

UTÁNPÓTLÁSKORÚ KÉZILABDÁZÓK ALSÓVÉG TAG ÁLLAPOTFELMÉRŐ VIZSGÁLATAINAK MŰSZEREZÉSE

Ágoston Dorottya¹, Pálya Zsófia¹, Bacskai Katalin², Kiss Rita M¹

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

² Országos Sportegészségügyi Intézet

rita.kiss@mogi.bmc.hu

DOI: 10.17489/biohun/2022/1/314

Absztrakt

Mint minden sportágban, így a kézilabda sport keretein belül is rendkívül fontos a sportolók megfelelő állapotfelmérése. Ezen mérések kiértékelésével a gyógytornászok átfogó képet kapnak a sportolók aktuális állapotáról. A felmérések után a megfelelő feladatok kiválasztásával tudják a versenyzők ízületeinek mozgástartományát növelni, a gyenge izmokat erősíteni, vagy a túlműködőket nyújtani.

A kutatás célja az alsó végtag állapotfelmérésére szolgáló objektív módszer kidolgozása, amely alkalmas a főbb ízületek mozgásterjedelem és szög tartomány értékeinek pontos meghatározására. Ehhez egy kitelepíthető optikai-alapú OptiTrack márkájú mozgásvizsgáló (motion capture) rendszert használtunk, amely a kijelölt anatómiai pontok térbeli helyzetét rögzíti. Az ebből számított jellemzők monitorizálhatóvá teszik a változásokat, segítik a gyógytornászt az egyéni rehabilitáció kialakításában. Az optikai mozgáskövetésnek köszönhetően objektíven mérhető a mobilizációs feladatok során a térdízületi és bokaízületi szögek terjedelmei, a medence dőlési szöge, ezekből következtethetünk combhajlító izmok feszességére és lazaságára. A négy teszt-feladat: speciálisan kivitelezett guggolási feladat, a Thomas teszt, egy a *hamstring* izomcsoport (combhajlító izmok) nyújthatóságát vizsgáló feladat, valamint az úgynevezett *sit and reach* teszt. A méréseinket 11 utánpótláskorú (16-18 éves) női kézilabdázó bevonásával végeztük el. Az alkalmazott feladatok kiértékelése teljes képet ad az alsó végtag (boka-, térd- és csípőízületek) állapotáról, valamint következtetéseket vonhatunk le az izomzat feszességéről. A kidolgozott módszer segítségével a hagyományos (korábban is használt) mérőszámok – mint a boka dorsiflexiós szöge, a térdszög flexió-extenziós mozgástartománya vagy a maximális előrenyúlás – a szakirodalmi adatoknak megfelelően nagy pontossággal mérhető. Ezen felül olyan mérőszámok meghatározását teszi lehetővé (pl. medence billenése, transzverzális síkban történő szögkitérések), ami szemrevételezéssel korábban nem volt lehetséges.

Kulcsszavak: motion capture, kézilabda, gyógytorna, Thomas teszt, sit and reach teszt

ASSESSMENT OF LOWER LIMB CONDITION OF YOUNG HANDBALL PLAYERS VIA MOTION ANALYSIS

Abstract

As in most sports, it is crucial to assess the condition of athletes in handball properly. By evaluating these measurements, the physiotherapists receive a comprehensive picture of the athletes' physical condition. These results can help the athletes increase the range of motion of joints, strengthen the weak muscles, and stretch the overactive ones.

This present study aimed to develop an objective method for assessing the condition of the lower limb coordination in young female handball players (age of 16-18). For this purpose, optical-based motion analysis was carried out, which helps the physiotherapists to monitorize the small, achieved results more efficiently during the progress. With the help of the 3D motion analysis the range of motion of the lower extremities' joint can be objectively measured during the mobilization tasks, which can also be used to infer the tightness and looseness of the flexor muscles. In the motion analysis, four field tests were included; a special squat, the Thomas test, a test that helps to examine the extensibility of the hamstring muscle group, and the 'sit and reach' test. For evaluating the results, a self-developed Matlab program was applied. To sum up, the tests and the described method allow us to determine the condition of ankle, knee, and hip joints and the quality of the muscles of the whole lower limb. The developed objective, in-site measurement procedure could be built in the athletes' training program.

