

Új infokommunikációs technológiák
alkalmazása, tesztelése és fejlesztése
a rehabilitációban

Doktori értekezés

Zsarnóczy-Dulházi Fanni

Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem
Sporttudományok Doktori Iskola



MAGYAR TESTNEVELÉSI
ÉS SPORTTUDOMÁNYI
EGYETEM
BUDAPEST

Témavezető: Dr. Kopper Bence egyetemi docens, PhD

Hivatalos bírálók: Dr. Torma Ferenc Gergely tudományos főmunkatárs, PhD

Dr. Grand László egyetemi adjunktus, PhD

Budapest

2026

TARTALOMJEGYZÉK	
RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	3
ÁBRAJEGYZÉK	4
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	5
1. BEVEZETÉS	6
1.1. Problémafelvetés	7
1.2. Az IKT felhasználása az egészségügyben (e-egészségügy)	10
<i>1.2.1. Az okostelefonok használata az egészségügyben (m-egészségügy)</i>	13
1.3. Az IKT felhasználása a mozgásszervi rehabilitációban (e-rehabilitáció) . 15	
<i>1.3.1. A vizuális és vesztibuláris érzékelő rendszerek jelentősége a mozgásszervi rehabilitációs folyamat során</i>	16
<i>1.3.2. A mozgáselemzés jelentősége a rehabilitációs folyamatban</i>	17
1.3.2.1. Markeres mozgáselemzés	17
1.3.2.2. Kinovea videóelemző rendszer.....	18
1.3.2.3. Marker nélküli mozgáselemzés	19
1.3.2.4. Az OpenPose mesterséges intelligencia alapú mozgáselemző szoftver	20
1.4. Az IKT felhasználása a sportban és sportrehabilitációban	22
2. CÉLKITŰZÉSEK	24
2.1. Hipotézisek	24
3. MÓDSZEREK	26
3.1. Első vizsgálat - A vizuális és vesztibuláris rendszerek egyensúlyra és állásstabilitásra vonatkozó vizsgálata	26
3.1.1. <i>Vizsgálati személyek</i>	26
3.1.2. <i>A vizsgálat lefolyása</i>	27
3.1.3. <i>Vizsgálati eszközök</i>	27
3.1.4. <i>Statisztikai számítások</i>	28
3.2. Második vizsgálat - A vizuális visszajelzés alkalmazása a mozgásszervi rehabilitációs technológiák fejlesztésében az m-egészségügy adta lehetőségek kihasználásával	29
3.2.1. <i>Vizsgálati személyek</i>	29
3.2.2. <i>A vizsgálat lefolyása</i>	29
3.2.3. <i>Vizsgálati eszközök</i>	33
3.2.4. <i>Statisztikai számítások</i>	34

3.3. Harmadik vizsgálat - Mesterséges intelligencia bevonása a mozgás nyomon követésére.....	35
3.3.1. <i>A vizsgálat ismertetése és módszerek.....</i>	35
3.3.2. <i>A vizsgálat lefolyása.....</i>	36
3.3.3. <i>Vizsgálati eszközök.....</i>	36
3.3.4. <i>Statisztikai számítások.....</i>	37
4. EREDMÉNYEK.....	38
4.1. Az első vizsgálat eredményei.....	38
4.1.1. <i>Terület (Area).....</i>	38
4.1.2. <i>Távolság (Distance).....</i>	41
4.1.3. <i>Előre-hátra (Anterior-posterior).....</i>	44
4.1.4. <i>Balra-jobbra (Left-right).....</i>	47
4.2. A második vizsgálat eredményei.....	50
4.2.1. <i>Guggolás gyakorlat.....</i>	50
4.2.2. <i>Térdemelés gyakorlat.....</i>	54
4.2.3. <i>A technológia használatának értékelése.....</i>	58
4.3. A harmadik vizsgálat eredményei.....	60
4.4. Az eredmények összefoglalása.....	61
5. MEGBESZÉLÉS.....	63
5.1. Első vizsgálat - A vizuális és vesztibuláris rendszerek egyensúlyra és állásstabilitásra vonatkozó vizsgálata.....	65
5.2. Második vizsgálat - A vizuális visszajelzés alkalmazása a mozgásszervi rehabilitációs technológiák fejlesztésében az m-egészségügy adta lehetőségek kihasználásával.....	68
5.3. Harmadik vizsgálat - Mesterséges intelligencia bevonása a mozgás nyomon követésére.....	73
6. KÖVETKEZTETÉSEK.....	77
6.1. Döntések a hipotézisekről.....	77
7. ÖSSZEFOGLALÁS.....	79
7.1. Summary.....	80
8. IRODALOMJEGYZÉK.....	81
9. SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE.....	98
9.1. Az értekezés témájában megjelent eredeti közlemények.....	98
9.2. Nem az értekezés témájában megjelent eredeti közlemények.....	99
9.3. Társszerzős publikációk.....	99

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	101
------------------------------	-----

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

IKT- Infokommunikációs technológia

EHR (Electronic Health Records) - Elektronikus egészségügyi nyilvántartások

CDSS (Clinical Decision Support System) - Klinikai döntéstámogató rendszerek

MI- Mesterséges Intelligencia

D- Domináns csoport

ND- Nem Domináns csoport

NYKP- nyomásközéppont

NY- nyitott szemmel

FNY- forgatás után nyitott szemmel

CS- csukott szemmel

FCS- forgatás után csukott szemmel

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra. Az e-egészségügyi megoldások fejlesztésének lépései	11
2. ábra. Az e-egészségügy SWOT ábrája.	13
3. ábra. Az okostelefon képernyőjének kivetítése a laptop képernyőjére, miközben a goniométer alkalmazás bekapcsolt állapotban van.....	30
4. ábra. A guggolás gyakorlat bemutatása a végtagra rögzített okostelefonnal	31
5. ábra. A guggolás gyakorlat bemutatása a végtagra rögzített okostelefonnal és székbe kapaszkodva a sérülésveszély csökkentése érdekében	31
6. ábra. A térdemelés gyakorlat bemutatása a végtagra rögzített okostelefonnal	32
7. ábra. A térdemelés gyakorlat bemutatása a végtagra rögzített okostelefonnal és székbe kapaszkodva a sérülésveszély csökkentése érdekében	32
8. ábra. A OpenPose új alkalmazás rétegével elérhetővé vált két kamera által szolgáltatott adatok egyidejű feldolgozása.....	36
9. ábra. A térdízület szögének ábrázolása OpenPose relatív x_i, y_i koordinátákkal az A, B, C kulcspontokhoz, mint csípő, térd, bokaízület anatómiai helye	37
10. ábra. A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Terület eredményeinek szemléltető ábrája	38
11. ábra. A Terület értékek a Domináns (D) csoporton belül	39
12. ábra. A Terület értékek a Nem-domináns (ND) csoporton belül	40
13. ábra. A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Távolság eredményeinek szemléltető ábrája	41
14. ábra. A Távolság értékek a Domináns (D) csoporton belül	42
15. ábra. A Távolság értékek a Nem-domináns (ND) csoporton belül	43
16. ábra. A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Előre- hátra elmozdulás eredményeinek szemléltető ábrája	44
17. ábra. Az Előre-hátra értékek a Domináns (D) csoporton belül	45
18. ábra. Az Előre- hátra értékek a Nem-domináns (ND) csoporton belül	46

19. ábra. A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Balra-jobbra eredményeinek szemléltető ábrája.....	47
20. ábra. A Balra-jobbra értékek a Domináns (D) csoporton belül.....	48
21. ábra. A Balra-jobbra értékek a Nem-domináns (ND) csoporton belül.....	49
22. ábra. A vizsgálati csoportok guggolás gyakorlat eredményeinek bemutatása	51
23. ábra. A fiatal felnőttek guggolás gyakorlatának kísérleti és kontroll csoportjának összehasonlítása.....	52
24. ábra. Az idősebb felnőttek guggolás gyakorlatának kísérleti és kontroll csoportjának összehasonlítása.....	53
25. ábra. A vizsgálati csoportok térdemelés gyakorlat eredményeinek bemutatása	55
26. ábra. A fiatal felnőttek térdemelés gyakorlatának kísérleti és kontroll csoportjának összehasonlítása.....	56
27. ábra. Az idősebb felnőttek térdemelés gyakorlatának kísérleti és kontroll csoportjának összehasonlítása	57
28. ábra. A fiatal felnőttek vizsgálati protokoll nehézségére vonatkozó kérdőív válaszainak eloszlása kördiagramon bemutatva	58
29. ábra. Az idősebb felnőttek vizsgálati protokoll nehézségére vonatkozó kérdőív válaszainak eloszlása kördiagramon bemutatva	58
30. ábra. Az OpenPose új alkalmazás rétegének és a Kinovea szoftver összehasonlítása kiinduló helyzetben	60
31. ábra. Az OpenPose új alkalmazás rétegének és a Kinovea szoftver összehasonlítása guggoló helyzetben.....	61

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat. A guggolás mérési adatainak abszolút eltérése a 65 fokos célszög helyzethez képest (átlag \pm szórás).	51
2. táblázat. A térdemelés mérési adatainak abszolút eltérése a 75 fokos célszög helyzethez képest (átlag \pm szórás).	55

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt években az infokommunikációs technológiák (IKT) integrálódtak az egészségügybe, kialakítva ezzel az e-egészségügy (eHealth) fogalmát, és megváltoztatva az egészségügyi szolgáltatások jellegének és elérésének módját. Célja a számítógépek, internet, mobilalkalmazások, elektronikus egészségügyi nyilvántartások stb. alkalmazásával a betegek állapotának nyomon követése és ellátásának javítása, az egészségügyi folyamatok hatékonyságának növelése, az egészségügyi információk hozzáférhetőségének biztosítása, valamint az egészségügyi döntéshozatal megalapozása (Hayes és mtsai 2014; Bánhalmi és mtsai 2018; Zsarnóczky 2020; Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2020; Kruszyńska-Fischbach és mtsai 2022).

Kutatásom éve alatt több külföldi tanulmányúton is részt vettem, melyek során a lehető legalaposabban kívántam tájékozódni a helyi e-egészségügyi megoldásokról és a jövőbeli kutatási irányokról. Az első tudományos vizsgálatomat a témában az MSc diplomadolgozatom írása során végeztem, ahol mozgássérült személyek telefonos egészségügyi applikációhasználati szokásait vizsgáltam. Ekkor ismertem fel, hogy az infokommunikációs technológia valójában milyen széles körben használható és döntöttem el, hogy doktori kutatásomban az infokommunikációs technológiák egészségügybe, rehabilitációba való bevonására és felhasználására fókuszálok.

