosak, így az adatok feldolgozása nagy szaktudást igényel (Whittaker, 2012).



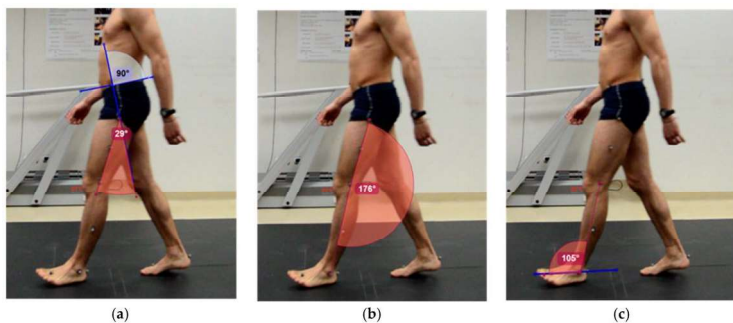
5. ábra: Az intramuszkuláris EMG

Forrás: (Whittaker, 2012)

2.2.6 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 (6. ábra), távolságok, tér és időbeli paraméterek meghatározására, mindezt markerek használata nélkül. Passzív markerek alkalmazása segít az eredmények pontosításában (Balsalobre-Fernández et al, 2014).



6. ábra: Ízületi szögek számítása Kinovea program segítségével

Forrás: (Fernández-González, Koutsu, 2020)

A 2D-s mozgáselemző programok kategóriájába tartozik még a Simi Aktysis 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 szögekről, síkokról, távolságokról (7. ábra).



7. ábra: Simi Aktysis által rögzített felvételek

Forrás: (Simi, 2021)

A kétdimenziós mozgáselemző rendszereknél jóval pontosabb adatokkal szolgálnak a három dimenziós 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.



8. 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 (8. 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. Először a mérési rendszert, vagyis a használt optikai alapú mozgáskövető rendszert, és az alkalmazott markerösszeállítást mutatom be. Ezt követően az alsóvégtag állapotfelmérésére általam alkalmazott tesztek ismertetem részletesen, mind hagyományos kivitelezésében, mind az általam eszközölt változtatásokkal. Szót ejtek a mérési alanyokról, valamint a feldolgozás folyamatáról is.

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 (9. ábra). A kamerákat váltakozó magasságban állványokra helyeztem, és lencséjüket úgy irányítottam, hogy a lehető legnagyobb területet lefedjem.



9. ábra: Flex 13 kamera

Forrás: (OptiTrack, 2021)

A kamerák működéséhez szükséges Motive szoftver (gyártó: Motive Inc., székhely: USA, Texas, Austin, verziószám: 1.21) segítségével elvégeztem a mérése előtt szükséges kalibrálási folyamatot, majd rögzítettem a mérőtér globális koordináta rendszerét. Ezen lépéseken végighaladva kezdhettem el a méréseimet. 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. Ezek mellett természetesen arra is van lehetőség, hogy saját marker elrendezést határozzunk meg, ilyenkor azonban a kiválasztott anatómiai pontok definiálása külön szükséges. Az előre definiált vázak mindegyike tartalmazza a markerek címkéit, vagyis a megnevezésüket, továbbá a pozíciójuk pontos helyzetét a mérési alanyon. 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.



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

Forrás: (OptiTrack wiki, 2021)

Az általam alkalmazott marker elrendezés a 10. 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 térdre (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 markereket az összes mérési alany esetén egyesével, kétoldalú ragasztó segítségével helyeztem fel.

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.

A feldolgozás és a marker elrendezés kalibrálásához szükséges, így a mérési előkészületek részeként a felmarkerezést követően minden mérési alany esetén rögzítettem egy 5 másodperces statikus felvételt. Ez az úgynevezett T-póz (11. ábra), mivel az alany nyújtott, zárt

lábakkal áll, karjait oldalsó középtartásban tartja. Ezen póz segítségével tudja a rendszer ráilleszteni a markerek halmazára az általunk kiválasztott skeletont.