Keywords: motion capture, handball, physiotherapy, Thomas test, sit and reach test

BEVEZETÉS

Napjainkban is a gyógytornász állapotfelmérő vizsgálatok – köztük az alsóvégtag állapotára irányuló vizsgálatok legtöbbjét – eszközök nélküli, szemrevételezésen vagy tapintáson alapuló módszeren alapul. Ezen szemrevételezéses vizsgálatok fő problémája, hogy kvalitatív adatokkal nem szolgálnak, és nagyfokú szubjektivitással járhatnak. Néhány vizsgálat esetén a hagyományos eszközöket alkalmazzák, mint a goniométer vagy mérőszalag.¹ Bár a hagyományos eszközök alkalmazása egyszerű, azok térbeli és anatómiailag helyes pozíciójának felvételéből adódó pontatlanságok az eredményt szignifikánsan befolyásolhatják. Ezt fokozza, ha a vizsgálatvezető személye is változik. E mérési pontatlanságok megnehezítik például a kis mértékű változások nyomonkövetését, illetve a mérések megismételhetőségét.^{2,3}

A technológia fejlődésével egyre több példát találhatunk a szakirodalomban az állapotfelmérő tesztek korszerű műszerezésére.^{2,3} Mourcou és mtsai egy telefonos applikációt készítettek, amely az adott végtagra felhelyezett mobiltelefon szenzorainak segítségével lehetővé teszi az ízület mozgástartományának meghatározását.⁴ Továbbá egyre elterjedtebbek az egy, esetleg több kamerát alkalmazó, 2D képelemzésen alapuló mozgáselemzési eljárások alkalmazása. Ilyen egyszerűbb, ingyenes elérhető szoftver az így készült felvételek kiértékelésére például a Kinovea,^{5,6} amellyel ízületi szögváltozásokat, mozgástartományokat is meg lehet határozni. Ennél pontosabb megfigyelést és elemzést tesznek lehetővé a háromdimenziós (3D) technikák. Napjainkban az egyik legelterjedtebb, térbeli mozgásvizsgáló rendszerek markereket alkalmaznak, amelyek milliméter alatti pontossággal hatá-

rozzák meg a markerek térbeli helyzetét mozgás közben, lehetővé téve ezzel az anatómiai szögek meghatározását térben és időben, non-invazív módon.⁷

Jelen kutatás célja egy az alsó végtag állapotfelmérésére alkalmas objektív mérési módszer kidolgozása, amely nagy pontosságú, kvalitatív adatokat szolgáltat a térd-, boka- és csípőízületekről, valamint következtetést enged az ezeket összekötő izmok állapotáról, hozzájárulva a sportolók állapotfelmérési vizsgálataihoz. A kidolgozott módszer elsődleges célja, hogy kiküszöbölhetővé tegye a hagyományos gyógytornász vizsgálati módszerek során esetlegesen felmerülő szubjektivitásból adódó pontatlanságokat, nyomon követhetővé tegye a relatíve kicsi változásokat. Ezzel segíti a gyógytornászok munkáját, valamint a sportolók – és köztük kiemelten a kézilabdázók – fizikai állapotának javítását. A kidolgozott módszer része egy mobilis, gyorsan elvégezhető tesztekkel álló mérési sorozat kialakítása, ami megfelelően jellemzi az alsó végtagok állapotát. A mozgásvizsgálaton alapuló mérési módszer alkalmazásával a korábban alkalmazott "hagyományos" mérőszámokat (boka dorziflexiós szöge, térdszög mozgásterjedelme, előrenyúlás mértéke) szeretnénk objektív módon, nagy pontossággal meghatározni a mérések során, valamint bevezetni olyan új mérhető paramétereket, amelyek segítik a nyomon követést és a korábbi eszközökkel nem, vagy csak nehezen megadhatók.

MÓDSZEREK

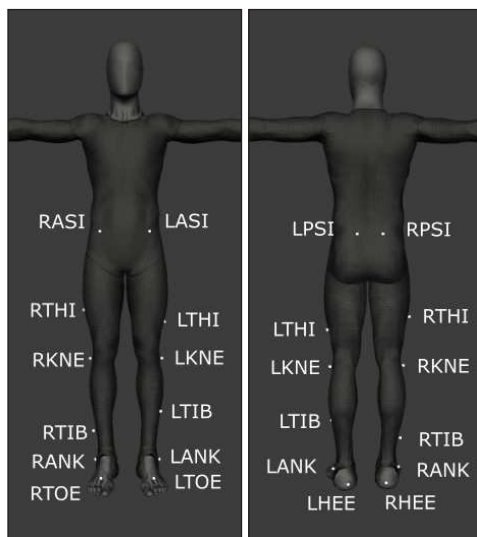
A mérési keretrendszer bemutatása

A méréseket az Országos Sportegészségügyi Intézetben végeztük el egy kitelepíthető optikai-alapú OptiTrack (NaturalPoint, Corvallis, Oregon, USA) mozgásvizsgáló rendszer segítségével. A tesztek felvételéhez hat darab infravörös tartományban működő, Flex 13 (felbontás: 1280×1024 px, felvétel sebessége:

30-120 fps, FOV: 56×46°) típusú kamerát alkalmaztunk. A kamerák működéséhez szükséges Motive szoftver (Motive Inc., Austin, Texas, USA, 1.21) segítségével rögzítettük a markerek térbeli helyzetét A mérések során az előre beállított mintavételezés 120 Hz volt, az alsó végtag anatómiai pontjainak megjelenésére egy előre definiált, 16 markerből álló marker elrendezést használtunk (1. ábra). A markerek között található anatómiai ponton elhelyezkedő (12 db) és "szabadon elhelyezhető" oldaljelölő marker (4 db) is. Ezen kívül néhány tesztnél speciálisan elhelyezett markerek kerültek felhelyezésre: két markerrel a vizsgálati ágy széle került kijelölésre, és a csípőmobilitás teszt során plusz marker került a vizsgált személyek kezének középső ujjára is.

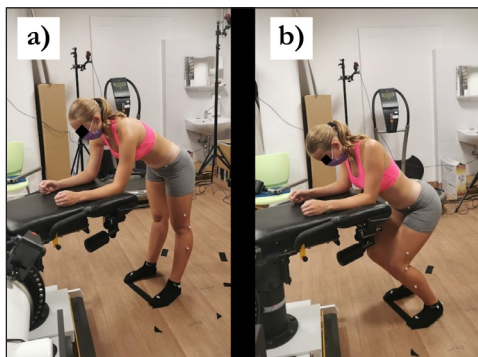
A kiválasztott tesztek bemutatása

A tesztek kiválasztásánál számos szempontot figyelembe vettünk. A tesztek kiválasztása



1. ábra. A használt markerösszeállítás. Anatómiai markerek: elülső felső csípőtővis (RASI, LASI), hátulsó felső csípőtővis (RPSI, LPSI), térd (RKNE, LKNE), boka (RANK, LANK), sarok (RHEE, LHEE), lábfej (RTOE, LTOE). Szegmens markerek: comb (RTHI, LTHI), lábszár

során szem előtt tartottuk, hogy a feladat elvégzése során csak minimális számú marker kerüljön letakarásra. Fontos, hogy a tesztekkel az összes ízületet (boka, térd, csípő) megvizsgáljuk, és ezek mozgásában résztvevő izmok (csípő flexorok, combhajlítók, feszítők és a háromfejű lábikraizom) állapotát illetően is többletinformációhoz juthatunk. A guggolás egy úgynevezett mobilizációs gyakorlat, azonban számos esetben használják a bokaízület állapotának felmérésére sportolók esetén. Az általunk végzett guggolás teszt kiindulóhelyzetének felvételekor a sportoló egy asztal előtt alkartámaszban helyezkedik el (2. ábra). A térdék nyújtva és a talpak csípőszéles távolságra vannak. A mérés során a sportoló elkezd hajlítani a térdízületét addig, amíg a sarkai nem emelkednek el a talajtól. Ezt a térdhajlítást úgy végezi el, hogy a súlypontja előre, a lábujjakra helyeződik. Minden vizsgált személy esetén egy, a leírás szabályainak megfelelően elvégzett guggolás került rögzítésre.



2. ábra. A guggolás teszt kezdő (a) és végpozíciója (b)

A Thomas teszt a flexor izmok, elsősorban a *quadriceps* és az *iliopsoas* feszességének tesztelésére alkalmas. A teszt kivitelezése során a sportoló az ágy széléhez áll, a nem vizsgált oldali lábát hashoz húzza és így fekszik az ágyra. A vizsgált oldali láb lelóg az ágyról és a térd is feszítetlen állapotban marad (3. ábra). A tesztet mindkét láb felhúzásával elvégzésre