A kutatások legfontosabb kérdései közé tartozik, hogy milyen eszközökkel és szoftverekkel, hogyan lehet a leghatékonyabban növelni a távellátást, és csökkenteni a felhasználói hibákat. Az e-egészségügy szakirodalma emellett társadalmi kérdésköröket is tárgyal, például azokat a folyamatokat, amelyek elvezettek az infokommunikációs eszközök és online tér mindennapos elfogadásához és elterjedéséhez. A kutatások feltárják az e-egészségügy előnyeit, hátrányait, lehetőségeit és veszélyeit, valamint vizsgálják az internetes közösségek jelentőségét az egészségügyet érintő kérdések vonatkozásban (Hyppönen 2008; Al-Dmour és mtsai 2020; Zsarnóczky-Dulházi 2022a; Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2023).

1.1. Problémafelvetés

Az e-egészségügy és a távrehabilitáció egyre nagyobb jelentőséggel bír Magyarországon számos olyan tényező miatt, amelyek rávilágítanak arra, hogy miért van szükség a jelenlegi társadalmi és egészségügyi kihívásokhoz igazodó innovatív egészségügyi megoldásokra.

Magyarországon – sok országhoz hasonlóan – egyenlőtlenség tapasztalható az egészségügyi ellátáshoz való hozzáférés terén, különösen a vidéki területeken. A fővárostól távolabb haladva egyre inkább jellemző a korlátozott hozzáférés az egészségügyi szolgáltatásokhoz (Szivós és mtsai, 2024). Az infokommunikációs technológiát használó távrehabilitáció áthidalhatja ezt az egyenlőtlenséget azáltal, hogy lehetővé teszi a távoli helyeken tartózkodó betegek számára, hogy utazás nélkül is magas színvonalú egészségügyi szolgáltatásokhoz jussanak. Fontos megjegyezni, hogy nemcsak a távolság jelenthet akadályt, hanem például a mozgáskorlátozottság, a munkabeosztás, vagy akár a munkavégzés speciális helyszíne is (Bíró és Prinz 2020).

Habár korábban is léteztek újszerű e-egészségügyi megoldások az egészségügyben, valójában a COVID-19 világjárvány világított rá a távegészségügyi szolgáltatások fontosságára. A lezárások és a társadalmi távolságtartási intézkedések következtében a hagyományos személyes rehabilitációs szolgáltatások elérése komoly kihívást jelentett. A telerehabilitáció biztonságosnak tűnő alternatívaként jelent meg, lehetővé téve a betegek számára azt, hogy otthonról folytassák a rehabilitációt, ezzel fenntartva a kezelés folyamatosságát mégis minimalizálva a vírus terjedésének kockázatát (Denadai 2020).

Hazánkban igen nagy szükség, illetve igény lenne az egészségügyi infrastruktúra optimalizálására. Jellemzően korlátozott erőforrások állnak rendelkezésre, míg az egészségügyi igények nőnek, hiszen sok európai országhoz hasonlóan, Magyarországot is a népesség előregedése jellemzi, ami a krónikus betegséggel küzdők és a rehabilitációt igénylők számának növekedését eredményezi (OECD 2024). Éppen ezért jelenik meg mind az állami mind a magán szolgáltatói szinten is az IKT megoldások bevonása az egészségügyi ellátó rendszerbe. Ilyen e-egészségügyi megoldások például az olyan elektronikus egészségügyi nyilvántartások (EHR), mint az Elektronikus Egészségügyi Szolgáltatási Tér (EESZT) és távorvoslási platformok (pl. hazai szinten pl. az AIP Derm, Videopszichológus, vagy külföldön pl. a Teladoc vagy az Amwell). Az elektronikus

egészségügyi nyilvántartásoknak köszönhetően egyszerűsödik az adminisztráció, és a páciensek számára is egy helyen, elektronikusan elérhetők az egészségügyi dokumentációk, leletek. További előnyt jelent az új technológiák bevezetésével, hogy az egészségügyi szolgáltatók közötti kommunikáció is javulhat, ami végeredményben az egészségügyi ellátás hatékonyabb működéséhez vezethet.

Ami az egészségügyi kiadásokra fordított kormányzati és magánforrások összegét illeti, hazánkban a ráfordítás az Uniós átlag felét sem érte el 2023-ban. Sajnálatos módon ez a lakosság véleményére és személyes tapasztalataira is hatással van, hiszen a statisztikai felmérések szerint az uniós átlagnál magasabb az egészségügyi vizsgálatok iránti kielégítetlen igények száma. Magyarországon emellett szintén jóval az uniós átlag felett van az úgynevezett elkerülhető halálozás aránya is (OECD 2024).

Problémát jelent az állami egészségügyi intézményekben a munkaerőhiány is, aminek elsősorban az alacsony bérezés az oka, illetve az, hogy elfogadták a részben COVID-19 világjárvány indukálta egészségügyi dolgozók foglalkoztatási státuszának reformját. Az egészségügyi dolgozók pályaelhagyása, illetve külföldre vándorlása még erőteljesebben volt érezhető a járvány és a reform bevezetése idején, ráadásul a rendszerből kikerülők nem egyenletesen oszlanak meg a szakterületek és egészségügyi szolgáltatók között (Gaal és mtsai 2021; Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2023).

Az infokommunikációs eszközök elterjedésének köszönhetően az egészségügyi információkhoz és tartalmakhoz való instant hozzáférés mára teljesen általános elvárásként van jelen, és emiatt a páciensek igényei is megváltoztak. Az e-páciensek aktívan részt vesznek saját ellátásukban, egészségügyi állapotuk monitorozásában és gondozásában, és az IKT megoldások használatával széleskörű ismeretekkel rendelkeznek betegségükről. Elmondható, hogy a betegek nyitottá váltak azokra az újdonságokra, melyeket az új egészségügyi technológiák képesek nyújtani, mind az információáramlást, mind a beavatkozásokat tekintve. Éppen ezért mára a legfőbb igény a páciensek oldaláról a betegközpontú, személyre szabott kezelési terv és ellátás biztosítása (Girasek és mtsai 2022).

A mozgásszervi rehabilitációt tekintve azonban vitatott, hogy a gyógytorna esetében is megfelelő hatékonysággal használható-e a távolról nyújtott ellátás, illetve milyen esetekben jelenthet megoldást, hiszen jellemzően személyes találkozó alkalmával

megvalósuló egészségügyi ellátásról beszélünk, ahol a páciensek állapota és mozgása fizikai kontaktussal mérhető fel, korrigálható és segíthető, különösen a manuális terápia és izomlazító módszerek esetében. Külföldi tudományos munkákban olyan, mesterséges intelligenciát és deep-learning (mély tanulás) algoritmusokat alkalmazó marker nélküli mozgáselemző rendszerekben látják a megoldást, amik biztosítják a fizikális állapotfelmérést, az edzésprogramokat, a gyakorlatok felügyeletét és nyomon követését, a felhasználók számára (Craig és mtsai 2021; Debnath és mtsai 2022). Hiszen a távgyógytorna kényelmes és sok esetben praktikus, de az egyszerű videókapcsolaton keresztül megvalósuló terápiás alkalmazások nem biztos, hogy minden esetben kellő információt képesek nyújtani a páciensek mozgásáról, így nem minden páciens és nem minden állapot esetén jelent megfelelő alternatívát. Továbbá az online ellátás hatékonysága jelentős mértékben függ a páciens együttműködési hajlandóságától, technológiai ismereteitől és a szükséges eszközökhöz való hozzáféréstől, az új fejlesztések minőségétől és gyakorlati használhatóságától. Mindezen korlátok ellenére a korábbi tudományos kutatások egyértelműen rámutatnak arra, hogy az új technológiák bevonása a mozgásszervi rehabilitációs ellátásba a jövőben nem csupán alternatívát, hanem kiegészítőt, az ellátás hatékonyságát és elérhetőségét javító funkciót is betölthet (Lunde és mtsai 2018; Kopper és mtsai 2020; Moral-Munoz és mtsai 2021; Zsarnóczky-Dulházi és Kopper 2021).

A tudományos szakirodalmi adatbázisokban fellelhető publikációk mellett elsősorban az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által megfogalmazott e-egészségügyet érintő útmutatókat tekinthetjük bizonyítékokon alapuló információknak és ajánlásoknak a témában (WHO 2016, 2019, 2021a, 2021b), ahol többek között kiemelik, hogy a fejlesztéseket egy adott populációra tekintettel célszerű megvalósítani a hatásos és hatékony felhasználhatóság érdekében. Ezért van szükség kifejezetten a magyar lakosság jellemzőit és a magyar jelenleg elérhető digitális rendszerek (pl. EESZT) figyelembe vevő e-egészségügyi megoldások fejlesztésére.

A disszertációban szereplő első tudományos kutatásban vizsgáltuk a vizuális visszajelzés szerepének fontosságát az állásstabilitás és egyensúly fenntartásában. Majd a vizsgálatból származó eredményekre alapozva egy longitudinális kutatás keretén belül azt tanulmányoztuk, hogy a vizuális visszajelzés milyen mértékben befolyásolja a tornagyakorlatok pontos kivitelezését. Ehhez a hazai háztartásokban elérhető

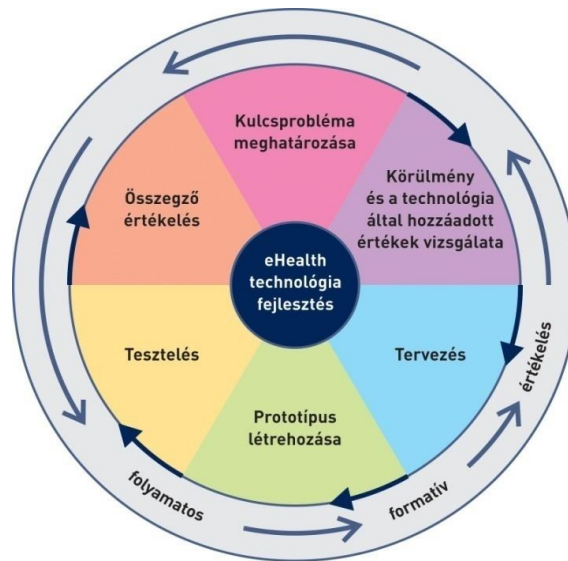
infokommunikációs eszközöket, okostelefont és számítógépet használtunk. Harmadik vizsgálatunkban pedig marker nélküli, mesterséges intelligencia alapú technológiát teszteltünk ízületi mozgástartomány vizuális visszajelzésére.

