

RÁTKAI BÁLINT  
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA DOLGOZAT



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM**  
**GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR**  
**MECHATRONIKA, OPTIKA ÉS GÉPÉSZETI INFORMATIKA TANSZÉK**



**TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA DOLGOZAT**



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR  
MECHATRONIKA, OPTIKA ÉS GÉPÉSZETI INFORMATIKA TANSZÉK

RÁTKAI BÁLINT

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI  
KONFERENCIA DOLGOZAT

Kézilabda mozdulatsorok kinematikai vizsgálata

Témavezető:

*Ágoston Dorottya*  
PhD hallgató

Budapest, 2023.

# Tartalomjegyzék

## Jelölések jegyzéke

<b>1. Bevezetés</b>	<b>1</b>
1.1. Áttekintés . . . . .	2
<b>2. Szakirodalmi áttekintés</b>	<b>3</b>
2.1. A kézilabda bemutatása . . . . .	3
2.2. A kézilabda biomechanikája . . . . .	4
2.3. Mozcászvizsgálati módszerek . . . . .	6
2.4. Motion Capture . . . . .	6
2.5. OpenPose . . . . .	8
<b>3. Célkitűzés</b>	<b>9</b>
<b>4. A mérési módszer</b>	<b>10</b>
4.1. A mérés leírása . . . . .	10
4.2. Mérési személyek . . . . .	10
4.3. Mérési eszközök . . . . .	11
4.4. Adatgyűjtés . . . . .	11
4.5. Adatfeldolgozás . . . . .	12
4.5.1. OpenPose . . . . .	12
4.6. Kiértékelés . . . . .	12
4.6.1. CMJ kiértékelés . . . . .	12
4.7. Statisztika . . . . .	15
<b>5. Eredmények</b>	<b>16</b>

5.1. CMJ . . . . .	16
5.2. Büntető dobás . . . . .	19
5.3. Talajról dobás . . . . .	20
5.4. Átlövés . . . . .	21
5.5. Irányváltás és átlövés . . . . .	21
<b>6. Összegzés</b>	<b>22</b>
6.1. Sérülések megállapítása . . . . .	22
6.2. Mérési hibák . . . . .	22
6.3. Fejlesztési javaslatok . . . . .	23
<b>Irodalomjegyzék</b>	<b>24</b>

# Jelölések jegyzéke

A táblázatban a többször előforduló jelölések magyar és angol nyelvű elnevezésetalálható. A ritkán alkalmazott jelölések magyarázata első előfordulási helyüknél található.

## *Rövidítések*

---

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
EHF	European Handball Federation
ACL	Anterior cruciate ligament (elülső keresztszalag)
Q szög	Quadriceps szög
MoCap	Motion Capture
CMJ	Countermovement Jump
FPS	Frame per sec
NaN	Not a Number (nem szám)
EMG	Elektromiográfia
AI	Artificial Intelligence (mesterséges intelligencia)

---

# 1. fejezet

## Bevezetés

A kézilabda egy dinamikus és gyors labdajáték, számos országban nagy népszerűségnek örvend. Nemzetközi viszonylatban is több nézőt csábít a lelátókra illetve a TV készülékek elé. Mint más sportágak, a kézilabda is a játék megalakulása óta számos változáson és fejlődésen ment át. A XXI. században a technológia fejlődése számos új utat nyitott meg a sportolók számára. Megjelentek olyan különböző mérési módszerek, melynek segítségével a sportolók kihozhatják magukból a maximumot. A mérési eredmények hasznos iránymutatásokat adhatnak, és a megfelelő edzés kivitelezéséhez és a sérülések megelőzéséhez is segítséget nyújthatnak.

A sikeres élsportban elengedhetetlenek különböző biomechanikai analízisek, melyek betekintést adnak az izmok, ízületek és sportmozgások részletes vizsgálatára. Az ezeket segítő eszközök, mint például az erő és gyorsulás mérők, az izmok elektromos aktivitását mérő elektromiográfia (EMG), mozgásszkennel rendszerek és számítógépes szoftverek, egyre nagyobb teret hódítanak. Manapság az aktív sportolók többsége vett már részt legalább egyszer egy ilyen mérés vizsgálaton.

## 1.1. Áttekintés

A dolgozat további fejezeteinek a tartalma a következő: a 2. fejezet bemutatja a témában releváns szakirodalmat. Az alfejezetekben szó lesz a kézilabda biomechanikájáról, a sportban használt markeres mozgásvizsgálatoktól egészen az AI alapú mozgáselemző szoftverekig. A 3. fejezetben a hipotézis feltevése majd a 4. fejezetben az elvégzett mérési módszert ismertetem. Az 5. fejezetben következik az adatfeldolgozás és kiértékelés, majd a statisztikai elemzés. A 6. fejezetben, az összegzésben a dolgozat kitér az eredményekre és összeveti a felállított hipotézissel szemben.



## 2. fejezet

# Szakirodalmi áttekintés

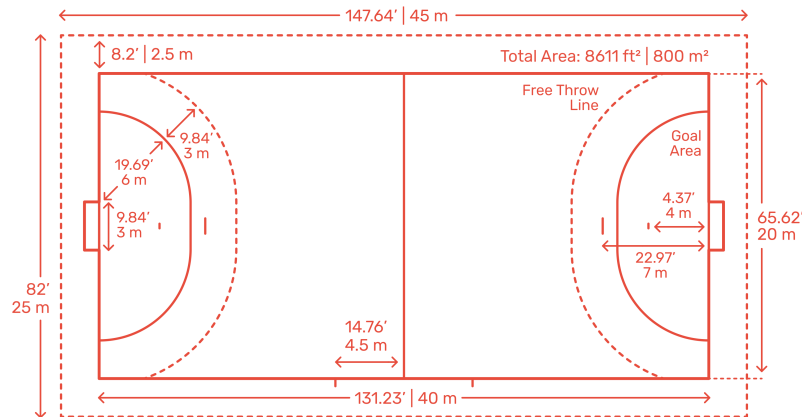
Ebben a fejezetben bemutatásra kerül a dolgozat fő tartalmi fejezeteihez kapcsolódó szakirodalom. Melynek ismerete szükséges a különböző mozgások elemzésében és a mozgásvizsgálatok megértésében.

### 2.1. A kézilabda bemutatása

A Wikipédia oldalán elegendő információ található a kézilabda eredetéről és a játék szabályairól. A kézilabda egy csapatjáték, amelyet két csapat játsza egymás ellen. A játékosok célja, hogy a labdát az ellenfél kapujába juttassák, miközben megakadályozzák az ellenfél hasonló szándékát. A játék során a labdához csak kézzel lehet hozzá érni, tovább passzolni és lőni, ellentétben a kapussal, aki egész testével védheti a kaput. A játékosoknak figyelniük kell a lépésszabályra, ahol labdával a kézben maximum három lépést lehet megtenni. Ha egy csapat birtokolja a labdát de nem lő kapura, akkor a bíró passzív játéknak minősítheti és elveheti a labdát a csapattól. Egy csapatban 16 játékos van cserékkel együtt, de a pályán csak 6+1 játékos lehet fent. Az Európai Kézilabda-szövetség (EHF) az európai kézilabda ügyeiért felelős szerv. [16]

A kézilabda elődeihez tartozott a haandbold, a torball és a hazena sportok. Ezen játékok együtteséből alakult ki a mai ismert kézilabda. Az 1900-as évek óta a pálya mérete is változott. A nagypályás játékot felváltotta a kispályás kézilabda a maga sebességével és változatosságával. Napjainkban az egyik legismertebb sportágává nőtte ki magát. [16]

A pálya kialakítása az 2.1 ábrán látható. A játékidő 2x30 perc, 15 perces félidei szünettel. Játékmegszakításra csak sérülést követő ápolás miatt lehetséges. A labda mérete változó a különböző korosztályokban. 16 év feletti férfiaknál a játékszer tömege 425-475 g, kerülete 58-60 cm.