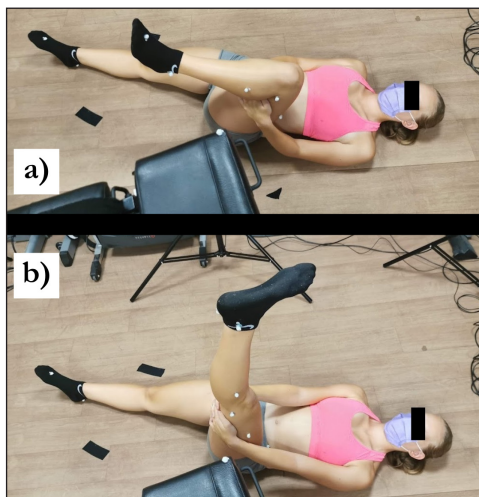
került. A vizsgált oldali (nem felhúzott) láb helyzetét a vizsgáló ágy vízszintes és függőleges síkjához képest vizsgáltuk. Ehhez külön markereket helyeztünk fel a vizsgálóágy két szélére.



3. ábra. Thomas teszt kivitelezése

A térd extenziójának vizsgálatakor a mérendő személy hanyatt fekszik. A nem vizsgált oldali térd és csípőízület nyújtott állapotban a talajon marad. A vizsgált oldali végtagot a nyújtott helyzetből felhúzza úgy, hogy a térd- és a csípőízület derékszöget zárjon be. Ez a vizsgálat kiinduló helyzete (4. ábra). A mérés során arra kérjük a sportolót, hogy nyújtsa ki a térdét a plafon irányába. A mérést megismételjük a másik oldalra is. A véghelyzet során a vizsgált végtagnak a lehető legközelebb kell lennie a kinyújtott (180° bezáró) állapothoz. A kapott eredmény során a térdhajlító izomcsoport feszességéről kapunk információt.

A *sit and reach* teszt esetén a kiindulóhelyzet felvételekor a sportoló egyenes háttal ül és mindkét térdízület nyújtva van. A teszt során azt kérjük, hogy hajoljon előre és próbálja megérinteni a lábujjait, esetleg nyúljon túl a láb síkján, majd ezt a pozíciót tartsa meg 5 másodpercig (5. ábra). A teszt során plusz markerek kerültek felhelyezésre a középső ujjakra, a kezek mozgásának rögzítése érdekében. Abban az esetben sikeres a teszt, ha sikerül a sportolónak elérni legalább a lábfeje síkját.



4. ábra. A térd extenziójának vizsgálata, a mérés kezdő (a) és végpozíciója (b)



5. ábra. A sit and reach teszt kivitelezése

A vizsgált személyek

A mérések során 11 utánpótláskorú, 16-18 éves kézilabdázó lányt vizsgáltunk (életkor: $16,91 \pm 0,67$ év, magasság: $165,77 \pm 5,54$ cm, testtömeg: $62,56 \pm 5,08$ kg). A lányok egy csapatból kerültek kiválasztásra. A beválogatás során azt is figyelembe vettük, hogy különböző poszton játszó játékosok kerüljenek a vizsgált személyek közé. Az összes mérési alanya aktuálisan fizikálisan egészséges volt, az esetleges múltbeli sérüléseiket feljegyeztük. Mindenki megfelelően kipihent és hidratált állapotban érkezett a délelőtti vagy kora dél-

utáni mérésekre. Minden vizsgált személy írásos beleegyezését adta, miután a vizsgálat minden részletéről tájékoztatást kapott. A kutatást a Testnevelési Egyetem Tudományos és Kutatásügyi Bizottsága engedélyezte (TE-KEB/17/2021).

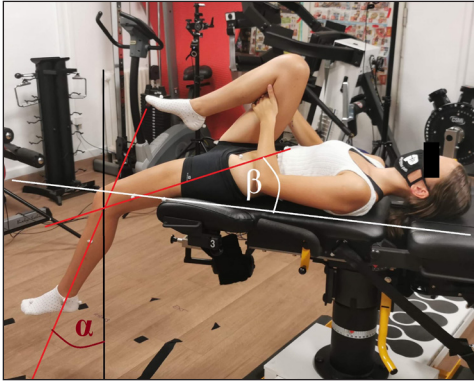
Mért és számított jellemzők

A guggolás teszt során a boka dorsiflexiós szögének mozgástartományát határozzuk meg. Kocsis munkája alapján az anatómiailag helyes bokaszög meghatározásához az V. lábujjra, a külső bokára és a szárkapocs fejére helyezett markerek térbeli koordinátájára van szükség.⁸ A mérés során egy egyszerűsített marker elrendezést alkalmaztunk, csak a III. és IV. lábujjak tövével, a külső bokán, valamint a térdízületre helyezett markerek álltak rendelkezésre. Így a boka dorsiflexiós szögének meghatározásához ezen markereket használtuk fel. A teljes teszt folyamán számított szögértékek minimum és maximum értékeinek meghatározásával a dorsiflexiós szög mozgástartományát számítható.