11. ábra: A sportoló T-pózban

4.2 A kiválasztott tesztek bemutatása

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

4.2.1 Guggolás teszt

Mivel 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 12. ábrán látható. A guggolás akkor tekinthető szabályszerűnek, ha az alany nem lefelé, hanem előre kezdte engedni a testsúlyát, miközben a térd 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.



12. ábra: Guggolás test 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 elkezdni 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 (13. ábra) (Hoppenfeld, 2009).

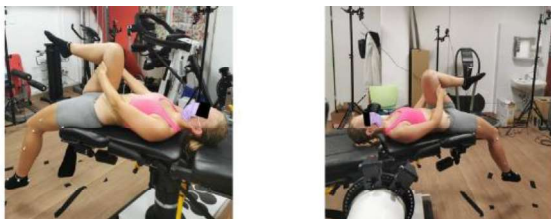
Thomas Test



13. ábra: A pozitív Thomas teszt

Forrás: (OrthoFixar, 2021)

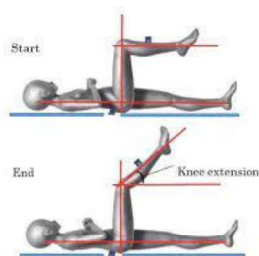
A szakirodalomban leírtakhoz képest kisebb módosításokkal lett végrehajtva a vizsgálati feladat úgy, hogy az a vizsgálat célját (a csípőízület flexiós kontraktúrájának vizsgálatát) ne befolyásolja. A feladat során a mérési alanyok a vizsgálati ágy szélén foglaltak helyet, egyik lábukat hajlítva felhúzták mellkashoz és átkulcsolták. Ebből az ülőhelyzetből kellett a hátukra gurulni, az asztalról lelógó lábukat teljesen elengedve feküdni (14. 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.



14. 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 (15. ábra). 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)



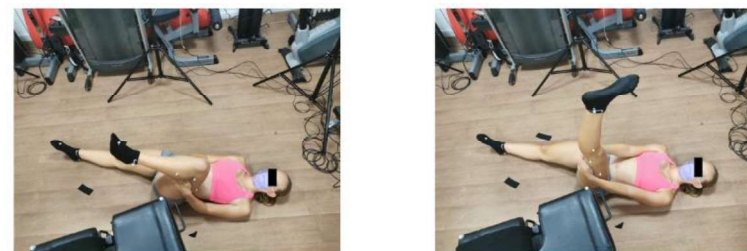
15. ábra: A térd extenziójának vizsgálata

Forrás: (Nakaizumi et al 2018)

A térd kinyújtásának szöge a vizsgált oldali lábszár, valamint a combcsont hossz tengelyére merőleges egyenes által bezárt szögeként 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 (16. ábra) 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 (16. ábra). Ez ideális esetben teljes kinyújtást jelent függőleges helyzetben. A mérés végrehajtása után ellentétes oldalra is megismételtettem a tesztet.



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

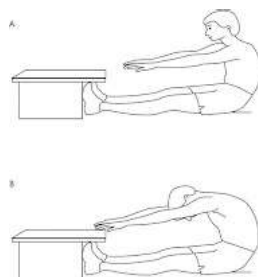
4.2.4 Sit and reach teszt

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 'sit and reach' teszt
- Bilaterális 'sit and reach' teszt
- 'V sit and reach' teszt
- 'Toe-touch' teszt
- Módosított 'sit and reach' teszt
- 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 térdizület, ezt a mérést felügyelő ember ellenőrzi. Fontos, hogy a térdet nem szabad lenyomni, ezzel megőrizve nyújtott állapotát. Mindezek mellett fontos, hogy az alany a mozgás során normálisan lélegezzon, ne tartsa vissza a levegőt. (Mayorga-Vega, 2014)



17. ábra: A 'sit and reach' teszt kezdő és végpozíciója

Forrás: (Oncourt, 2013)

A szakirodalomban leírtakhoz képest kismértékű módosítást hajtottam végre. A mérési alany nyújtott lábakkal, egyenes törzssel ült, a vizsgálat során ebben a helyzetben próbált minél egyenesebb háttal előre hajolni (18. ábra). Az eredeti méréshez képest (17. ábra) nem helyeztem el számolyt az alanyok talpához, ezzel segítve a markerek jobb láthatóságát, továbbá a két kézfej nem egymáson helyezkedett el, hanem a lábfejek két oldalán. A mérés során figyeltem az ujjak lábfejekhez való közeledését, illetve vizsgáltam a medence dőlését, ezáltal ellenőrizve, hogy ténylegesen az alsóvégtag hátsó izomláncának nyújthatóságát teszteljem.