1.2. Az IKT felhasználása az egészségügyben (e-egészségügy)

Az egészségügy rohamosan fejlődő világában az elektronikus egészségügy forradalmi erővé vált, átalakítva a betegek ellátásának és kezelésének hagyományos paradigmáit.

Az infokommunikáció kifejezés az információtechnológia és a távközlés integrációjából alakult ki. Alapvető elemei az adattárolás, adatkezelés és adattovábbítás (Sallai és mtsai 2009). Az információ- és kommunikációs technológia magját olyan eszközök alkotják, mint a számítógépek (hardverek), szoftverek, hálózatok és multimédiás eszközök, melyek különböző formában közvetítik az információt (Al-Rahmi és mtsai 2020).

Az e-egészségügy az elektronikus kommunikáció és az információs technológia egészségügyi felhasználására összpontosít. Célja az egészségügyi folyamatok, a kommunikáció és az információhoz való hozzáférés javítása (Sass és Feko 2011). Alkalmazható a prevenciótól kezdve a gyógyításon, rehabilitáción és krónikus betegellátáson át a palliatív gondozásig (Zsarnóczky- Dulházi és Kopper 2021). Éppen ezért a megbízható e-egészségügyi alkalmazásokra igény és szükség van. Ezek fejlesztése azonban több lépcsős feladat, ami szakértőket igényel (Zsarnóczky-Dulházi és Kopper 2021) (1. ábra).



1. ábra. Az e-egészségügyi megoldások fejlesztésének lépései
(forrás: saját szerkesztés, Zsarnóczky és Kopper 2021)

2023-as kutatásunkban foglaltuk össze a körülményeket és a technológia által hozzáadott értékeket (Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2023), mely alapján az e-egészségügy vitathatatlan előnyei közé tartozik a költséghatékonyság, a fertőzésveszély csökkenése járványhelyzetben, valamint a földrajzi távolságbeli egyenlőtlenségek és várólisták mérséklése az IKT-k segítségével (2.ábra). A valós idejű online konzultáció elősegíti a betegek és szakemberek közötti információáramlást. Az e-egészségügy fogalmának körébe tartoznak az elektronikus egészségügyi nyilvántartások (EHR – Electronic Health Record) és klinikai döntéstámogató rendszerek (CDSS – Clinical Decision Support System), az egészségügyi információcsere-rendszerek, amik az adminisztrációt segítik (Cowie és mtsai 2017, Sutton és mtsai 2020).

Az infokommunikáció elterjedésével megváltozott az orvos-páciens kapcsolat is (Kaba és Sooriakumaran 2007). Az alá fölé rendelt szerepet felváltotta egy egyfajta együttműködés az aktívan az egészségéért tenni kívánó páciens és az orvosa között, így a személyre szabottság központi elvárt eleme lett a betegellátásnak. Ez a fajta megközelítés az e-egészségügy bevonásával az ellátás minőségét és a páciens elégedettségét is hivatott növelni. A napjainkra jellemző e-páciensek az interneten tájékozódnak, ahol internetes közösségekhez, oktatási forrásokhoz, támogató

csoportokhoz, szakértői és telemedicina-szolgáltatásokhoz férhetnek hozzá (Ferguson és Frydman 2004, Lunde és mtsai 2018, Engebretsen 2024) akár anonim módon (Pan és mtsai 2023).

2021-es kutatásunkban megállapítottuk, hogy a szakértői jelenlétben belül meghatározó szerep jut az egészségügyi civil szervezeteknek, akik aktívan hozzájárulnak a hiteles információk terjesztéséhez, a betegedukációhoz, a prevencióhoz, valamint a társadalmi stigmatizáció csökkentéséhez. Úgy véljük, hogy a közösségi média felületek napjaink társadalmában egyfajta e-egészségügyi technológiaként funkcionálnak, elsősorban az egészségügyi vonatkozású csoportok és oldalak révén (Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2021). Az említettek mellett sok felhasználó egészségügyi kezelésekre, műtétekre, gyógyszerekre vagy gyógyászati eszközökre is az interneten kér és kap anyagi támogatást, úgynevezett közösségi erőforrás-toborzáson belül megjelenő közösségi finanszírozás útján, melynek Magyarországon elsődleges helyszíne a Facebook, míg külföldön a GoFundMe weboldal (Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2022a). A számos lehetőség és előny mellett ugyanakkor kihívást jelentenek a nyelvi és technológiai akadályok, az adatvédelem hiányosságai, valamint a digitális kompetenciák eltérései. A távorvoslás fejlődése a Covid-19 alatt felgyorsult, de a jogi és titkosítási keretek még hiányosak (Sivaprakash és mtsai 2019; Wong és mtsai 2020; Digital Health Europe 2021). Kockázatként nevezhető meg a cybercondria jelensége, amikor az egészségügyi információk túlzott keresése szorongást okoz (Starcevic és Aboujaoude 2015), valamint az öndiagnosztizálás, amely szakértői kontroll hiányában veszélyes lehet (2. ábra). Ezért fontos a hiteles online források használata és az orvosi konzultáció (Mackey és mtsai 2022). Az e-egészségügy egyik jellegzetes innovációja tehát a betegek aktív szerepvállalása és tájékozódása a saját egészségügyi ellátásukat érintően. Véleményünk szerint az egészségügyi tartalom felhasználásának ez a módja jelzi azt is, hogy az új technológia bevonása aktívan megkezdődhet a mozgásszervi rehabilitáció terén is (Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2023).



2. ábra. Az e-egészségügy SWOT ábrája.
(forrás: saját szerkesztés, Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2023)

1.2.1. Az okostelefonok használata az egészségügyben (m-egészségügy)

A mobil egészségügy, vagy rövidítve m-egészségügy mobil eszközöket, például okostelefonokat és táblagépeket használ az egészségügyi szolgáltatások támogatására. Bár a mobil-egészségügy és a viselhető eszközök hivatalosan a digitális egészségügy tágabb kategóriájába tartoznak, az adatgyűjtés és továbbítás, valamint a távfelügyelet az infokommunikációs technológia felhasználásával valósul meg (Istepanian 2022).

Az a tény általánosan ismert, hogy a digitális és infokommunikációs eszközök felhasználási aránya rendkívül magas a világon és hazánkban is, amik közül méretüknek és sokrétű funkcióiknak köszönhetően a legelterjedtebbek az okostelefonok és a viselhető eszközök. (Lunde és mtsai 2018). Ezek az eszközök az ellátás folyamatosságának fenntartását hivatottak szolgálni, többnyire a leggyakoribb nem fertőző, krónikus betegségek, például a cukorbetegség, a magas vérnyomás és a krónikus obstruktív

tüdőbetegségben (COPD) szenvedők egészségügyi paramétereinek folyamatos monitorozásával. Az okostelefonokon és okosórákon lévő alkalmazások emlékeztetőket küldhetnek orvosi vizsgálatokról, edzések időpontjáról, gyógyszerek bevitelének idejéről, mindezzel javítva a betegek együttműködését. A viselhető eszközök közé soroljuk még a fitness órákat (fitness tracker), a testtartást érzékelő ruhákat és az orvosi minőségű viselhető eszközöket, például a különböző glükóz monitorokat, melyek a diabéteszes páciens glükózsztintjéről képesek folyamatosan adatot szolgáltatni az okostelefonra (Kumar és mtsai 2013). Funkcióik eltérők lehetnek, de jellemzően ellenőrizhetők és nyomon követhetők a vitális paraméterek, például pulzusszám, vércukorszint, véroxigén szint, a szív elektromos aktivitása, a légzési minták vagy a fizikai aktivitás mértéke lépésszám alapján, illetve az alvási szokások is (Everson és mtsai 2015; Majumder és Deen 2019). Ezek az eszközök hozzájárulnak a prevencióhoz az egészségesebb életmód népszerűsítésével és bizonyos egészségügyi problémák korai felismerésének elősegítésével. Moral-Munoz és munkatársai szisztematikus áttekintésükben arra a következtetésre jutottak, hogy az okostelefon-alapú rendszerek többsége egy konkrét egészségügyi állapotra összpontosít, valamint a krónikus betegségek nagyobb figyelmet kapnak, mivel a hosszú távú rehabilitáció hatékonyságát korlátozza a protokollok betartásának hiánya és a gyakori klinikai látogatások magas költségei, amiken ezek az okoseszközös alkalmazások hivatottak javítani (Moral-Munoz és mtsai 2021).

Hordozhatóságuk, hozzáférhetőségük és fejlett érzékelési képességeik miatt a mozgásszervi rehabilitációban egyre gyakrabban használják az okostelefonokat és okosórákat. Ezek az eszközök különféle alkalmazásokon keresztül olyan előnyöket kínálnak, amelyek kiegészítik a mozgásszervi betegségekben szenvedő betegek hagyományos rehabilitációs programjait. Az eszközök által gyűjtött adatok segítenek az egészségügyi szolgáltatóknak nyomon követni, hogy a páciensek betartják-e az edzésprogramokat és elérik-e a kívánt aktivitási szintet. Az okostelefonok oktatóvideókon keresztül is segítséget nyújthatnak a páciensek számára a tornagyakorlatok helyes kivitelezéséhez. Előnyeik továbbá, hogy az alkalmazások játékszerű elemeinek használata bizonyítottan tovább növelheti a páciensek elkötelezettségét az adott terápia végig vitelére (Asimakopoulos és mtsai 2017). A folyamatos adatgyűjtés lehetővé teszi a rehabilitációs folyamat időbeli és teljesítménybeli nyomon követését, aminek elemzése

után a rehabilitációs program személyre szabottan módosítható, tervezhető. A betegek az okostelefonok segítségével virtuális konzultációkon vehetnek részt egészségügyi szolgáltatóikkal, így könnyebben kaphatnak útmutatást, visszajelzést. Az ízületben történő szögelfordulás mértékét, a páciens ízületi mozgástartományát manuálisan goniométer segítségével mérhetjük, mely applikáció formájában elérhető az okostelefonokon is (Lee és mtsai 2014). Az okostelefonok és okosórák érzékelőiben rejlő lehetőségeket kifejezetten gyógytornászok is kihasználhatják a járáselemzés (Ginis és mtsai 2016), az egyensúly tesztek (Chiu és mtsai 2017) és a funkcionális mobilitás tesztek elvégzéséhez drága berendezések nélkül (Chan és mtsai 2015; Mills 2015). Páciensi oldalról hasznosnak bizonyult a krónikus betegséggel nem küzdő, de ülő életmódot folytatók számára (Glynn és mtsai 2013), a csuklóműtét utáni rehabilitációt igénylő betegek körében (Matera és mtsai 2016), a krónikus szívbetegségben szenvedők állapotának javítására (Chung és mtsai 2016; Yudi és mtsai 2021).