Thomas-teszt végrehajtásakor cél a comb, és lábszár helyzetének elemzése a gyakorlat során. A teszt során meghatároztuk a lábszár *sagittalis* síkban vett helyzetét a vizsgáló ágy síkjára merőleges, függőleges síkhoz képest (6. ábra: α szög). Ezen kívül meghatározásra került a comb *sagittalis* síkban vett helyzete a vizsgáló ágy vízszintes síkjához képest (6. ábra: β szög). A lábszár és a comb helyzetének meghatározása után a transzverzális síkban vett oldalirányú kitéréseket is kiszámítottuk. Ehhez a korábban használt egyenesek transzverzális síkba vett vetületét határoztuk meg. A kiértékelés során pozitív a teszt, azaz az ideális állapothoz képest eltérést mutat a sportoló állapota, amennyiben:

- a medence elemelkedik;
- a comb nem fekszik fel az ágyra;

- a térd magasabban helyezkedik el a csípőnél (ilyenkor a 6. ábrán látható β szög negatív előjellel kerül megkülönböztetésre);
- a comb elmozdul az ágy széle felé;
- illetve a lábszár előremozdul a függőleges állapothoz képest (6. ábra: α szög).



6. ábra. A Thomas teszt során számított szögértékek

A térd extenziójának vizsgáló teszt során azt vizsgáljuk, hogy a vizsgált oldali végtag kinyújtása után mekkora lesz annak a függőlegestől való eltérésének mértéke.⁹ A teszt kiinduló pozíciójában a térd- és a csípő ízület 90° -t zárnak be, így a térdízület vizsgált mozgástartománya a 0° és 90° tartományba esik. Ha a sportoló nem tudja teljesen kinyújtani a térdízületét (90° -nál kisebb értéket kapunk), és ez feszülő érzésen kívül más panasszal nem jár, akkor ez csökkent mobilitást jelent. Ha ehhez az állapothoz egyéb panasz (zsibbadás, fájdalom) is jár, akkor további vizsgálatot kell végezni. A térdízület extenziós szögét a bokára, térdre és csípőre ragasztott markerek segítségével határoztuk meg mindkét oldal esetén. Ezen kívül a két oldal közötti relatív eltérést is számítottuk.

A *sit and reach* teszt kiértékeléséhez vizsgáltuk a kéznek a lábfejektől vett eltérését az időben, figyeltük a medencebillenést. Az előre nyúlást a III. és IV. lábujj tövére, valamint a kézujjakra helyezett markerek távolságából hatá-

roztuk meg. Amennyiben a sportoló előrébb tudott nyúlni mint a talpa, a távolság értéke negatív előjelet kapott. Így mindig az abszolút minimumot kell keresni a távolságok között. Fontos, hogy a feladat elvégzésének része a kinyújtózott pozíció megtartása. Így a számított minimum értékek összevetésre kerültek a végpozícióval, ezzel elkerülve azt az eshetőséget, hogy a sportoló lendületből nyúljon előrébb a teszt során. A medence billenési szögéhez annak helyzetét négy anatómiai pont – az elülső felső (SIAS) és hátulsó felső csípőtövis (SIPS) – segítségével számítottuk. A kezdeti és az előre nyúlt pozíció során a medence helyzete ezzel a négy ponttal jellemezhető. A pontokra fektetett síkok egymással bezárt szöge jellemzi a medence billenését. Ha a sportoló a mozgást nem tudja helyesen kivitelezni, (nem billen a medence, a lumbális gerinc mozgása csökkent) akkor a teszt eredményét pozitívnak tekintjük (ideálistól eltér a sportoló állapota).