2.1. ábra. A kézilabda pálya méretei [4]

A 6 mezőny játékos különböző posztokon is játszhatnak: lehetnek szélsők vagy átlövők (bal és jobb oldali), valamint irányítók vagy beállók. A mezőnyjátékosok nem léphetnek be a hatoson belülré a kapusokkal ellentétben.

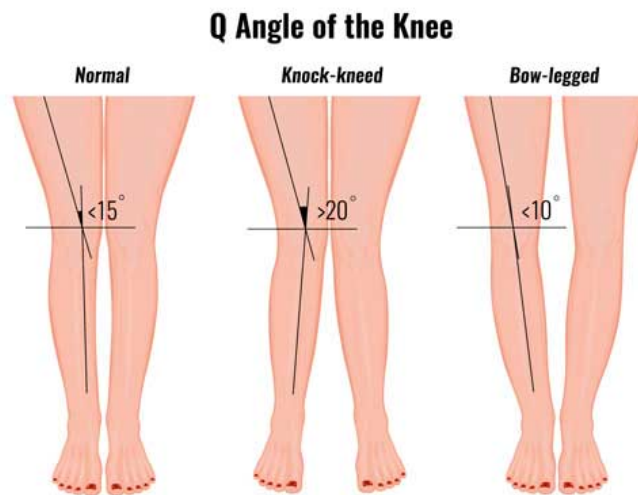
## 2.2. A kézilabda biomechanikája

A biomechanika a biofizika egyik ága, interdiszciplináris terület. Elemzi mindazokat az anatómiai, élettani, pszichológiai, mechanikai kérdéseket, amelyek a külső és belső mozgások során felvetődnek. Benno Maurus Nigg szerint a biomechanika egy olyan tudomány, melyben élő rendszerek szerkezetét és működését a mechanika ismeretanyagának és módszereinek felhasználásával vizsgálja. [9]

A biomechanika tudományterület segítségével elemezni tudjuk mérnöki szemlélettel a sportolók mozgásait is, keresve szabálytalan és ezáltal sérülésveszélyes mozdulatokat, vagy értékelni és támpontokat adni a sportolóknak, hogy minél jobbak lehessenek az adott sportágban. Az "Biomechanical Aspects in Handball: Lower Limb" című cikk a kézilabda biomechanikájának alsó végtagokra gyakorolt hatásait tárgyalja. A fejezet leírja, hogyan lehet a biomechanikai módszereket felhasználni a dobótechnika vagy az ugróképesség vizsgálatára. Emellett a kézilabda jellegzetes sérüléseire is kitér. A boka és a térd a két legtöbb sérülést okozó ízület, amely az összes bejelentett sérülés mintegy 50 %-át teszi ki. [17]

Az egyik legveszélyesebb és legtöbb időben kiesést egy sportoló számára az elülső

keresztzalag (Anterior cruciate ligament -ACL) szakadása jelenti . Az ACL anatómiai funkciója a térdízület passzív stabilitásának elősegítése mindhárom síkban. A nyújtott térdre történő leérkezéskor, nagy ütközéssel talajreakciós erők hatására, növeli a térdízület összenyomódását, mely további ACL sérüléshez vezethet. Kézilabdában az ACL-sérülések legnagyobb gyakorisága az érintkezés nélküli irányváltás során fordul elő, ezt követi a kapura lövések utáni földet érés, illetve a dobások utáni landolások. Ádám Uhlár és munkatársai kutatásában a Q (quadriceps) szög fontosságáról írtak az alsó végtagi sérülések témakörében.[13] A Q szög (2.2 ábra) a combfeszítő izom (m. quadriceps femoris), azon belül is az egyenes combizom (rectus femoris) eredési pontjától, vagyis az elülső alsó csípőtővistől kiinduló, és a térdkalács középpontján átmenő egyenes, valamint a sípcsonti érdesség és a térdkalács középpontján átfutó egyenes által bezárt szög.[6]



2.2. ábra. A Q szög illusztrálása [10]

A statikus Q szöget egy goniométer segítségével vagy egy röntgen felvétel alapján könnyen mérni tudják. Különbséget kell tenni a statikus és a dinamikus Q szög között. A sportsérülések fizikai aktivitás közben alakulnak ki.[13]

Ezért szükséges a dinamikus Q szög meghatározása, ami kamerák segítségével lehetséges. Dolgozatomban ezen nevezetes szöget is számolom a sérülés előrejelzése érdekében. Mariam A. Ameer és társai kutatásukban keresték a térd kinematikája és a térd-boka kinetikája közötti kapcsolatot futás közben egy lábas ugrás-érkezés során. A mérést kézilabdázókon végezték el markerek és Motion Capture segítségével. A kutatás eredményeképpen az írták, hogy a térdhajlítási csúcshög (peak knee flexion angle) növekedésével a futásból történő egy lábás ugrás közbeni érkezés során, kisebb lesz a térdnyújtási nyomaték, az alacsony ütközési erő és nagyobb a talphajlítási nyomaték.[1] A szükséges ízületi szögek számolását az Iwori Takeda és munkatársai kutatásuk alapján végeztem el.[5] Sebastian Deisting Skejø és munkatársai kutatásukban számos cikket

összegyűjtöttek a kézilabdázás és azon belül a labda eldobásakor a váll kinetikájában és kinematikájában. Több száz cikkből összesen csak 19-et, a témában releváns cikket azonosítottak. Az összegyűjtött információk alapján a kézilabdadobás a váll nagy külső rotációja jellemzi, amelyet gyors belső rotáció követ, kisebb mértékű a váll hajlításában és abdukciójában bekövetkező kisebb változásokkal. Általában az időben az ízületi szögeket és az ízületi sebességeket nem befolyásolták a különböző körülmények, mint például a dobás típusa, a kar pozíciója, a labda súlya és a játékos neme. A kutatásban egy táblázatban összefoglalták a különböző cikkekben kapott eredményeket a más-más dobó mozdulatok során. [12]

Ugyancsak a váll kinematikáját vizsgálták Herbert Wagner és társai a kutatásukban. Két különböző kézilabda dobástípust hasonlítottak össze. Az egyik a fentről (ABOVE) a másik az oldalról (SIDE) elengedett dobás volt. Élsportolókon végezték a mérést szintén markerek segítségével. [14]

Ezen információk elegendők, hogy a kiértékelés során megállapítható legyen egy esetleges sérülés bekövetkezése a különböző ízületi szögek maximumának függvényében.