1.3. Az IKT felhasználása a mozgásszervi rehabilitációban (e-rehabilitáció)

A mozgásszervi rehabilitáció célja a mozgásszervi rendszer sérülései, betegségei vagy rendellenességei következtében fellépő funkcióvesztés helyreállítása, a fájdalom csökkentése és a mozgásfunkciók optimalizálása a páciensek életminőségének és önállóságának növelése érdekében (1997. évi CLIV. Törvény 100. § (1)(2)). A gyógytornát támogató fejlesztésekben az IKT biztosítja az adatgeneráláshoz, kommunikációhoz és összekapcsolhatósághoz szükséges infrastruktúrát és eszközöket. Emellett a rendszerben ma már jellemzően megjelenik a mesterséges intelligencia is, ami ezt fejlett elemzési és döntéshozatali képességekkel egészíti ki. Ezen felül a különböző szenzorokból érkezett jelek tehetik még eredményesebbé a felhasználást. Ezek együttesen segítséget nyújthatnak a gyógytornászoknak a páciensek diagnosztikai értékelésének elkészítéséhez, ami a technológiától függően akár közvetlen személyes kontaktus nélkül megvalósítható, a mozgás végrehajtásáról adott valós idejű visszajelzések által (Szabo és mtsai 2023).

1.3.1. A vizuális és vestibuláris érzékelő rendszerek jelentősége a mozgásszervi rehabilitációs folyamat során

Az egyensúly megtartása és az állásstabilitás megőrzése az emberi test mozgásának alapvető eleme, melyet a vizuális, a vestibuláris és a szomatoszenzoros rendszerek összehangolt működése tesz lehetővé (Takakusaki 2017). Megkülönböztethetünk statikus és dinamikus egyensúlyt. A statikus egyensúly alatt egy póz megtartását értjük stabil felületen, míg a dinamikus egyensúly azért felelős, hogy meg tudjuk tartani egyensúlyunkat mozgás vagy testhelyzetváltás közben (Pollock és mtsai 2000).

A látás szervrendszere a szem, mely bemenetet ad a látótérben, a környezetben megjelenő mozgásokról és a testhelyzetről. A szem működésének alapja a fotoreceptorok által közvetített ingerfelvétel, míg a belső fül a mozgások és a testhelyzet érzékeléséért felelős a háromdimenziós térben. Ez utóbbi a vestibuláris rendszerben található mechanoreceptorokon keresztül történik, amelyek a fej térbeli helyzetét érzékelik (Hain és Helminski 2014).

A szomatoszenzoros rendszer létfontosságú szerepet játszik a mindennapi funkciókban, hozzájárul a veszélyek elkerüléséhez, a pontos mozgáskoordinációhoz és a környezet érzékeléséhez. Ez a rendszer a bőr, az izmok, az ízületek, valamint a belső szervek érzékelő receptorain keresztül gyűjti az információkat, amit aztán az idegpályák az agyba továbbítanak. Az izmokban, ízületekben és inakban található proprioceptorok érzékelik a test és a végtagok helyzetét és mozgását, támogatva a koordinált mozgást, az egyensúlyt és az állásstabilitást (Han és mtsai 2015; Ivanenko és Gurfinke 2018).

Az emberi test egyensúlyban tartásának és poszturális stabilitásának összetettsége miatt több külső és belső tényező képes hatással lenni rá. A külvilágból származó információk 40%-át felvevő-feldolgozó érzékszerv a szem, ezért a legtöbb kutatás úgy véli, hogy leginkább a vizuális input kulcsfontosságú (Pavlik 2013; Pérez és mtsai 2014). Riach és Starkes kutatásukban hangsúlyozzák, hogy a fix pontra történő fókuszálással csökken a testlengés az egyensúlyozás közben (Riach és Starkes 1989). Ezt az is alátámasztja, hogy nyitott szemmel jobb az egyensúlyunk, mint csukott szemmel (Horak és Macpherson 1996). Befolyásolja az egyensúlyt a támaszfelület is, melyet a test és a talaj közötti kapcsolat határoz meg: minél nagyobb a támaszfelület, annál stabilabb lesz az adott

testhelyzet (de Mello és mtsai 2017). Emellett a lábfej helyzete és az egyén életkora is befolyással bírhat (Speers és mtsai 2002; Bruyneel és Bertrand 2018).

A különböző mozgások precíz és sikeres végrehajtása fejlett testtudatot és jó egyensúlyi képességet igényel. Több tanulmány is vizsgálta a sportolók stabilitási és egyensúlyi jellemzőit és arra a következtetésre jutottak, hogy a sportolók és táncosok lényegesen jobb egyensúlyozási képességekkel rendelkeznek, mint a nem sportolók, különösen speciális felületeken és körülmények között (Pérez és mtsai 2014; Kiers és mtsai 2013; Zemková 2014; Davlin 2004).

Az azonban kérdéses, hogy a vizuális és a vesztibuláris rendszerek eltérő mértékben befolyásolják-e az egyensúly és az állásstabilitás során mérhető stabilitási paraméterek (kilengés, poszturális ingadozás) varianciáját.

1.3.2. A mozgáselemzés jelentősége a rehabilitációs folyamatban

A gyógytorna egy speciális mozgásterápia, ahol a megbetegedett vagy sérült szerv vagy testrész funkciójának a helyreállítására különböző tornagyakorlatokat, terápiákat alkalmaznak. A szakemberek munkájához a mozgáselemzésre alkalmas szoftverek objektív segítséget nyújthatnak, elsősorban az állapotfelméréshez és a rehabilitációs fejlődés nyomon követéséhez.

1.3.2.1. Markeres mozgáselemzés

Markeres mozgáselemzésnek hívjuk azokat a technológiákat, ahol az adott testrészre vagy testrészekre külső, jól látható aktív vagy passzív jelölők, úgynevezett markerek felhelyezésére van szükség. A mozgásról felvétel készül, ami a későbbi elemzést teszi lehetővé. A főbb fizikai markereket igénylő mozgáselemző rendszerek: az optikai mozgáskövető rendszerek (Vicon, Qualisys), amik infravörös kamerákat és tükröződő markereket használnak; az elektromágneses mozgáskövető rendszerek (Polhemus, Ascension), ahol a markerek elektromágneses szenzorok, amelyek egy elektromágneses mezőben helyezkednek el, és ezeket a mező változásai alapján követik; az inerciális

szenzorok (Xsens, Noraxon), ahol inerciális mérőegységek (gyorsulásmérő, giroszkóp és magnetométer) nyújtanak adatokat a testrészek elmozdulásáról és elfordulásáról; az ultrahangos mozgáskövető rendszerek (Zebris), amik ultrahangos jeleket küldenek ki a markerekből, amelyek távolságát egy vevő egység érzékeli.

Ezek a fizikai markereket igénylő mozgáselemző rendszerek helyes használat esetén rendkívül pontos adatokat képesek biztosítani a test különböző pontjainak pozíciójáról és mozgásáról, ezért különösen népszerűek a biomechanikai kutatásokban, a rehabilitációban, a sportban és az animációs filmgyártásban. Hátrányuk azonban, hogy felhelyezésük időigényes, viselésük korlátozhatja a természetes mozgást, és emellett a legtöbb speciális környezetet igényel. Szigorúan ügyelni kell továbbá arra, hogy a markerek láthatók maradjanak és ne mozduljanak el, hiszen az elmozdulás torzíthatja az eredményeket (Yeadon és Pain 2023).

1.3.2.2. Kinovea videóelemző rendszer

A Kinovea szabadon és ingyenesen elérhető videóelemző szoftver nem a klasszikus értelemben vett markeres mozgáselemző rendszer, hiszen fizikálisan nem szükséges markerek elhelyezése a testen, hanem utólag, a mozgásról készített videón kell manuálisan bejelölni a vizsgálandó kulcspontokat. Ilyen értelemben a marker nélküli mozgáselemzés előfutárának nevezhető, mellyel többek között az ízületben történő elmozdulás, távolság, sebesség és mozgáspálya mérhető (<https://www.kinovea.org/>; Puig-Diví és mtsai 2019). A szoftvert eredetileg sportmozgások elemzésére (Nor Adnan és mtsai 2018) fejlesztettek ki, de a járás különböző paramétereinek elemzésére (Spanos és mtsai 2023), az alsó végtag mozgástartományának értékelésére (Guzmán-Valdivia és mtsai 2013), a vállrehabilitációt értékelő ízületi szöghelyzetek mérésére (Nitayarak és Charntaraviroj 2021), az állkapocs kinematikájának mérésére (Ziaiee és mtsai 2023), vagy a nyaki gerinc szaggitális síkú mozgástartományának elemzésére (Elwardany és mtsai 2015) is eredményesen használták. Elmondható, hogy a szoftver kiválóan alkalmas tehát alapvető videóelemzésre, annotációkra és egyszerűbb mozgástanulmányozásra, de nem nyújtja a marker nélküli mozgáselemzés összes előnyét.

Kritikai szempontból vizsgálva a használatát a manuális jelölés szubjektív hibaforrást jelenthet, különösen több vizsgáló közötti összehasonlításnál. Továbbá a program

kizárólag kétdimenziós elemzésre képes, így a komplex, háromdimenziós mozgások pontos követése nem lehetséges és az automatikus, valós idejű nyomon követés hiánya miatt az adatfeldolgozás időigényesebb.

1.3.2.3. Marker nélküli mozgáselemzés

A marker nélküli mozgáselemzés, a markeres rendszerekkel ellentétben, olyan fejlett technológiákat használ, amely során az emberi mozgás nyomon követéséhez és elemzéséhez egyáltalán nem szükséges fizikai markereket rögzíteni a testhez. Ezek a rendszerek kamerákat, mélységérzékelőket és computer vision (gépi látás) algoritmusokat használnak a mozgásadatok követésére és dokumentálására. Előnyei közé tartozik, hogy nem szükséges az adatfelvételhez speciálisan kiépített labor vagy stúdió. Emellett a test is szabadon mozoghat a térben, és mivel nem kell odafigyelni a markerek elmozdulására, emiatt ezen, a mozgást esetlegesen gátló tényező is megszűnik. Az adatfelvétel előkészítése is leegyszerűsödik és felgyorsul, hiszen nem kell felhelyezni a markereket. Hátránya, hogy több ember követése, a zavaró, zsúfolt háttér vagy finom, apró mozgások pontos rögzítése esetén nehézségekbe ütközhet a rendszerek használata. A marker nélküli rendszerek is sikerrel alkalmazhatók a sportelemzéshez, az egészségügyben (rehabilitációhoz és fizioterápiához), a biomechanikai kutatások során, és a film- és játékparban karakteranimációhoz, virtuális valóság létrehozásához.