A mérés menete, adatfeldolgozás

A mérés megkezdése előtt rögzítésre kerültek a sportolók antropometriai adatai (név, életkor, testtömeg, testmagasság, domináns oldal, játék-poszt), és röviden bemutatásra került a mérés. A sportolókat egyesével vizsgáltuk, első lépésként felhelyezésre kerültek a markerek a meghatározott anatómiai és oldal jelölő pontokra (1. ábra). A tesztek felvétele előtt egy statikus, kalibrációhoz használt pozíciót (T-póz) rögzítettünk, majd a mérés során a négy feladatot mindenki azonos sorrendben hajtott végre. Elsőként a guggolás tesztre került sor, ezt követte a Thomas teszt, majd a térd extenziójának vizsgálata végül a *sit and reach* teszt, amelyhez a középső kézujjra markerek csak közvetlenül a mérés előtt kerültek felragasztásra.

A méréseket követően a rögzített adatokat szöveges formátumban (.csv) kerültek kiexpor-

tálásra. Ezt követően saját készítésű Matlab (The MathWorks, Massachusetts, USA, verziószám: R2019a) programot használtunk az adatsorok feldolgozására. A felvételeket néhol zajosnak ítéltük meg, a rögzített adatsorok a beolvasást követően szakirodalmi ajánlások alapján egy hatodrendű, aluláteresztő Butterworth-szűrővel szűrtük (vágási körfrekvencia: 15 Hz).¹⁰ A szűrést követően a megfelelő marker koordinátákat felhasználva meghatároztuk az előző alfejezetben leírt mérőszámokat.

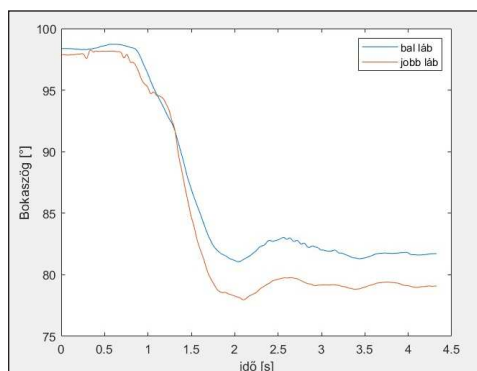
Eredmények

A guggolás teszt esetében az anatómiai bokaszögek és a két oldal közti aszimmetria mértéke került meghatározásra (1. táblázat). Az eredmények alapján különösen hangsúlyosak azon sportolók eredményei, ahol az eltérés mértéke 10% fölött van, hiszen ez sérülésveszélyt vonhat maga után.

Az aszimmetriát és a bokaszöveget az idő függvénye jól szemlélteti (7. ábra). A bemutatott

1. táblázat. A bokaízület dorsifikációjának mozgástartománya a guggolás teszt során

Vizsgálati személyek	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



7. ábra. Az 5-ös számú alany bokaszövegének ábrázolása a guggolás teszt közben

2. táblázat. A Thomas teszt kiértékelésével kapott eredményei

Vizsgálati személyek	JOBB				BAL			
	Comb max. sagittalis eltérés [°]	Comb max. transz. kitérése [°]	Lábszár max. sagittalis eltérés [°]	Lábszár max. transz. kitérése [°]	Comb max. sagittalis eltérés [°]	Comb max. transz. kitérése [°]	Lábszár max. sagittalis eltérés [°]	Lábszár max. transz. kitérése [°]
sportoló 01	18,47	13,21	22,68	3,70	7,92	25,69	17,82	3,70
sportoló 02	8,18	10,01	24,77	3,70	7,69	19,34	19,47	5,45
sportoló 03	2,97	19,34	11,78	1,07	18,41	5,18	6,41	10,94
sportoló 04	15,88	23,18	14,65	5,66	14,86	18,62	13,47	7,63
sportoló 05	14,92	24,58	20,98	5,73	0,71	10,83	16,89	3,16
sportoló 06	17,97	23,38	13,93	9,97	10,31	12,71	19,65	5,75
sportoló 07	13,47	15,44	7,98	3,50	11,75	22,31	9,73	9,06
sportoló 08	12,79	22,57	20,91	9,38	12,65	13,43	21,18	10,33
sportoló 09	9,07	18,56	25,34	4,84	5,31	20,45	21,89	8,41
sportoló 10	-1,75	16,20	23,05	3,77	-8,03	17,70	19,75	13,54
sportoló 11	6,57	23,76	30,99	10,88	5,19	17,56	22,37	12,58

feltüntetett eredmények esetén a negatív előjellel vett értékek a lábfej síkján való túlnyúlást jelölik.