## 2.3. Mozgásvizsgálati módszerek

A mozgásvizsgálati módszereket számos helyen használják a sporttól az orvostudományig. Ezek a vizsgálatok objektív képet adnak az adott mozgás minőségéről, a mozgás során fellépő terhelésekről. A mozgásvizsgálatok célja a mozgások kimutatása, számszerűsítése, a mozgást kiváltó ok és mozgás közötti összefüggés megállapítása.

A digitális technológia növekvő kapacitása a videoképek gyűjtésére, kezelésére és rendszerezésére lehetővé tette a meglévő sportspecifikus elemzési eljárások továbbfejlesztését. Különböző rendszereket és módszereket alkalmaztak a sportolók mozgásainak elemzésére.[3]

A további két fejezetben bemutatom a 3D-s markeres Motion Capture mozgáselemző rendszert, és a 2D-s marker nélküli OpenPose programot.

## 2.4. Motion Capture

A MoCap (Motion Capture) a legelterjedtebb mozgás vizsgáló rendszer, melyet nem csak a sportban és egészségügyben használnak, hanem a játék és filmiparban is egyaránt segítséget jelent a 3D animátoroknak. [11]

A mozgások vizsgálatának az alapja az anatómiai pontok, és azokat kijelölő merev testek térbeli pozíciójának az felvétele az időben. A BME-MOGI Tanszéken OptiTrack optikai mozgáskövető rendszer és a hozzá tartozó Motive:Body szoftver áll rendelkezésre. Az

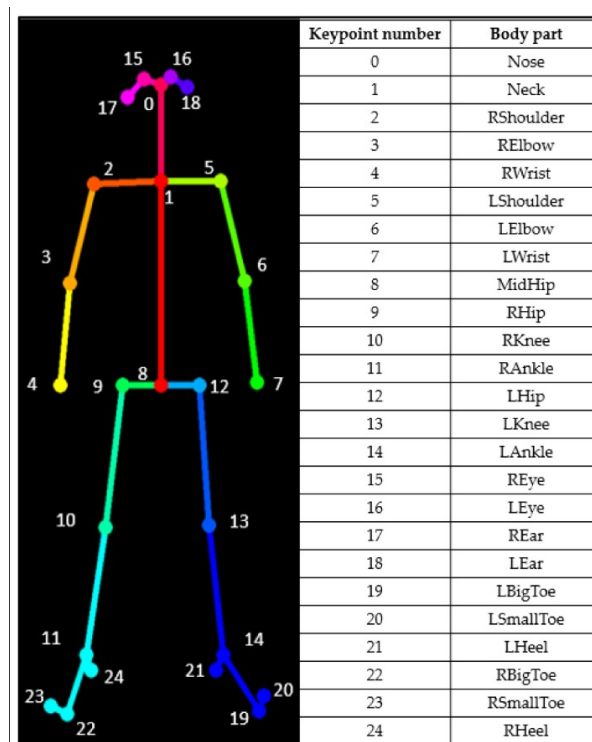
optikai mozgáskövetés lehet marker nélküli és markerrel segített. A markerek lehetnek aktív vagy passzív jelölők. Az aktív markerek egy jól meghatározott hullámhosszú, általában infravörös fényű LED-ek, míg a passzív markerek szelektíven reflektáló felülettel bevont jelölők. A vizsgált térrész köré szerelt merev vázra erősített kamerák a térrészben elhelyezett markereket figyelik. Passzív markerek esetében az infravörös tartományú fényt a kamerák bocsátják ki. A mérés előtt a kamerák pozícióját kalibrálni kell, hogy pontos eredményeket kapjunk. A kamerákat szinkronizálni kell, hogy egy időben történjen a felvétel a kamerákon. Az adatokat egy hub gyűjti össze, amelyek a számítógépes szoftverhez csatlakoznak.

A BME mozgáslaborjában 18 kamera található: 16 db. Flex13 és 2 db. Flex13FS típusú kamerát. A felvétel sebessége állítható 30 és 120 képkocka/másodperc között. A kamerák felbontása 1280x1024 pixel (1,3MP). A felbontás milliméter alatti nagyságrendű. A lencse körül elhelyezkedő LED-gyűrű 850 nm hullámhosszú fényt bocsát ki, a lencse előtti szűrő 800 nm-es. A kamera USB 2.0 porton keresztül a számítógép felé továbbítja az adatokat. Ezen a porton történik a szinkronizálás is. [7]

A MoCap rendszert számos sportmozgás vizsgálatban használnak. A mérés helyes elrendezése, a markerek felhelyezése szakértelmet igényel. Ezek mellett a rendszer a több magas felbontású kamera miatt drága is. A mesterséges intelligencia előretörése segített egy másik módszer, a marker mentes és AI alapú OpenPose program megjelenésében.

## 2.5. OpenPose

Az OpenPose egy olyan nyílt forráskódú szoftver, melyet emberi testek és arcvonások észlelésére is terveztek. A MoCap-el ellentétben nem kell markereket felhelyezni a mérésben résztvevő személyekre és nem szükségesek drága kamerák sem a méréshez. A felismert emberi testeken (skeleton) az anatómiai pontokat is megtalálja, melyekhez indexet is rendel. Az alábbi 2.3 ábrán látható az egyes anatómiai pontok és mellettük az indexelés is.[2]



2.3. ábra. Az openpose skeleton és az anatómiai pontok [2]

A videó felvételek feldolgozásakor a program egy json file-ba menti ki az adatokat. A json file-okat pythonban vagy MATLAB környezetben feldolgozva ízületi szögek számíthatóak. Számolásnál az adott anatómiai pont ízületi szöge két vektor által bezárt szöggel analóg módon kifejezhető. Valamint a könnyen számolható sebesség és gyorsulás is egyaránt.[15]

Mivel az OpenPose egy 2D-s videó felvételből dolgozik, ezért a pontossága elmaradhat a Motion Capture rendszeréhez képest. De több kamerát elhelyezve a mérőterület körül az alábbi cikk alapján a 2D-s koordináták helyett már a 3D-s globális koordinátában is el lehet helyezni a skeletont. [8]

## 3. fejezet

### Célkitűzés

Egy versenysportoló számára az egyik legfontosabb, hogy a maximumot ki tudja hozni magából. De emellett ugyanilyen fontos a sérülés elkerülése, mert a mellett, hogy több hetekre, hónapokra kiesik a rotációból a csapatnak sem tesz jót. Dolgozatom középpontjában a sérülésekre és azok megelőzésére koncentrálódik a figyelem. Minden sportágban szükség van erőnléti edzőre, csapatorvosra, akik a sportteljesítmény növelése mellett fontos figyelmet fordítanak a sérülések sikeres elkerülésére. Ennek érdekében szeretném segíteni az ő munkájukat is.

A kézilabda, sérülések tekintetében is, előkelő helyen áll a sport világában. Ugyanúgy mint a többi csapatsportnál a meccs közbeni ütközések, szerelések és véletlen baleseteket nem lehet elkerülni. De a helytelen és rosszul végzett mozdulatok (pl.: felugrás és leérkezés) az idő előrehaladtával sérüléshez vezetnek, amiket már megtudunk előzni a mozdulatok helyes kivitelezésével.