A maihoz hasonló virtuális rehabilitáció már azelőtt létezett, hogy az emberi csontváz kamerán keresztüli felismerése és követése megvalósíthatóvá vált volna. A korai kutatások ezen a területen közvetett módszereket használtak az emberi végtagok mozgásának követésére, mint például a színérzékelés, tárgyérzékelés (Sucar és mtsai 2010), vagy arcfelismerés (Viola és mtsai 2004).

A mesterséges intelligencia (MI) alkalmazása az utóbbi időben az egyik leginkább kutatott területté vált. Egyik formája a machine learning (gépi tanulás) az a folyamat, amikor a számítógépek adatok és példák alapján tanulnak, és a nélkül képesek javítani a teljesítményüket, hogy kifejezetten programozták őket minden egyes feladatra (Tack 2019). A mozgáselemzési technológiákon belül a computer vision-nal (gépi látás) kombinálva egyszerű, 2 dimenziós videók felhasználásával lehetséges automatizált

pózbecslő algoritmusokat létrehozni. Ennek legfontosabb előnye, hogy a kinematikai mérések speciális és legtöbbször drága eszközök nélkül is elvégezhetővé válnak.

A szakirodalomban egyre többen foglalkoznak a mesterséges intelligencia egészségügyi és rehabilitációs területen történő felhasználásával. A mesterséges intelligenciát használja a 2010-es bevezetésű Microsoft Kinect is, ami eredetileg ugyan videójátéknak készült, de a távoli rehabilitáció lehetőségeit is kiszélesítette. Fő funkciója, hogy kamerán keresztül képes az emberi test és végtagok követésére (Saputra és mtsai 2012). Számos szerző állítja, hogy a Kinect más technológiákkal együtt vagy önmagában is hasznos a távoli mozgásszervi rehabilitációban. Például egy érzékelőkkel felszerelt karpánttal kiegészítve a Kinect szenzor pontos képet adhat a páciens tevékenységéről a gyógytorna alatt (Durve és mtsai 2019). A Kinectet, mint rehabilitációs eszközt, pozitív eredményekkel tesztelték Parkinson-kóros betegek (Galna és mtsai 2014), a metakromatikus leukodisztrófiás (MLD) betegek (Ulaşlı és mtsai 2014), az agyi bénulásos (CP) betegek (Chang és mtsai 2013) és a stroke-betegek körében (Ikbali Afsar és mtsai 2018), az egyensúly és állásstabilitás vizsgálathoz (Heidt és mtsai 2021), az egyensúlytréninghez (Lange és mtsai 2011), a váll rehabilitációs gyakorlatokhoz (Chang és mtsai 2012; Chuan-Jun és mtsai 2014), valamint a kéz, az ujjak mozgásának javítására (Metcalf és mtsai 2013). A rehabilitáció mellett Dutta prevenciós céllal tesztelte a Kinect érzékelőt a munkahelyi környezet ergonomikusságának javítása érdekében (Dutta 2012).

1.3.2.4. Az OpenPose mesterséges intelligencia alapú mozgáselemző szoftver

Az OpenPose egy nyílt forráskódú, fejlett mélytanulási technikákat használó, valós idejű pózbecslő szoftver, melyet a Carnegie Mellon Egyetem kutatói fejlesztettek ki valós idejű többszemélyes kulcspont-érzékelésre, beleértve a test-, arc- és kézkövetést (Joo és mtsai 2015). A program alapját egy konvolúciós neurális hálózat (CNN – Convolutional Neural Network) képezi, amelyet a Part Affinity Fields (PAFs) elnevezésű módszerrel kombináltak. A PAF-ok lehetővé teszik, hogy a rendszer ne csak az egyes testpontokat (kulcspontokat), hanem azok kapcsolatait és irányait is értelmezze, ezáltal több személy

egyidejű mozgáselemzése is lehetővé válik egy adott képen vagy videóban (Cao és mtsai 2017).

Az OpenPose a meglévő, marker nélküli mozgáselemző eszközök legújabb generációjának tekinthető. A tudományos szakirodalom szerint az OpenPose szoftver számos egészségügyi területen bizonyult hasznosnak. A rehabilitációban és gyógytornában járáselemzésre (Viswakumar és mtsai 2022) és állapotfelmérésre is használható, például a térdízületi osteoarthritisben szenvedő betegeknél a radiográfiát helyettesítő megoldásként a csípő-térd-boka szög utólagos mérésére (Saiki és mtsai 2023) vagy a teljes térdízületi protézis utáni flexió és extenzió utólagos mérésére (Saiki és mtsai 2023). Neurológiai rendellenességek felismerését és monitorozását is vizsgálták, mely alapján biztató eredményeket kaptak a motoros tünetek, például a remegés, a merevség és az akaratlan mozgások felismerésében, ami a betegség progressziójának nyomon követését és a kezelés hatékonyságának értékelését teszi lehetővé (Park és mtsai 2021). Egyes esetekben a mozgás finom változásainak detektálásával, a korai diagnózis felállításában is szerepet játszhat (Kim és mtsai 2024). A helytelen testtartás mozgásszervi problémákhoz vezethet, de úgy tűnik az OpenPose képes felmérni a testtartást és ezzel segíteni az egészségügyi szakemberek munkáját. Különösen fontos a munkakörnyezetben végzett testtartáselemzés, aminek célja, hogy a helytelen ergonómiából adódó, hosszú ideig fennálló nem megfelelő testtartás és túlterhelés okozta mozgásszervi megbetegedéseket és sérüléseket megelőzze (Lin és mtsai 2022). Az OpenPose nyomon tudja követni a gyermekek motoros készségeinek fejlődését, beleértve az ülést, a kúszást és a gyaloglást. A mozgási késések korai felismerése pedig lehetővé teszi az időben történő beavatkozást (Reich és mtsai 2021).

Egy, az OpenPose és hozzá hasonló szoftvereket (Tensorflow MoveNet Lightning, Tensorflow MoveNet Thunder, és DeepLabCut-to extract keypoints) összehasonlító kutatás eredményei alapján az OpenPose jelentősen felülmúlja más platformok teljesítményét az egészséges járás kinematikájának és tér-időbeli járásparamétereinek pózbecslésében, és a hagyományos mozgásrögzítő rendszerek alternatívájaként szolgálhat klinikai és kutatási környezetben, amikor a marker-alapú rendszerek nem állnak rendelkezésre (Washabaugh és mtsai 2022).

Kritikai szempontból azonban fontos megjegyezni, hogy ezek a rendszerek bár gyorsan telepíthetők, költséghatékonyabbak, mint a markeres technológiák, pontosságuk

felülvizsgálata szükséges gold standard optikai rendszerekkel (pl. Vicon, Qualysis), hiszen a nyílt forráskódú pózbecslő algoritmusok elsősorban nem biomechanikai és klinikai alkalmazásra lettek kifejlesztve és a finom mozgások, kis ízületi eltérések, illetve több személy egyidejű nyomon követése során hibákat mutathatnak (Wade és mtsai 2022).

1.4. Az IKT felhasználása a sportban és sportrehabilitációban

Az IKT eszközök jelentős szerepet játszanak a sportmozgások kinematikai elemzésében. A teljesítmény fokozására, a sérülések megelőzésére és a felépülés megkönnyítéséhez nyújtanak eszközöket, illetve megoldásokat kínálnak a sportelemzéshez és sportrehabilitációhoz. A mozgáselemzés rehabilitáció terén történő felhasználása a sportmozgások elemzéséhez használt technológiákra vezethető vissza.

Az IKT eszközök legközismertebb felhasználása a sport területén a teljesítményelemzéshez köthető. Videóelemző szoftverekkel az adott sportmozgás vagy éppen mérkőzés precízen, akár képkockánként vizsgálható. A lassított visszajátszás a játékosok, sportolók térben betöltött helyzetének alapos áttekintésére ad lehetőséget, illetve kérdéses versenyhelyzetekben döntő erővel is rendelkezik. A viselhető eszközöket éles versenyhelyzetben kevésbé alkalmazzák, de ezek még pontosabb képet képesek szolgáltatni a versenyző aktuális fizikai állapotáról, mozgásáról, teljesítményéről. A gyorsulásmérők, giroszkópok és GPS adatok szintén rögzíthetik a sportolók mozgását, és ezáltal segítenek optimalizálni az edzésprogramok összeállítását (Dawson és mtsai 2024). A technika, a hatékonyság, valamint az aszimmetriákból, egyensúlyhiányokból és kompenzációs mintákból adódó sérülésveszély felmérése érdekében a biomechanikai elemzések során az alap mutatókon túl speciális mozgásrögzítő rendszereket is használnak. Ilyenek például az erőmérő platformok, a stabilométer, az izomegyensúly mérésre alkalmas komplex berendezések és 3D mozgáselemző szoftverek, amik végeredményben mind IKT megoldásokat használnak az adattovábbításhoz és az elemzések során (Hurley 2018). Jelenleg a legfejlettebb technológiának a marker nélküli mozgáselemző rendszereket tekintjük, mivel ezek olyan előnyökkel rendelkeznek a markeres mozgáselemzőkhöz képes, mint a minimális előkészítési idő, a korlátok nélküli mozgás, illetve szabad helyszín- és környezetválasztás (Colyer és mtsai 2018).

A sport tréning és a kondicionálás során egyre elterjedtebb a virtuális valóság (VR) és kiterjesztett valóság (AR) használata azzal a céllal, hogy fejlesszék a kognitív készségeket, a döntéshozatalt és a helyzetfelismerést, amik mind hozzájárulnak a teljesítmény javításához (Richlan és mtsai 2023). A sportszakemberek számára a dokumentáció és a kapcsolattartás érdekében is elengedhetetlenek az infokommunikációs platformok. Az edzéstervek, az előrehaladás és teljesítménymutatók központosításával egyszerűbben nyomon követhetik a sportolók fejlődését.

A test különböző fiziológiai jeleinek valós idejű nyomon követésével a sportteljesítmény optimalizálható. Ezek az úgynevezett biofeedback-re alkalmas érzékelőkkel felszerelt eszközök a viselőjük élettani paramétereit mérik, így például a pulzusszám, az izomtevékenység, a légzési minták értékei alapján meghatározható az edzés intenzitása, precízen érzékelhetők a fáradás jelei és elkerülhetők a túlterhelés okozta sérülések (Muniz-Pardos és mtsai 2021).