18. ábra: 'sit and reach' teszt végrehajtása

4.3 Mérési alanyok

A mérések során 10 utánpótláskorú, 16-18 éves kézilabdázó lányt vizsgáltunk. A lányok egy csapatból kerültek kiválasztásra, viszont fontos volt, hogy különböző posztokat töltsenek be a csapaton belül. Az összes mérési alanyra 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 kiértékelésére kerüljenek.

4.4 A mérés menete

Az általam végzett mérések előtt az OSEI-ben dolgozó dietetikus által megtörtént a lányok antropometriai adatainak felvétele. Ezt követően a mérés menete ismertetésre került. A sportolókat egyesével vizsgáltam, első lépésként felhelyezésre kerültek a markerek a meghatározott anatómiai pontok bőrfelületére. A mérések megkezdése előtt a statikus pozíciót (T-póz) rögzítettem, majd a mérés során a négy feladatot mindenki azonos sorrendben hajtottam 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, amelyhez a 3. ujjra markerek csak közvetlen a mérés előtt kerültek felragasztásra. A tesztek végrehajtása után befejeződött a mérés, a felragasztott markerek leszedésre kerültek.

4.5 Feldolgozás

A méréseket követően a felvételeket a Motive programban utómunkálatoknak vettem 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. Illetve a vizsgálati

ágy széleit jelölő markereket is fel kellett címkézni. 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) (Rác és Kiss, 2021). A szűrést követően a megfelelő markert felhasználva meghatároztam a jellemző mérőszámokat. Ezeket a következő alfejezetekben részletelem.

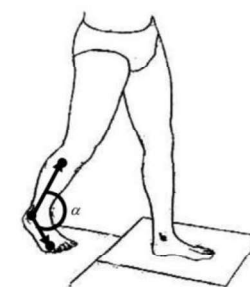
4.5.1 Guggolás teszt

A teszt elvégzése során a fő információt a boka dorziflexiójának mértéke szolgáltatta, illetve a két oldal közti eltérés. Eredeti terveim között szerepelt, hogy a felvételeket ennél a tesztnél nem kézzel, hanem egy erre alkalmas program, az OpenSim programmal értékelem ki, azonban bizonyos felvételeknél nem jutottam reális eredményekhez, így végül MATLAB R2019a kódot írtam az eredmények legenerálására. Az általam használt képlethez az anatómiai helyes bokaszög képletét vettem alapul. segítségével értékelem ki. Ez a program azonban csak akkor tudja meghatározni az anatómiai szögeket, ha az az adott felvételnél az összes marker maradéktalanul rögzítésre került. Mivel a relatív kevés kamerának köszönhetően az utómunkát követően is maradtak kitakarásban lévő markerek a guggolás során nem jutottam reális eredményekhez, így végül kézi számítással határoztam meg ezeket az anatómiai szögeket. Az anatómiai helyes bokaszög (19. 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.



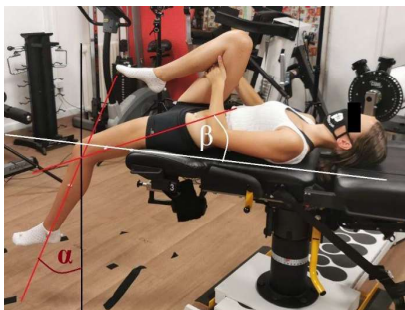
19. ábra: Általános bokaszög (α)

Forrás: (Kocsis et al, 2007)

Azonban 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 szöget számítottam ki a lábszár által meghatározott egyenesnek, mely érték megadta a lábszár függőleges helyzettől való eltérését (20. ábra, α szög).