Dolgozatomban azt tűztem ki célul, hogy a kézilabda játékosok mozgásait vizsgálva és az ízületi szögek meghatározása után, összehasonlítva a témában helytálló szakirodalommal, megtudjam becsülni egy esetleges sérülés későbbi bekövetkezését.

Másodrészen a drága mozgásszenner rendszereket helyettesíteném egy mindenki számára elérhető és olcsó alternatívával.

## 4. fejezet

# A mérési módszer

### 4.1. A mérés leírása

A mérésben résztvevő játékosoknak 4 különböző kézilabda mozdulatsort kellett elvégezniük: büntetődobás, dobás talajról, átlövés és irányváltás és átlövés. Ezek mellett a függőleges felugrás vagy angolul countermovement jump (továbbiakban CMJ) mérést is elvégezték. A mozdulatokról videófelvevételek készültek, amik egy szoftver segítségével (OpenPose) feldolgozásra kerültek. A kapott pontokból (joint) MATLAB környezetben a szükséges számolásokat elvégezve következtetni lehetett az esetlegesen későbbiekben bekövetkezendő sérülésekre. Az éppen vizsgált játékos a hatoson kívül helyezkedik el, majd sorban elvégzi a feladatokat:

- CMJ
- Büntető
- Talajról dobás
- Átlövés
- Irányváltás és átlövés

### 4.2. Mérési személyek

A mérésben 15 U16-os fiú (poszttól független játékos) vett részt.

A résztvevők, valamint törvényes képviselőjük részletes tájékoztatást kaptak a vizsgálatokról és írásos bejegyzésüket adták ahhoz. A kutatást a Testnevelési Egyetem Tudományos és Kutatásetikai Bizottsága engedélyezte (TE-KEB/17/2021)



### 4.3. Mérési eszközök

Felállításra került három GoPro kamera egy-egy jobb és baloldalra, valamint a kapuval szemben a játékos mozgásait hátulról videózva. A kamerák 60 fps értékre voltak beállítva, a pontosabb mérés eredményeképpen. A kamerák kamera 1920x1080-as felbontásban vette fel a mérést. A 3. kamera torzítása nehezítette az adatok helyes feldolgozását.

### 4.4. Adatgyűjtés

A felvett videókat Adobe Premier Pro vágóprogramban megvágtam úgy, hogy a mozdulat kezdetét és a végét tartalmazza csak a felvétel. Az OpenPose, amely AI alapú, emberi alakokat ismer fel és azokra helyez pontokat. Ezért, ahol lehetett már a vágás során kimaszkoltam azokat a személyeket akik nem vettek részt a mérésben. Végül egy mapparendszerben összegyűjtöttem a megvágott felvételeket az alábbiak alapján:

- Hányadik mért személy
- Melyik kamerával felvett
- Melyik mozdulatot hajtotta végre

Ezek alapján következhetett az OpenPose szoftver segítségével az anatómiai pontok meghatározása framenként.

## 4.5. Adatfeldolgozás

### 4.5.1. OpenPose

Az OpenPose programot parancssorból hívtam meg, megadva, hogy melyik videót vizsgálja, hova mentse a kapott json file-t, és hogy csináljon .avi kiterjesztésű videót. Ez utóbbi segített az ellenőrzésben, hiszen ezen a videón látható, ahogy a program felismerte az embert és rárajzolta az anatómiai pontokat és össze is kötötte őket. A json file-ok az anatómiai pontok x, y koordinátáit illetve a pont megbízhatósági értékét (confidence) tartalmazza.



4.1. ábra. A játékosra illesztett anatómiai pontok

A kapott json file-ok tartalmait MATLAB R2022b - academic use (MathWorks USA-Massachusetts-Natick) környezetben dolgoztam fel a kiértékelésben leírtak alapján. Első lépésként a beimportáltam az adatokat, majd a mozgást végző játékos indexét megtalálva további változóba tettem az x és y koordináta értékeket, majd ezek után a megfelelő kamera nézetből és az adott mozdulat alapján számoltam az ízületi szögeket.

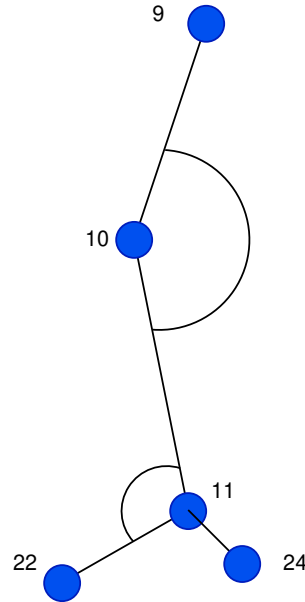
## 4.6. Kiértékelés

Ebben a fejezetben részletezem az adott alfejezetekben a különböző számítási módszereket. Az első részben a CMJ mérés kiértékelése majd a második részben a térd és a boka ízületi szögeket vizsgálom az egyes kézilabda mozdulatok során.

### 4.6.1. CMJ kiértékelés

A CMJ (Counter-Movement Jump) mérés egy gyakran használt teszt a sportteljesítmény és az izomteljesítmény mérésére. A CMJ teszt menete az alábbi:

- A mérésben résztvevő személy egyenesen áll, lábai vállszélességben helyezkednek el
- Az alsó végtagokat behajlítja (jel az izom összehúzódásra)
- Felugrik a személy, lehető legmagasabb emelkedést elérve



4.2. ábra. Bal láb ízületi szögei (indexek az OpenPose alapján)

A térd ízületi szöget (4.2 ábra), két vektor által bezárt szöggel (4.1 egyenlet) analóg módon számoltam, ahol  $\mathbf{a}$  és  $\mathbf{b}$  két vektor:

$$\theta = \arccos\left(\frac{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}{\|\mathbf{a}\| \cdot \|\mathbf{b}\|}\right) \quad (4.1)$$

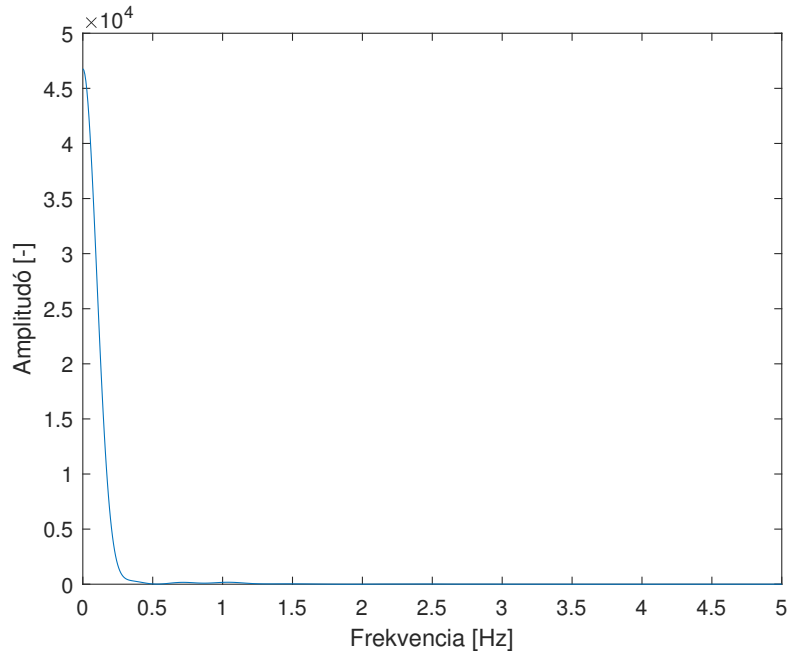
Ez alapján:

$$\theta_{\text{térd}} = \arccos\left(\frac{\mathbf{a}_{\text{csípő-térd}} \cdot \mathbf{b}_{\text{térd-boka}}}{\|\mathbf{a}_{\text{csípő-térd}}\| \cdot \|\mathbf{b}_{\text{térd-boka}}\|}\right) \quad (4.2)$$