2. CÉLKITŰZÉSEK

A disszertáció célja, hogy áttekintést nyújtson az e-egészségügy meglévő, de folyamatosan változó és újuló eszközeiről és eszközrendszereiről, megvizsgálva az egészségügyi ellátásra és szereplőire (szakemberek, páciensek, infrastruktúra) gyakorolt hatását, továbbá feltárja ezen innovatív technológiák gyakorlatban történő alkalmazhatóságát. Részletesen bemutat és vizsgálati csoportokon tesztel két eltérő mozgáselemzésre és szabályozásra fókuszáló technológiát, mely alapot képez jövőbeli távrehabilitációs célú felhasználáshoz. Ehhez megfizethető, könnyen beszerezhető/elérhető infokommunikációs eszközöket, módszereket kívántunk használni, illetve (tovább)fejleszteni. Célul tűztük ki, hogy a vizsgálatokba bevont tornagyakorlatok valós idejű, vizuális visszajelzése mellett számszerűsíteni is szeretnénk a mozgást az ízületben történő szögelfordulás mérésével a precízebb értékelhetőség érdekében. Kutatásunk részeként vizsgáltuk a vizuális visszajelzés egyensúlyra és állásstabilitásra gyakorolt hatását, amiről úgy gondoljuk, hogy elengedhetetlen összetevője az otthoni környezetben, szakember személyes felügyelete nélkül végzett mozgásnak, (gyógy)tornának.

2.1. Hipotézisek

A disszertációban az alábbi hipotézisek megfogalmazására került sor:

1. A hosszútávon végzett sporttevékenység jellege alapján eltérés található az egyének vizuális és vesztibuláris ingerekre való támaszkodásában az egyensúlymegtartás szempontjából.
2. A tornagyakorlatok végzése során történő végtag elmozdulás számszerű vizuális megjelenítése javítja a gyakorlatok kivitelezésének pontosságát.

3. Az okostelefonon futó goniométer applikáció a mirroring technológiával párosítva speciális szenzorként alkalmazható a tornagyakorlatok helyes végrehajtásának felügyeletéhez.

4. Az OpenPose mesterséges intelligencia alapú, marker nélküli humán pozíciót becsülő szoftver numerikus kijelzésre képes új alkalmazásrétege szoros egyezést mutat a Kinovea rendszer mérési eredményeivel.

3. MÓDSZEREK

A disszertáció középpontjában az infokommunikációs technológia áll, mely szerteágazó felhasználása miatt többféle megközelítésből is vizsgálható. Az értekezés természettudományi vonatkozásban három munkát prezentál részletesen (Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2022b, 2024a, 2024b). Emellett három további, első szerzős, impakt faktorral rendelkező folyóiratban megjelent társadalmi vonatkozású tudományos cikk megemlítésével is kiegészül a bevezetés fejezetben (Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2021, 2022a, 2023).

3.1. Első vizsgálat - A vizuális és vesztibuláris rendszerek egyensúlyra és állásstabilitásra vonatkozó vizsgálata

A megjelent tudományos cikk: Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2022b, Effect of sports background on the visual and vestibular signal processing abilities of athletes

3.1.1. Vizsgálati személyek

Stabilométerrel végzett kutatásunkban összesen 40 fő nőt vizsgáltunk, melyből 20 fő olyan sportágat űzött, ahol a törzs és a fej forgó, csavaró mozgása jellemző. Ebbe a Domináns (D) csoportba tornászok, műkorcsolyázók, balerinák, egyéb táncos műfajt űzők kerültek be. A Nem Domináns (ND) csoportba olyan sportolók kerültek, akiknek a sportágában a törzs és a fej forgó, csavaró mozgása nem jellemző. Ezt a csoportot 20 fő alkotta, a jellemző sportágak a röplabda, evezés és futás voltak. Mivel az életkor, a magasság, a súly, az izom- és zsírtömeg aránya, valamint a BMI mind egyensúlyt befolyásoló tényezők (Chiari és mtsai 2002; Greve és mtsai 2007; Ku és mtsai 2012; Iwasaki és Yamasoba 2014) a vizsgálatban szereplő két csoport érvényes összehasonlíthatósága érdekében az életkort és két antropometriai adatot, a testtömeget és a testmagasságot vettük fel, amikből BMI-t számítottunk. A domináns csoport átlagéletkora $22,51 \pm 2,66$ év, magassága $1,66 \pm 0,05$ méter, testtömege $54,06 \pm 6,04$ kg

és BMI-je 19.71 ± 1.92 volt. A nem domináns csoport életkora $22,23 \pm 1,99$ év, magassága $1,68 \pm 0,06$ méter, testtömege $59,80 \pm 7,83$ kg és BMI-je 21 ± 2.76 volt. A sportolók nagy része a Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem, a balerinák a Magyar Állami Operaház, a táncosok a Magyar Táncművészeti Egyetem és a Budapesti Táncszínház tagjai közül kerültek ki. A résztvevők sportolói felkészültsége magas (legalább heti 3-szor edzés, rendszeres versenyrésztétel), vagy profi szintű volt (fizetett sporttevékenység/színházi előadások). A résztvevőket az eljárás kockázatairól szóban és írásban tájékoztattuk, és az adatfelvételt megelőzően megkaptuk a hozzájárulásukat a vizsgálathoz és az eredmények tudományos célú felhasználásához.

3.1.2. A vizsgálat lefolyása

A statikus egyensúly tulajdonságait egy korábban tervezett protokoll szerint mértük. A résztvevőknek mezítláb, összehzárt lábfejjel, mellső középtartásban kellett állniuk 20 másodpercig egy talpnyomás eloszlás mérő platformon, először nyitott szemmel forgás nélkül (NY), majd csukott szemmel forgás nélkül (CS). Ezután a résztvevőket a vestibuláris rendszer megzavarására érdekében egy talajhoz rögzített forgószékben 10-szer megforgattuk. A forgatás sebességét egy metronóm vezérelte. A teljes ciklusidő $T = 2$ secundum volt. Közvetlenül a forgatás után a résztvevőknek nyitott szemmel (FNY), majd ismételt 10 forgatás után csukott szemmel (FCS) kellett állniuk a talpnyomás eloszlás mérő platformon a korábban ismertetett testhelyzetben. A mérések során a vizsgált személyek kényelmes edzőruházatot viseltek.

3.1.3. Vizsgálati eszközök

Az egyensúly műszeres biomechanikai vizsgálatához elsősorban stabilométert (erőplatót) vagy mozgáselemző rendszert használnak (Caballero és mtsai 2004, Davlin 2004). Vizsgálatunkban a stabilimetriai méréseket MatScan platformon [MatScan Research ver.6.85-26, Tekscan Pressure Measurement System (307 West First Street South Boston USA)] végeztük. Négy különböző nyomásközéppont (NYKP) mozgást, az előre-hátra

(A-P), a balra-jobbra (L-R) irányú mozgásokat, NYKP által megtett teljes távolságot (Távolság) és területet (Terület) rögzítettünk a személyenként 4x20 másodperces stabilometriás adatfelvétel alatt.

Ezeket az értékeket valós időben mértük és a számítógépes program a résztvevők számára egyenként számította ki az eredményeket. A tanulmányt a Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem Etikai Bizottsága hagyta jóvá TE-KEB/No21/2019 iktatószámmon.

3.1.4. Statisztikai számítások

A normalitás vizsgálatot a Shapiro-Wilk-féle W-tesztel végeztük. A felvett személyes adatok két csoport közötti összehasonlítására kétmintás t-próbát használtunk. A vizsgálati terv alapján a csoportok közötti hatások elemzésére vegyes elrendezésű varianciaanalízist (mixed between–within subjects ANOVA) alkalmaztunk. Az elsőfajú (I. típusú) hiba valószínűségének kontrollálása érdekében az ANOVA-t követően, amennyiben szignifikáns főhatás vagy interakció jelentkezett, Tukey-féle HSD post hoc próbákat végeztünk a csoportok közötti különbségek azonosítására. A tanulmány eredményeinek további alátámasztására kiszámítottuk és figyelembe vettük az effektusméret (ES-Cohen d) értékeit, valamint kiszámítottuk a statisztikai teljesítményt is. Minden olyan összehasonlításnál, ahol szignifikáns különbséget találtunk, az effektusméret-értékek és teljesítményértékek nagyobbak voltak, mint 0,8. A számításokat Statistica 12 szoftverrel (Statsoft – TIBCO Software inc. USA) végeztük. A szignifikáns különbséget minden esetben a $P < 0,05$ értéknél határoztuk meg.

3.2. Második vizsgálat - A vizuális visszajelzés alkalmazása a mozgásszervi rehabilitációs technológiák fejlesztésében az egészségügy adta lehetőségek kihasználásával

A megjelent tudományos cikk: Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2024b, Okostelefon-szenzorokon alapuló technológia alkalmazása az otthoni gyógytorna eredményességének ellenőrzésére