20. 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 (20. ábra β szög). A negatív előjelű számadatok arra utalnak, hogy a comb a csípőtől a térd irányában emelkedett, a pozitív előjelű számadat 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 módszer alapján kiszámolt eredményeimet a következőkben ismertetem.

5.1 Guggolás teszt

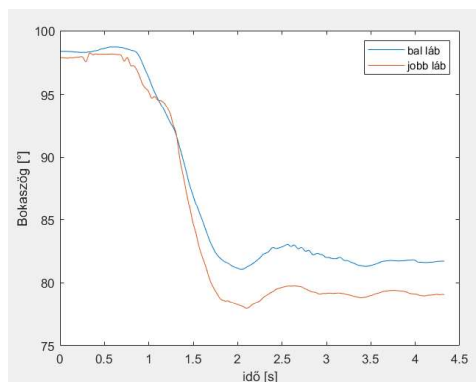
A guggolás tesztnél a leírtak alapján kiszámolt anatómiai bokaszögek értékeit az 1. táblázat foglalja magában. A táblázat utolsó oszlopában pedig a két oldal közti különbséget számszerűsítettem.

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 alany 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 21. ábrán az 5-ös számmal ellátott alany bokaszögeének alakulása látható a guggolás teszt folyamán. A két oldal közti eltérés feltűnő, jól kivehető, hogy a jobb bokaízület mozgástartománya nagyobb a bal oldalénál.



21. ábra: Az 5-ös alany 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]

Mérési alanyok	Jobb oldal [°]	Bal oldal [°]	Relatív eltérés [%]
sportoló 01	81,51	83,56	2,51
sportoló 02	65,66	60,37	8,05
sportoló 03	55,87	60,22	7,78
sportoló 04	67,53	59,10	12,49
sportoló 05	58,68	59,02	0,57
sportoló 06	79,88	83,20	4,16
sportoló 07	52,81	48,59	8,00
sportoló 08	80,23	83,08	3,56
sportoló 09	67,60	70,33	4,03
sportoló 10	68,05	69,90	2,73
sportoló 11	78,26	82,24	5,09

A 4. táblázat adatait végignézve megállapítható, hogy a 7-es és 3-as mérési alany 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 az 5. táblázatba a lábszár függőleges helyzettől való eltéréseinek 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. táblázat: [A lábszár függőleges siktól való eltérése]

Mérési alanyok	Jobb oldal [°]	Bal oldal [°]
sportoló 01	8,49	6,44
sportoló 02	24,34	29,63
sportoló 03	34,13	29,78
sportoló 04	22,47	30,90
sportoló 05	31,32	30,99
sportoló 06	10,12	6,80
sportoló 07	37,19	41,41
sportoló 08	9,77	6,92
sportoló 09	22,40	19,67
sportoló 10	21,95	20,10
sportoló 11	11,74	7,76

5.4 'Sit and reach' teszt

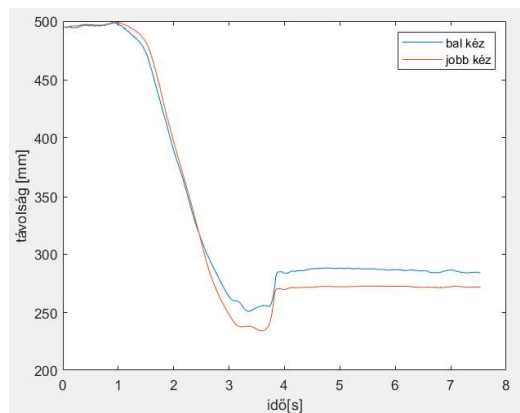
A felvázolt feldolgozási módszer segítségével kapott numerikus adatok az alábbiak.