Továbbiakban az indexelés az OpenPose által használt skeleton alapján fog történni a dolgozatban. (2.3 ábra) A bal térd helyzete megkapható a bal csípő (12), a térd (13) és a boka (14) anatómiai pontokból a (4.2)-es egyenlet alapján. A jobb oldali térd ízületi szög hasonlóan a 9, 10 és 11 indexelésű pontok által számolható. Az alábbi ábra szemlélteti az alsó testrész ízületi szögeit. (4.2 ábra) A térd után a boka ízületi szögeit számoltam. Analóg módon a 4.2 egyenlethez képest így alakult a szög:

$$\theta_{\text{boka}} = \arccos\left(\frac{\mathbf{a}_{\text{lábujj-boka}} \cdot \mathbf{b}_{\text{térd-boka}}}{\|\mathbf{a}_{\text{lábujj-boka}}\| \cdot \|\mathbf{b}_{\text{térd-boka}}\|}\right) \quad (4.3)$$

A számítások elvégzése után a megfelelő szűrőt kerestem és használtam. Mindenek



4.3. ábra. A bal térd ízületi szög spektruma (2. játékos)

előtt többször előfordult, hogy egy adott anatómiai pontot nem ismert fel a mesterséges intelligencia az OpenPose-os feldolgozás során, ezért ott az adott érték 0 értéket vett fel. A számítások után több helyre NaN érték került és ezt ki kellett küszöbölni. Ezért egy beépített MATLAB fillmissing függvényt használtam, mely megkereste hol található NaN érték és egy 5 szélességű mozgóátlag segítségével kijavítottam a hiányzó értéket. (5.1 ábra) A zajosság elkerülése miatt egy alul áteresztő szűrőt kellett terveznem, ezért megnéztem a kapott görbe spektrumát és így megtudtam határozni a vágási frekvenciát. (4.3 ábra)

Egy butterworth alul áteresztő szűrő segítségével elvégeztem a simítást a kapott eredményeken. (5.2 ábra)

## 4.7. Statisztika

Ebben a fejezetben a kapott eredményekből kerestem a minimális szög értékeket az egyes mozdulatoknál. Az alábbi táblázat a CMJ mozdulat sort mutatja, és játékosonként a legalacsonyabb szögértékeket.

Min. szög érték	1. játékos	2. játékos	3. játékos	4. játékos	5. játékos	9. játékos
Bal boka [°]	70,46	75,98	61,72	76,15	56,79	78,21
Jobb boka [°]	79.52	76.37	60.25	77.43	65.21	79.35
Bal térd [°]	102.41	102.58	106.29	89.47	97.71	45.36
Jobb térd [°]	93.09	102.52	107.10	94.54	97.18	61.50

Min. szög érték	10. játékos	11. játékos	12. játékos	13. játékos	14. játékos	15. játékos
Bal boka [°]	74,38	74,93	72,20	73,87	73,79	73,75
Jobb boka [°]	88.35	91.65	79.36	85.44	84.68	79.74
Bal térd [°]	94.71	106.21	95.06	92.87	100.43	92.88
Jobb térd [°]	94.89	106.12	99.41	95.36	103.84	96.64

4.1. táblázat. CMJ minimális szögértékek

	Medián	Átlag	Szórás
Bal boka [°]	74,13	71,77	6,32
Jobb boka [°]	79,45	78,88	8,91
Bal térd [°]	100,06	99,69	22,93
Jobb térd [°]	97,19	94,62	13,59

4.2. táblázat. CMJ statisztikai adatok

A fenti statisztikai értékek összesen 12 játékosra vonatkoznak. A 6. 7. és 8. játékos értékei hibásak voltak, vagy nem készült róluk felvétel.

## 5. fejezet

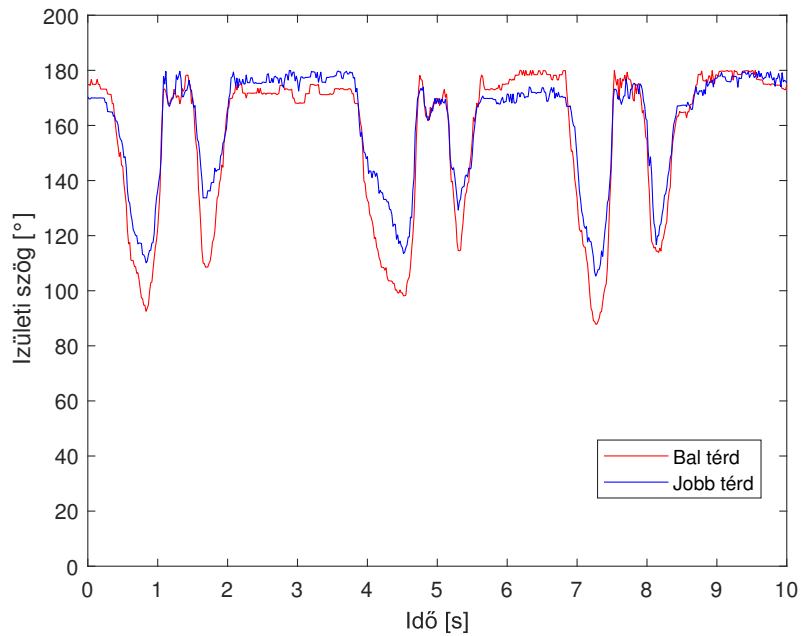
### Eredmények

Ebben a fejezetben a számolt ízületi szögek változását rajzoltam ki az idő függvényében.