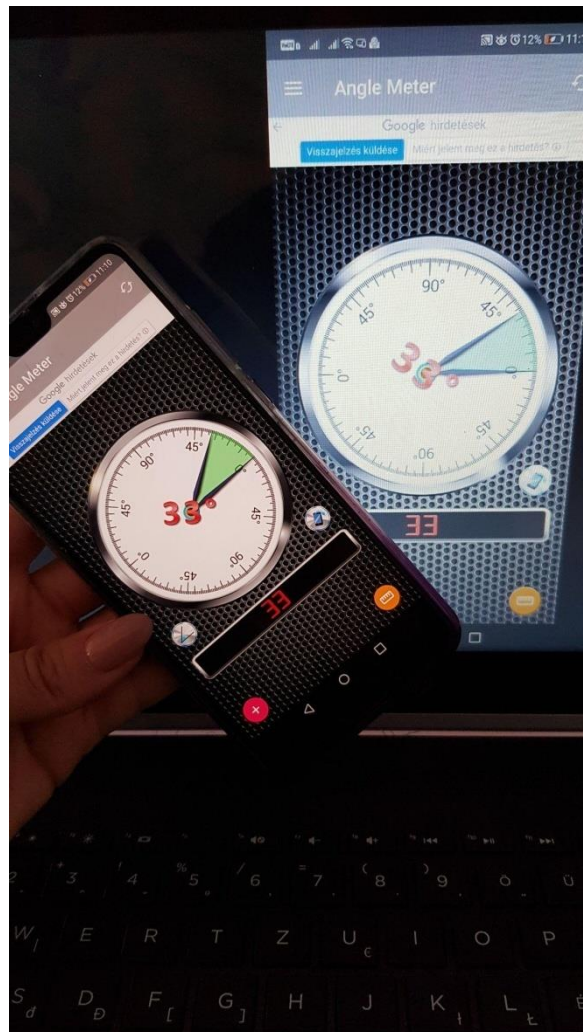
3.2.1. Vizsgálati személyek

A vizsgálatban 4 csoport vett részt, összesen 140 fő. A fiatal felnőttek csoportjában 50 fő (32 fő nő, 18 fő férfi, életkor: $25,6 \pm 3,1$ év), az idősebb felnőttek csoportjában 50 fő (37 nő, 13 fő férfi, életkor $74,8 \pm 9,1$ év), a fiatal felnőttek kontroll csoportjában 20 fő (12 nő és 8 férfi, életkor $26,25 \pm 3,6$ év), az idősebb felnőttek kontroll csoportjában szintén 20 fő (13 nő, 7 férfi, $70,15 \pm 5,2$ év), akut betegségben nem szenvedő, fizikailag aktív felnőtt vett részt. A fiatalok a vizsgálatvezető ismerősei és a Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem hallgatói, az idősebb csoportok tagjai a fiatalok szülei, nagyszülei voltak. A résztvevőket az eljárás kockázatairól szóban és írásban tájékoztattuk, és az adatfelvételt megelőzően megkaptuk hozzájárulásukat a vizsgálathoz és az eredmények tudományos célú felhasználásához. A vizsgálatot a Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem Kutatásetikai Bizottsága hagyta jóvá TE-KEB/18/2021 engedéllyel.

3.2.2. A vizsgálat lefolyása

Egy nulladik, vizsgálatot megelőző lépésként a vizsgálati csoport tagjainak meg kellett tanulnia beállítani a képernyőmegosztás („screenshot”) funkciót, amely során Windows 10 operációs rendszer esetén a következő beállítási lépéseket kellett követni: Értesítések ikon, majd Csatlakozás, majd Kivetítés erre a gépre. Ezek után az androidos telefonon (kizárólag androidos telefont használtunk) a képernyő felső alkalmazás sávjában a

MirrorShare/Screenshare/Smartview opciót kellett kiválasztani, utána a csatlakoztatni kívánt laptopot/számítógépet, és engedélyezni a csatlakozást. Az okostelefon rögzítése egy telefontartó pánt segítségével a résztvevők jobb combjának külső oldalán történt, a térd felett 5-10 cm-rel (3. ábra).



3. ábra. Az okostelefon képernyőjének kivetítése a laptop képernyőjére, miközben a goniométer alkalmazás bekapcsolt állapotban van (forrás: saját fénykép, Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2024b)

A vizsgálathoz két egyszerű tornagyakorlatot választottuk. Az első gyakorlat a guggolás volt, ami alapmozgásként jelenik meg a mozgásszervi rehabilitációs gyakorlatban. A gyakorlat kiinduló helyzete csípőszéles terpeszállás volt, nyújtott lábbal, mellső

középtartásban. Az idősebbek a gyakorlat közben egy előttük elhelyezett székbe kapaszkodhattak. Cél értéként a comb 65 fokos elfordulását határoztuk meg. A comb kiinduló helyzetét tekintettük 0 foknak (4., 5. ábra).



4. ábra. A guggolás gyakorlat bemutatása a végtagra rögzített okostelefonnal
(forrás: Zsarnóczky-Dulházi és munkatársai 2024b cikk, saját fénykép)



5. ábra. A guggolás gyakorlat bemutatása a végtagra rögzített okostelefonnal és székbe kapaszkodva a sérülésveszély csökkentése érdekében
(forrás: Zsarnóczky-Dulházi és munkatársai 2024b cikk, saját fénykép)

Második gyakorlatként egy alapvető egyensúly gyakorlat került kiválasztásra: a jobb térd felemelése álló testhelyzetben. A gyakorlat kiinduló helyzete csípőszéles terpeszállás volt csípőre tartással. Az idősebbek a gyakorlat közben biztonsági szempontból egy, a bal oldalukon elhelyezett székre kapaszkodhattak. Cél értéként a comb 75 fokos elfordulását határoztuk meg. A comb kiinduló helyzetét tekintettük 0 foknak (6., 7. ábra). gyakorlatvégzés alatt. A megfelelő láthatóság érdekében a laptop szemmagasságban volt elhelyezve.



6. ábra. A térdelés gyakorlat bemutatása a végtagra rögzített okostelefonnal (forrás: Zsarnóczky-Dulházi és munkatársai 2024b cikk, saját fénykép)



7. ábra. A térdelés gyakorlat bemutatása a végtagra rögzített okostelefonnal és székbe kapaszkodva a sérülésveszély csökkentése érdekében (forrás: Zsarnóczky-Dulházi és munkatársai 2024b cikk, saját fénykép)

A háromhetes kísérlet első lépéseként a két gyakorlat betanítása történt, amit a résztvevők 15-15 alkalommal végeztek az előre meghatározott pozícióig, mialatt a laptopon számban kifejezve figyelhették a szögelfordulás mértékét. A cél a tornagyakorlatok végpontjának izombeli memorizálása volt. A gyakorlatot betanultnak tekintettük, amennyiben az általunk meghatározott pozíciótól való eltérés 5-ször egymás után maximum $\pm 2^\circ$ -kal tért el.

A kutatás első hetében megkértük a résztvevőket, hogy a begyakorolt mozdulatokat napi 15-15 ismétléssel, külső segítség nélkül végezzék otthonukban. Az egy hét leteltét követően kontroll méréseket végeztünk, ahol a résztvevők még mindig nem láthatták a gyakorlatok alatt elért comb szöghelyzeteket (1.mérés).

A kontrollcsoportok tagjai további 2 hétig az első héthez hasonlóan gyakorlatoztak, heti kontrollmérésekkel. Ezalatt a vizsgálati csoportokban megkezdődött az okoseszközökkel történő önellenőrzés a guggolás és térdemelés nyomon követéséhez. A második kontroll mérés a vizsgálati és a kontroll csoport számára is a vizsgálati protokoll megkezdésétől számított második hetének végén történt (2. mérés).

A harmadik kontroll mérésre további egy hét leteltét követően került sor (3.mérés). A három hetet követően egy rövid, 5 fokozatú skálát tartalmazó kérdőív kitöltését is kértük. A kérdőív az önellenőrzési technológia használatának értékelésére irányult, ahol az 1 a könnyű, az 5 a nagyon nehéz használhatóságot jelölte.

3.2.3. Vizsgálati eszközök

Vizsgálatunkhoz használt eszközök okostelefon és laptop volt. Az alkalmazás álló helyzetben 0 fokos kezdeti szöggel mérte a gyakorlatok során a combban történő elmozdulás mértékét fokban kifejezve. A gyakorlatok során létrejött szögelfordulást az okostelefonra letöltött goniométer applikáció laptopra kivetítésével lehetett nyomon követni. Az Angle Meter nevű goniométer alkalmazást használtuk, ami a vizsgálat időszakában még ingyenesen letölthető volt az okostelefonos alkalmazás boltokból. A „screenshare” képernyőmegosztás funkcióval vezeték nélkül kapcsoltuk össze az okostelefont és a laptopot, ami által az okostelefon láthatóvá és kezelhetővé vált a laptop

monitorján. Minden, a vizsgálatban használt okostelefon mérési adatait előzetesen összehasonlítottuk a referenciaként használt goniométer (Wearnotch System, Notch Interfaces Inc. 2018) adataival. 1 foknál nagyobb eltérés esetén az adott okostelefonnal nem folytattuk a vizsgálatot.

3.2.4. Statisztikai számítások

Minden résztvevőnek összesen három mérése volt a kutatás alatt, amiket a statisztikai elemzésekhez használtunk fel. Mivel a cél egy előre meghatározott üzleti szöghelyzet elérése volt, a gyakorlatok során mért legmélyebb pont comb szöghelyzetét hasonlítottuk az elérni kívánthoz. Ehhez kiszámoltuk a résztvevők mért comb szög eltérésének abszolút értékét az előre meghatározott célszögtől. Minden adathalmazon végeztünk normalitás vizsgálatot (Shapiro Wilk's W teszt). A szükséges statisztikai p értékek eléréséhez, az elsőfajú hiba bekövetkezésének minimalizálása érdekében az ismételt mérések figyelembevételével a további statisztikai számításokhoz vegyes elrendezésű (Mixed model) faktoriális ANOVA-t, majd a további összehasonlításhoz Tukey HSD Post-hoc tesztet használtunk. A tanulmány eredményeinek további alátámasztására kiszámítottuk és figyelembe vettük a hatásnagyság – Effect size (ES-Cohen's d) értékeit, valamint kiszámítottuk a statisztikai erőt (Statistical Power). Az effektusméret-értékek és teljesítményértékek minden olyan összehasonlításnál, ahol szignifikáns különbséget találtunk, nagyobbak voltak, mint 0,8. A kérdőíves értékek kontingencia táblázatban történő nem-paraméteres összehasonlítására Khi-négyzet módszert alkalmaztunk. A számításokat Statistica 12 szoftverrel (TIBCO Software Inc. USA) végeztük, és a szignifikáns különbséget $p < 0,05$ érték esetén határoztunk meg.

3.3. Harmadik vizsgálat - Mesterséges intelligencia bevonása a mozgás nyomon követésére

A megjelent tudományos cikk: Zsarnoczky-Dulhazi és mtsai 2024a, AI based motion analysis software for sport and physical therapy assessment

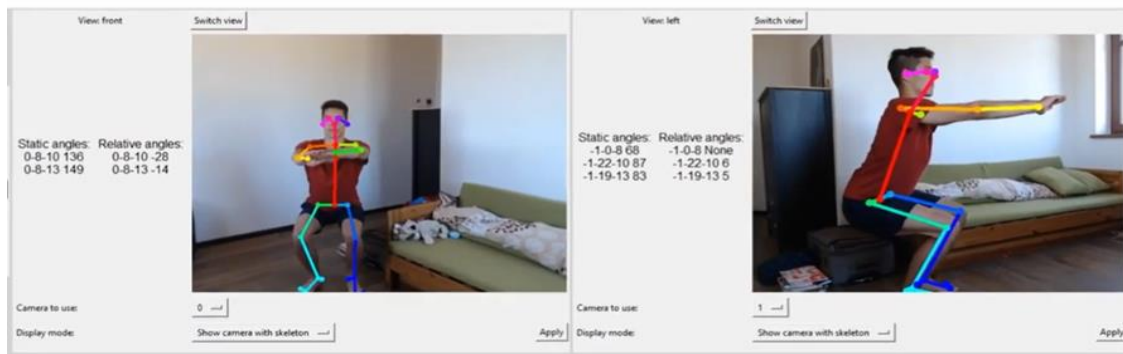
3.3.1. A vizsgálat ismertetése és módszerek

A bevezetőben leírt harmadik kérdéskörrel, hogy a mozgáselemzés milyen szoftverekkel és eszközökkel valósítható meg a mozgásszervi rehabilitáció segítése céljából, két külön vizsgálatban foglalkoztunk. A fent említett okostelefonos vizsgálat mellett egy szoftveren is dolgoztunk, melyhez egy, már meglévő, mesterséges intelligenciát felhasználó szoftvert, az OpenPose emberi testhelyzet felismerő szoftvert vettük alapul.