6. táblázat: [Az ujjak lábfejhez vett távolságai]

Mérési alanyok	Jobb ujj és lábfej statikus távolsága [cm]	Bal ujj és lábfej statikus távolsága [cm]
sportoló 01	5,73	9,28
sportoló 02	9,35	7,60
sportoló 03	10,24	8,97
sportoló 04	18,14	17,48
sportoló 05	11,22	14,37
sportoló 06	-3,18	-4,94
sportoló 07	27,20	28,54
sportoló 08	-14,84	-14,82
sportoló 09	15,16	15,88
sportoló 10	-4,13	-3,36
sportoló 11	-5,80	-3,03

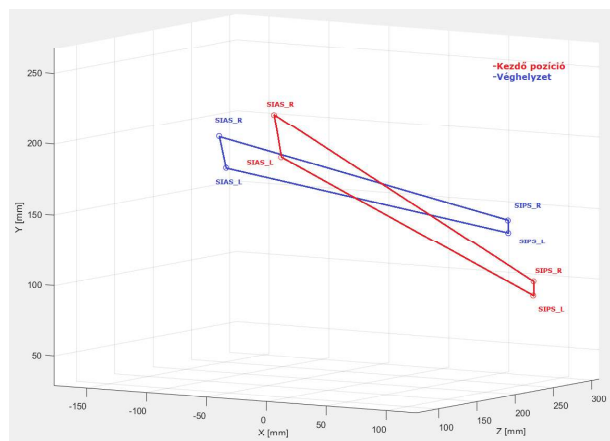
A kapott eredmények esetén, ha negatívval szerepel egy érték, akkor az azt jelenti, hogy a sportoló a lábfeje síkján túl tudott nyúlni, vagyis jól végre tudta hajtani a feladatot, ha azonban az érték pozitív előjellel rendelkezik, az a sportoló kötöttségéről árulkodik. A 6. táblázat adatait így megfigyelve 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 22. 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.



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

Továbbá a medence dőlésszögét is kiszámoltam, melynek szemléltetése a 23. ábrán látható. Az ábrán 3D-ben, piros színnel látszódik a medence kiinduló helyzetben vett helyzete, míg kékkel a mozdulat 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.



23. 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 7. táblázatban olvashatók.

7. táblázat: [A medence dőlésszöge]

Mérési alanyok	Medence dőlésszöge [°]
sportoló 01	15,97
sportoló 02	16,02
sportoló 03	12,08
sportoló 04	23,91
sportoló 05	6,35
sportoló 06	20,11
sportoló 07	3,57
sportoló 08	29,42
sportoló 09	4,37
sportoló 10	19,60
sportoló 11	18,74

A 6. 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 legkevesébé.

6 Kitekintés

A sportolók állapotfelmérő tesztjeinek korszerűsítésére és műszerezésre az utóbbi időben egyre nagyobb hangsúly tevődik. Dolgozatomban 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 tesztnél 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 egybees (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 jellegre 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 komponens 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 szerteágazóak lettek, melyek legtöbbje az elfogadható és jó értékek között mozog (Dorneles et al., 2016).

Összességében 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.

Összességében 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 komponens is 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 rendeltetészerű 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 az alkalmazott hat darab kamera nem minden esetben tudta lefedni a teljes mérési területet. A mérést több kamerával elvégezve kiküszöbölhetők az esetleges vakfoltok. A számított mérőszámok bővítése érdekében érdemes lehet egyéb szoftverek (pl. OpenSim) alkalmazása is, amely akár gyorsíthatja a számolási folyamatot, vagy akár előre definiált anatómiai szögeket 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.

Livanelioglu, A., Kaya, F., Nabiyev, V., Demirkiran, G., & Firat, T. (2016). *The validity and reliability of "Spinal Mouse" assessment of spinal curvatures in the frontal plane in pediatric adolescent idiopathic thoraco-lumbar curves.* European Spine Journal, 25(2), 476-482.

McNamara, S., Gallardo Hevia, E., St. Louis, R., Cho, W., Lee, S., Moyne, M., ... & Awad, L. N. (2018). *Isometric Quadriceps Strength Test Device to Improve the Reliability of Handheld Dynamometry in Patient With Anterior Cruciate Ligament Injury.* In *Frontiers in Biomedical Devices* (Vol. 40789, p. V001T09A001). American Society of Mechanical Engineers

Mayorga-Vega, D., Merino-Marban, R., & Viciano, 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
(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.

Whittaker, R. G. (2012). *The fundamentals of electromyography. Practical neurology*, 12(3), 187-194.

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.