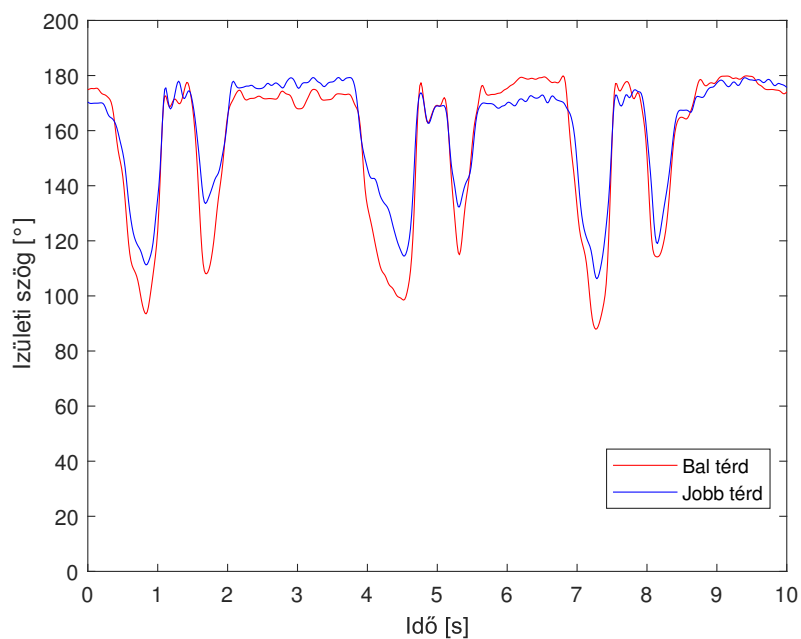
#### 5.1. CMJ

Az 5.2 ábrán látható a szögváltozás az idő függvényében. Észrevehető ha  $180^\circ$  körüli az ízületi szög értéke, akkor a játékos álló helyzetben van nyújtott térdel. Látható, hogy a felugrást háromszor végezte el, hatszor hajlította be a térdét a mérésben résztvevő személy.

A piros vonallal jelölt bal térd el tér a kék vonallal jelölt jobb térdtől. Ez a hiba annak köszönhető, hogy bal oldalról készült a felvétel, ezért a jobb oldali térdről nem kapunk pontos értékeket a ballal ellentétben. Elvégeztem a számítást a 2-es (jobb oldali) kamerából kapott értékekkel. Látható, hogy a két grafikon itt már egymáson helyezkedik el. A 2-es kamera közelebbről vette fel a játékost.



5.1. ábra. A bal és jobb térd ízületi szögváltozása az idő függvényében. (2. játékos)

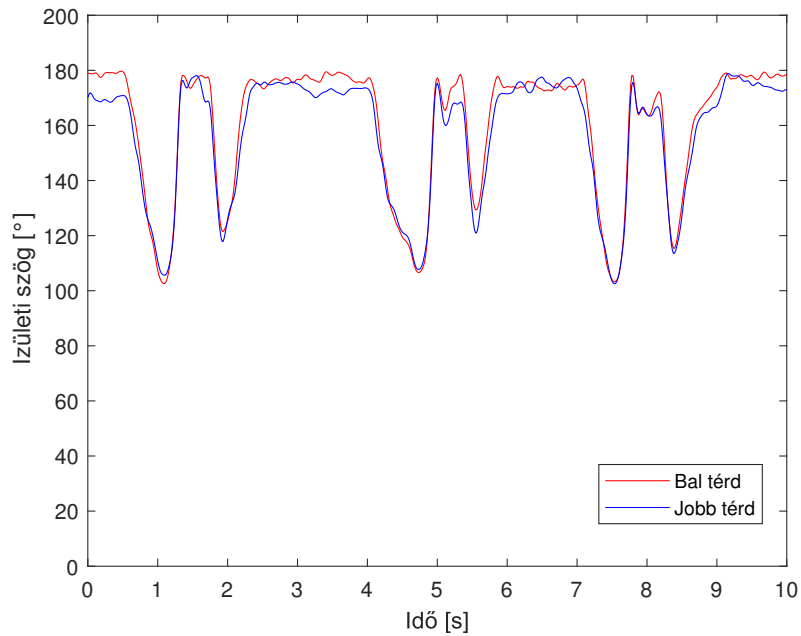


5.2. ábra. Nyers adatok a bal és jobb térd ízületi szögei az idő függvényében (2. játékos/1-es kamera)

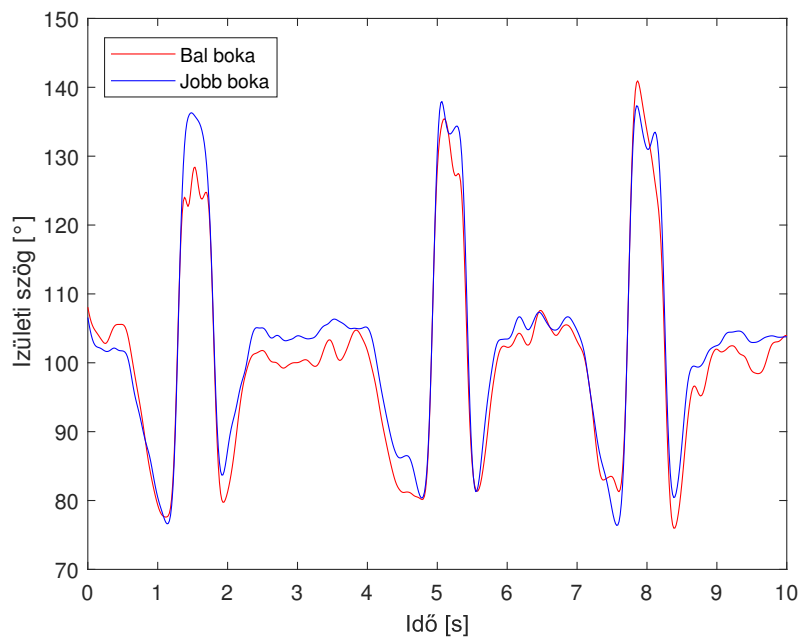
Az 5.4 ábrán látható a két boka ízületi szögváltozása az idő függvényében. Észrevehető, hogy ugrás közben a boka ízületi szöge megnő az állaskor 105° körüli értékhez képest. A térd berogyasztásánál ez a szög kisebb lesz, ahogy látható az ábrán.

Érzékeletetesképpen egymásra raktam a kapott grafikonokat. 5.5

A 3-as kamera hátulról vette fel a játékosokat. A CMJ mérés közben vizsgáltam a Q



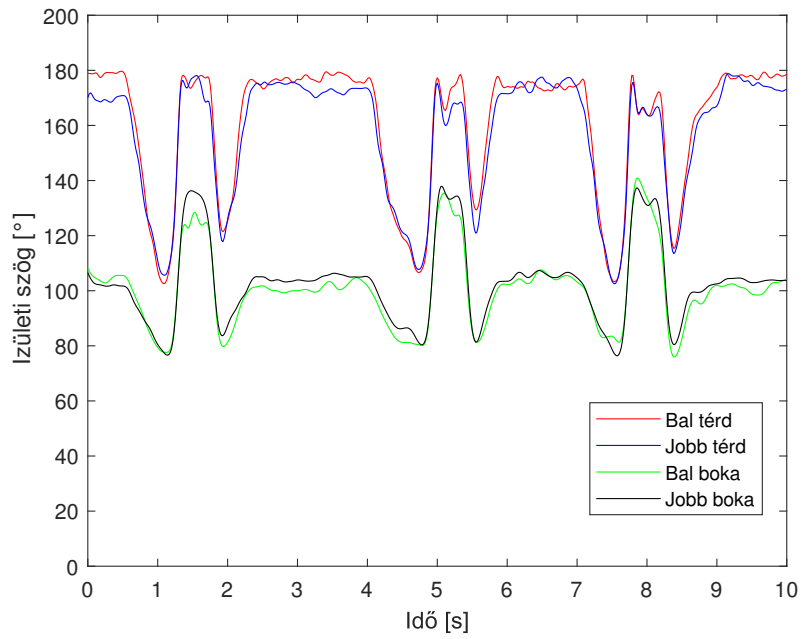
5.3. ábra. A bal és jobb térd ízületi szögei az idő függvényében (2. játékos/2-es kamera)