A láb-kézujjak távolságának meghatározása mellett a medence dőlésszögét is kiszámoltuk, hiszen ez is többletinformációt szolgáltat (8. ábra). Az egyes sportolók esetén kiszámításra került a medence billenési szögek maximuma is (5. táblázat), amely a hagyományos vizsgálatokhoz képest többletinformáció.

5. táblázat. A medence dőlésszögének szögtartománya *sit and reach* teszt során

Vizsgálati személyek	Dőlésszög tartománya [°]
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

MEGBESZÉLÉS

A kutatás elsődleges célja egy olyan mérési módszer kidolgozása, amely segítséget nyújt a gyógytornászoknak az alsó végtag állapotfelmérésében. A módszer során négy tesztfeladatot határoztunk meg, amelyek segítségével sportolók esetén az alsó végtag állapota jól jellemezhető. A mozgásokat és egyes anatómiai pontok térbeli helyzetét optikai-alapú mozgásvizsgáló rendszer segítségével rögzítettük 11 utánpótláskorú kézilabdázó lány bevonásával. Az általunk alkalmazott gyógytornász tesztek egy speciális guggolási feladat elvégzése, a Thomas teszt, egy a térd extenzióját vizsgáló feladat és az úgynevezett *sit and reach* teszt. A bemutatott tesztek során célunk a korábbi

szemrevételezéssel vagy hagyományos mérési eszközökkel (pl.: goniométer, mérőszalag) meghatározható mérőszámok reprodukálása, továbbá olyan mérőszámok meghatározása, ami ezekkel a módszerekkel nem lehetséges, mégis többletinformációhoz jutunk az alsó végtag állapotát illetően. A guggolás tesztnél mért boka dorsiflexió szöge (1. táblázat) a bal boka esetén átlagosan $29,61^\circ \pm 5,83^\circ$, jobb boka esetén átlagosan $28,45^\circ \pm 5,33^\circ$. Ez a szakirodalomban olvasható, terhelt állapotban mérhető $7,1^\circ$ - $34,7^\circ$ -os tartománnyal egybeesik.¹² A Thomas teszt esetében elmondható, hogy számos olyan paraméter került meghatározásra (2. táblázat), amely az eredeti szemrevételezéssel kapott kiértékeléshez képest objektívebb, vagy egyáltalán nem is meghatározható (pl.: oldal irányú, transzverális síkban vett maximális kitérés). Így a műszerezett mérési módszer számos extra információt szolgáltat, valamint komplex képet nyújt az alsó végtag izmainak állapotáról. Továbbá a térd aktív extenzióját vizsgáló teszt során az általunk vizsgálati személyek esetén a lábszár függőlegessel bezárt szöge $21,26^\circ \pm 9,74^\circ$ és $20,94^\circ \pm 11,89^\circ$ a jobb és bal oldal esetén (3. táblázat). A szakirodalom a normatív értékek egészséges lányok esetében $13,4^\circ \pm 6^\circ$ értéket határoz meg.¹³ Itt a szakirodalmi adatokhoz képest nagyobb mértékű eltérés figyelhető meg, mint a bokaszög esetén. A nagyobb eltérés oka vélhetően az, hogy a vizsgált sportolók egy speciális sportág mezőnyjátékosai, így a hamstring izomcsoport a sportágtól függően eltérő feszességű lehet, ezáltal a térd extenziója is nagyobb a játékosoknál. Összességében megállapítható, hogy jellegre helyes adatokat kapunk, a kapott eredmények a gyógytornászok számára használható információk. A *sit and reach* teszt során az előrenyúlás meghatározása mellett (4. táblázat) az alkalmazott mérési módszer segítségével a medence helyzete is vizsgálható (5. táblázat). A billenési szög maximális értéke megfelelő szakmai tapasztalattal rendelkező személy esetén is csak közelítőleg adható meg.