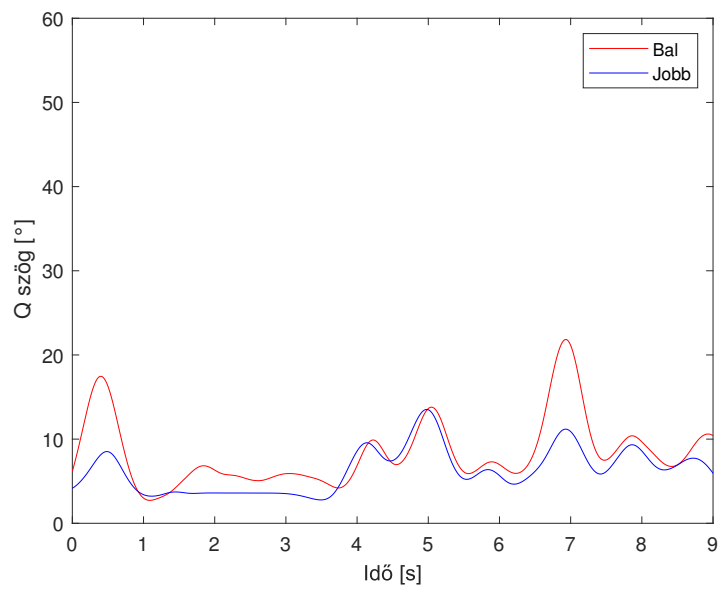
5.4. ábra. A bal és jobb boka ízületi szögei az idő függvényében (2. játékos/2-es kamera)

szög értékét. (5.6 ábra) Látható, hogy a térd behajlításánál magasabb az érték és álló helyzetben  $10^\circ$  alatt van. Ez nem normális. A felvételben túlságosan távol áll a játékos, és a kamera halszem torzulása ront a szám adatokon. Összefoglalva a 3-as kamera eredményei nem adnak pontos értékeket, de a kapott görbe közel jelleghelyes a valósághoz képest. A továbbiakban a 4 jellegzetes mozdulattípus elvégzése közben vizsgáltam a térd és boka ízületi szögeket.





5.5. ábra. Az ízületi szögek összehasonlítása (2. játékos/2-es kamera)

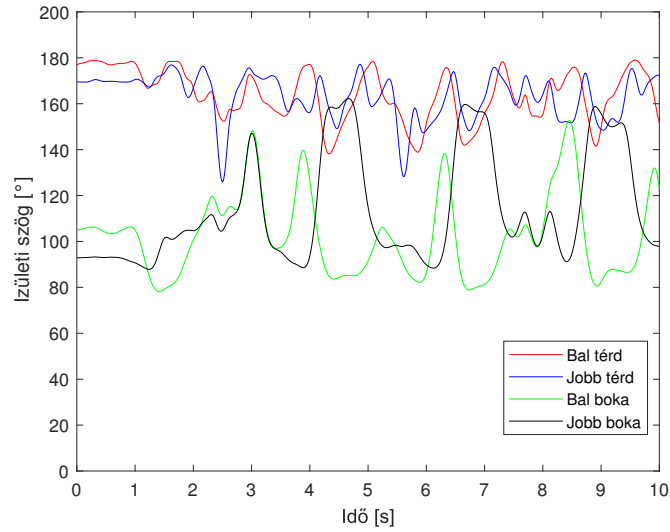


5.6. ábra. Q szög érték (2. játékos/3-as kamera)

## 5.2. Büntető dobás

A játékos 7 méterről dob. Legalább egy lábujjhegyét a talajon kell tartania a dobásnál.

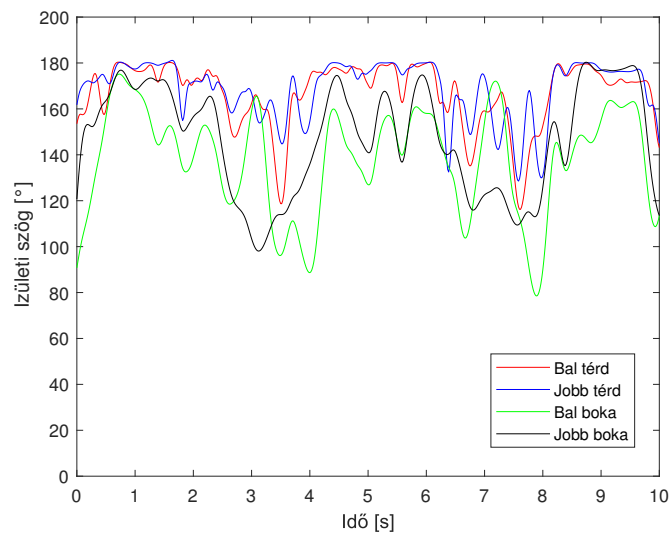
5.7



5.7. ábra. A szögek változása a mozdulat során (3. játékos/1-es kamera)

### 5.3. Talajról dobás

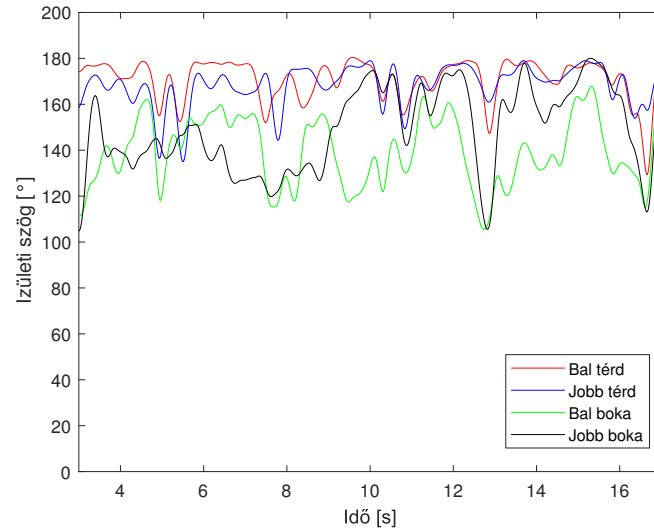
A talajról elvégzett dobás hasonló a büntetőhöz. A játékos a dobás közben nem ugrik fel.5.8



5.8. ábra. A szögek változása a mozdulat során (12. játékos/1-es kamera)

## 5.4. Átlövés

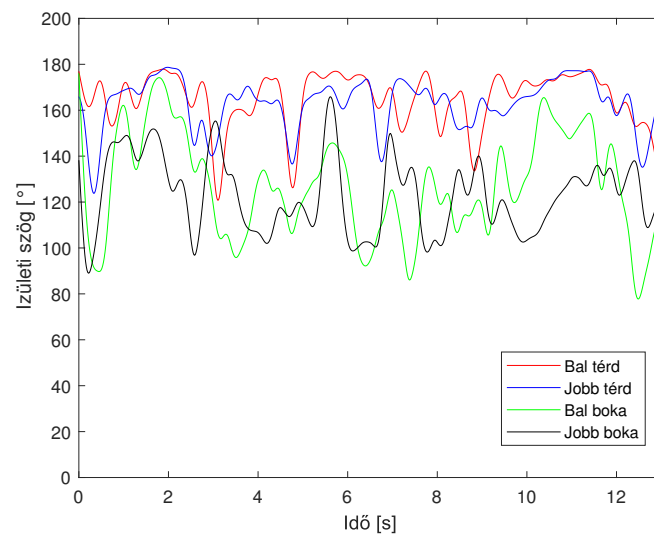
Átlövésnél a felugrást követően dobja el a támadó a labdát. 5.9



5.9. ábra. A szögek változása a mozdulat során (4. játékos/1-es kamera)

## 5.5. Irányváltás és átlövés

Az átlövés előtt egy irányváltást tesz a játékos az ellenfél játékosát becsapva, és utána ugrik fel és dobja el a labdát. 5.10



5.10. ábra. A szögek változása a mozdulat során (13. játékos/1-es kamera)

## 6. fejezet

# Összegzés

### 6.1. Sérülések megállapítása

Az ugrás utáni érkezés pillanata mérvadó a sérülés kialakulásában így azon szögértékeket vizsgáltam. Megállapítható volt, hogy az érkezésnél van a legkisebb értékű boka ízületi szög. A statisztikai rész szerint a 3-as és 5-ös játékosnál volt a legkisebb ez a szög érték, míg a 10-es és 11-es játékosnál a legnagyobb. A 10-es játékos kétszer is szenvedett boka sérülést. Mivel nem hajlította be eléggé a bokáját, hanem mereven érkezett később sérülés alakulhatott ki emiatt.

### 6.2. Mérési hibák

A mérési eredmények megmutatták az egyes mozdulatok sajátos szög-idő grafikonjait. Felfedezhetőek a jobb és baloldali kamera közti különbségek, hiszem a kamerák elhelyezésekor a jobb oldali kamera közelebb volt a játékoshoz és ezáltal pontosabb koordinátákat adott, de többször ki is került a játékos a mozdulat során a kamera képéből. A baloldali kamera felvette teljesen a mozdulatokat és az ezzel kapott eredményeket hasonlítottam össze a játékosokkal. A harmadik (hátsó) kamera torzítása miatt nem kaptunk pontos eredményt.

## 6.3. Fejlesztési javaslatok

A pontosság fejlesztése érdekében több kamera segítségével 3D-s mozgásvizsgálat is lehetséges. Így mérhetőek más ízületi szögek is, mint például a váll, amely 2D-ben nem számítható. Így az OpenPose és legalább 3 kamera már felválthatja a Moiton Capture rendszert és így nem kell markereket felhelyezni és egy olcsóbb megoldást kaphatunk az előbbieken alapján.

# Irodalomjegyzék

- [1] Mariam A. Ameer – Qassim I. Muaidi: Relation between peak knee flexion angle and knee ankle kinetics in single-leg jump landing from running: a pilot study on male handball players to prevent acl injury. *The Physician and Sportsmedicine*, 45. évf. (2017) 3. sz., 337–343. p.  
URL <https://doi.org/10.1080/00913847.2017.1344514>. PMID: 28628348.
- [2] Emmanuele Barberi – Massimiliano Chillemi – Filippo Cucinotta – Felice Sfravara: Fast three-dimensional posture reconstruction of motorcyclists using openpose and a custom matlab script. *Sensors*, 23. évf. (2023) 17. sz., 7415. p.
- [3] Sian Barris – Chris Button: A review of vision-based motion analysis in sport. *Sports Medicine*, 38. évf. (2008), 1025–1043. p.
- [4] Handball court. URL <https://www.dimensions.com/element/handball-court>. [Elérés ideje 2023. október 21.].
- [5] Atsushi Yamada Iwori Takeda – Hiroshi Onodera: Artificial intelligence-assisted motion capture for medical applications: a comparative study between markerless and passive marker motion capture. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 24. évf. (2021) 8. sz., 864–873. p. URL <https://doi.org/10.1080/10255842.2020.1856372>. PMID: 33290107.
- [6] Ramada R. Khasawneh – Mohammed Z. Allouh – Ejlal Abu-El-Rub: Measurement of the quadriceps (q) angle with respect to various body parameters in young arab population. *PLOS ONE*, 14. évf. (2019. 06) 6. sz., 1–13. p. URL <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218387>.
- [7] Mocap rendszer.  
URL <https://sites.google.com/mogi.bme.hu/mozgaslabor-wiki/mocap-rendszer>. [Elérés ideje 2023. október 23.].
- [8] Nobuyasu Nakano – Tetsuro Sakura – Kazuhiro Ueda – Leon Omura – Arata Kimura – Yoichi Iino – Senshi Fukashiro – Shinsuke Yoshioka: Evaluation of 3d markerless motion capture accuracy using openpose with multiple video cameras. *Frontiers in sports and active living*, 2. évf. (2020), 50. p.
- [9] Benno Maurus Nigg – Brian R. MacIntosh – Joachim Mester: *Biomechanics and Biology of Movement*. 2000, Human Kinetics.
- [10] Q angle and knee rehabilitation, 2023.  
URL <https://www.sportsinjuryclinic.net/sport-injuries/knee-pain/q-angle-knee>. 2023.11.04.

- [11] Rokoko: What is motion capture, and how does it work in 2022?, 2021. URL <https://www.rokoko.com/insights/what-is-motion-capture-and-how-does-it-work-in-2022>. [Elérés ideje 2023. október 23.].
- [12] Sebastian Deisting Skejø – Merete Møller – Jesper Bencke – Henrik Sørensen: Shoulder kinematics and kinetics of team handball throwing: A scoping review. *Human movement science*, 64. évf. (2019), 203–212. p.
- [13] Ádám Uhlár – Eszter Fodor – Zsombor Lacza: A térd sérülések és a dinamikus térd valgus közötti kapcsolat feltárása = exploring the relationship between knee injuries and dynamic knee valgus. *Testnevelés, Sport, Tudomány*, 4. évf. (2019) 3-4. sz., 16–22. p.
- [14] Herbert Wagner – Michael Buchecker – Serge Von Duvillard – Erich Müller: Kinematic comparison of team handball throwing with two different arm positions. *International journal of sports physiology and performance*, 5. évf. (2010. 12), 469–83. p.
- [15] Chan Yung Wai – Mohd Zamani Bin Ngali: The biomechanics analysis: Development of biomechanics analysis algorithm with openpose motion capture system. *Research Progress in Mechanical and Manufacturing Engineering*, 2. évf. (2021) 2. sz., 658–668. p.
- [16] Wikipédia: Kézilabda – wikipédia, 2023. URL <https://hu.wikipedia.org/w/index.php?title=K%C3%A9zilabda&oldid=26539623>. [Elérés ideje 2023. október 21.].
- [17] Mette K. Zebis – Jesper Bencke: *Biomechanical Aspects in Handball: Lower Limb*. Berlin, Heidelberg, 2018, Springer Berlin Heidelberg, 61–68. p. ISBN 978-3-662-55892-8. URL [https://doi.org/10.1007/978-3-662-55892-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55892-8_5).