A kapott maximum billenési szögértékek szórása relatív nagy ($\pm 8,21^\circ$; $\sim 40\%$). Ennek oka vélhetően az, hogy a vizsgált sportolók különböző poszton játszanak, így a combizmok eltérő módon erősödnek. A kapott eredményt az is alátámasztja, hogy a kezek előre nyúlásának mértékei is széles skálán mozognak, melyek legtöbbször a szakirodalmi adatok alapján az elfogadható és jó értékek közötti.¹¹

A mért és számított jellemzők alapján megállapítható, hogy a módszer a kézilabdázók alsó végtag állapotfelmérésére alkalmas. A kétoldalon végzett mérések eredményei alapján az aszimmetriák vizsgálhatók. A sportolónál általánosan – főleg az egyoldali sportok esetén – elmondható, hogy a domináns és nem-domináns oldal esetén eltérő értékeket mérhetünk az állapotfelmérő tesztek során, azonban az eltérés mértéke nem lehet nagy (10%-nál nagyobb), mivel az sérülésveszélyt jelent.^{12,13} A kapott numerikus és grafikus eredmények felhívják az edző és a gyógygy-

tornász figyelmét egyes játékosok sérülésveszélyére. A bemutatott mérési módszer egyik előnye, hogy független a vizsgálatot végző személytől, objektív mért értékek alapján mérhetők az egyes szög és távolság jellegű paraméterek. Lehetőséget teremt visszamérések elvégzésére is, amely segítségével akár a megfelelő vízfogyasztásnak, nyújtógyakorlatoknak vagy a masszázshenger (SMR henger) rendeltetésszerű használatának hatása is vizsgálható az alsóvégtag állapotára.

A bemutatott mérési módszer egyik hiányossága, hogy nem minden anatómiai szög meghatározásához használ elég markert. Továbbifejlesztési lehetőségként elmondható, hogy egy több markerből álló markerösszeállítást választva, több anatómiai pontot megjelölve további anatómiai szögértékek meghatározása lehetséges. A mérést több kamerával elvégezve az esetleges vakfoltok és marker kitakarások száma csökkenthető.

IRODALOM

1. *Gandbhir VN, Cunha B.* Goniometer [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK558985/>
2. *Milanese S, Gordon S, Buettner P, Flavell C, Ruston S, Coc D et al.* Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: smart phone app versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians. *Manual therapy*, 2014;19(6):569-74.
3. *Ore V, Nasic S, Riad J.* Lower extremity range of motion and alignment: A reliability and concurrent validity study of goniometric and three-dimensional motion analysis measurement. *Heliyon* 2020;6(8):e04713.
4. *Mourcou Q, Fleury A, Diot B, Franco C, Vuillerme N.* Mobile phone-based joint angle measurement for functional assessment and rehabilitation of proprioception. *Biomed Res Int* 2015;2015:328142.
5. *Kinovea* [Internet]. [cited: 2021 Nov 30]. Available from: <https://www.kinovea.org/>
6. *Fernández-González P, Koutsou A, Cuesta-Gómez A, Carratalá-Tejada M, Miangolarra-Page JC, Molina-Rueda F.* Reliability of Kinovea® software and agreement with a three-dimensional motion system for gait analysis in healthy subjects. *Sensors* 2020;20(11):3154.
7. *Nagymáté G, Kiss RM.* (2018). Application of OptiTrack motion capture systems in human movement analysis: A systematic literature review. *Recent Innovations in Mechatronics* 2018;5(1):1-9.
8. *Kocsis L, Kiss RM, Illyés Á.* *Mozgásszervek biomechanikája.* Budapest: Terc Kiadó; 2007.
9. *Reurink G, Goudswaard GJ, Oomen HG, Moen MH, Tol JL, Verhaar JA, et al.* Reliability of the active and passive knee extension test in acute hamstring injuries. *The American Journal of Sports Medicine* 2013;41(8):1757-61.

10. Rácz K, Kiss RM. Marker displacement data filtering in gait analysis: A technical note. Biomedical Signal Processing and Control 2021;70:102974.
 11. Dorneles RCG, Oliveira HLDR, Bergmann MLDA, Bergmann GG. Flexibility and muscle strength/resistance indicators and screening of low back pain in adolescents. Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano, 2016;18:93-102.
 12. Baggett BD, Young G. Ankle joint dorsiflexion. Establishment of a normal range. J Am Podiatr Med Assoc. 1993;83(5):251-4.
 13. Yıldırım MŞ, Tuna F, Kabayel DD, Süt N. The cut-off values for the diagnosis of hamstring shortness and related factors. Balkan Medical Journal 2018;35(5):388-93.
-

A szerzők szeretnék köszönetet mondani Stébli Gabriella és Szabó Daniella gyógytornászoknak valamint Molnár Cecília hallgatónak, a mérések lebonyolítása közben nyújtott segítségükért. A kutatást az Országos Tudományos Kutatási Alapprogram (OTKA) K135042 számú pályázata támogatta.

Kiss Rita M.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

Tel.: (+36) 1 463-1738