Kutatócsoportunk – amely egy szoftverfejlesztőből, biomechanikai szakemberből, humánkineziológusokból és egy házi orvosból állt – kifejlesztett egy alkalmazásréteget. A programozást a szoftverfejlesztő végezte, míg a többiek a rehabilitációs és orvosi szakértelmükkel és az emberi test mozgásáról szerzett tudásukkal járultak hozzá a fejlesztéshez. A rendszer az OpenPose kimeneti koordinátáit felhasználva képes tetszőleges testrészek szögeinek idősorát kinyerni, akár két kamera egyidejű használatával is (8. ábra).

Hipotézisünk szerint a szoftver segítségével kinyert kvantitatív mozgáselemzési adatok szoros egyezést mutatnak a validálás során referenciaként alkalmazott Kinovea rendszer mérési eredményeivel.

A tanulmányt a Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem Etikai Bizottsága hagyta jóvá a TE-KEB/07/2023 iktatószámom.



8. ábra. A OpenPose új alkalmazás rétegével elérhetővé vált két kamera által szolgáltatott adatok egyidejű feldolgozása

A rendszer ugyan csak 2D vizuális képeket használ, de a páciens mozgásának megfigyelése a frontális és a szagittális síkra egymástól függetlenül is megoldhatóvá válik (forrás: Zsarnoczky-Dulhazi és mtsai 2024a, saját kép)

3.3.2. A vizsgálat lefolyása

Három szerzőtársunk 10-10-10, összesen 30 guggolást hajtott végre, melyet kamerával rögzítettünk. Ezt követően minden guggolásnál fokban kifejezve meghatároztuk a comb lábszárral bezárt szögének elmozdulását az álló testhelyezethez képest (180 fok), mind a Kinovea, mind az OpenPose szoftver segítségével.

3.3.3. Vizsgálati eszközök

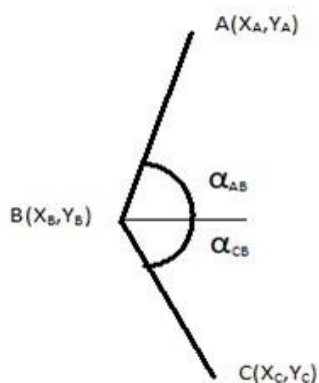
Az általunk fejlesztett OpenPose testhelyzet felismerő alkalmazás rétegének validálására az emberi mozgáselemzésre széles körben használt Kinovea szoftvert használtuk. Az OpenPose forráskódjából (github.com/openpose) Python programozási nyelven készített algoritmusunkat egy saját szerveren futtattuk annak vizsgálatára, hogy a vizsgálati személy milyen módon végzi el az adott gyakorlatot. Bemenetként a mozgásról készített színes kép vagy videó, kimenetként az emberi test kulcspontjai: orr, nyak; jobb oldal: szem, fül, váll, könyök, csukló, csípő, térd, boka, nagylábujj, sarok, kislábujj; a két csípőcsontot összekötő vonal mértani közepe; bal oldal: szem, fül, váll, könyök, csukló, csípő, térd, boka, nagylábujj, sarok, kislábujj látható a bemeneti képen. Az OpenPose szoftver képes önmaga felismerni ezeknek a kulcspontoknak a helyét a képen, nincs

szükség manuális kulcspont bejelölésre. Az új egyedi alkalmazás a kimeneti koordináták segítségével ki tudja bontani tetszőleges testrészek szögeinek idősorát. A szerver alkalmazásprogramozási felületén (API-n) keresztül lehetőség van a kulcspontok észlelt koordinátáinak lekérdezésére oly módon, hogy szoftverünk valós időben elküldi a kameraképeket az OpenPose szervernek, majd a visszakapott adatok alapján kiszámítja a kiválasztott ízületi szögeket.

3.3.4. Statisztikai számítások

Az új alkalmazás réteg segítségével numerikusan megjeleníthető a testrészek által bezárt ízületi szögek aktuális pozíciója. Az ízületi szögek numerikus adatainak kinyeréséhez alapvető trigonometrikus számításokat alkalmaztunk. Mivel az OpenPose meghatározta a relatív x_i, y_i koordinátákat a szükséges A, B és C csatlakozási pontokhoz, kiszámítottuk a $\tan \alpha_{AB} = (Y_A - Y_B) / (X_A - X_B)$ és $\tan \alpha_{CB} = (Y_C - Y_B) / (X_C - X_B)$ minden egyes képkockához (9. ábra). Ezt követően kiszámítottuk az $\alpha_{AB} + \alpha_{CB}$ -t, és minden képkockánál kvantitatívan megjelenítettük a képernyőn a térd ízületi szögeként.

Statisztikai számításainkhoz párosított t-próbát használtunk, mely során az OpenPose és a Kinovea által mért ízületi szöghelyzeteket hasonlítottuk össze. Szignifikáns különbséget $p < 0,05$ érték esetén határoztunk meg.



9. ábra. A térdízület szögének ábrázolása OpenPose relatív x_i, y_i koordinátákkal az A, B, C kulcspontokhoz, mint csípő, térd, bokaízület anatómiai helye (forrás: saját szerkesztés, Zsarnóczky-Dulházi és munkatársai 2024a cikk)

4. EREDMÉNYEK

4.1. Az első vizsgálat eredményei

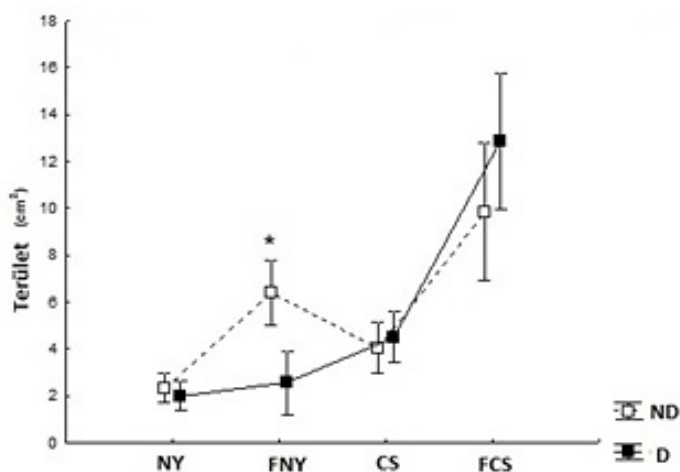
A vizsgált csoportok átlagéletkora ($p=0,710$), testmagassága ($p=0,087$), testtömeg indexe ($p=0,087$) között nem volt szignifikáns különbség. A vizsgált csoportok testtömegének tekintetében szignifikáns különbség volt megfigyelhető ($p=0,014$).

4.1.1. Terület (Area)

A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Terület eredményeinek statisztikai összehasonlítása során szignifikáns különbséget találtunk:

FNY, ahol a ND csoport NYKP-jának a mozgása volt nagyobb kiterjedésű ($P = 0.030$, $ES = 1.270$).

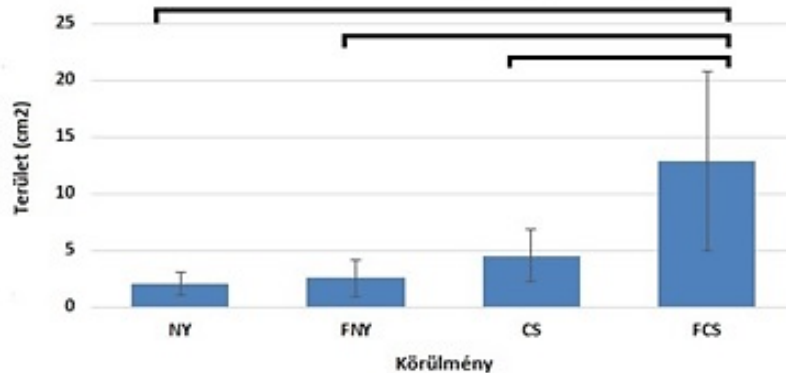
Nem találtunk szignifikáns különbséget NY ($P=1,0$), CS ($P=1,0$), FCS ($P=0,204$) esetében (10. ábra).



10. ábra. A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Terület eredményeinek szemléltető ábrája

A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Terület eredményeinek statisztikai összehasonlítása során szignifikáns különbséget találtunk a vestibuláris rendszer megzavarása után, azaz forgatás után nyitott szemmel (FNY). Nem találtunk szignifikáns különbséget nyitott szemmel (NY), csukott szemmel (CS) és forgatás után csukott szemmel (FCS). A szignifikáns különbséget a grafikonon a * jelzi.

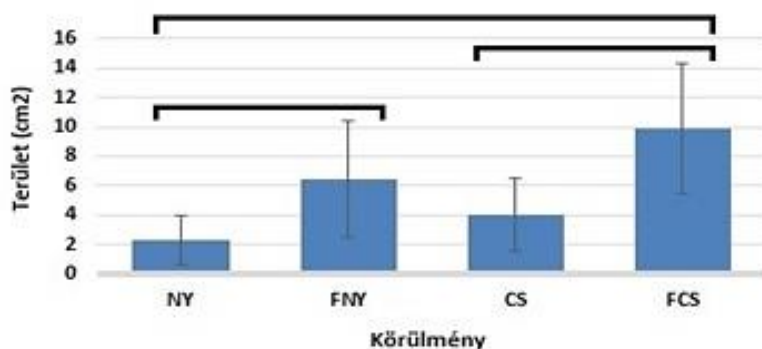
A D csoportban az FCS 541%-kal nagyobb értéket adott, mint a NY ($P < 0.000$, $ES = 1.915$) és 404%-kal nagyobb értéket FNY ($P < 0.000$, $ES = 1.797$) és 185%-kal nagyobb értéket CS esetén ($P < 0.000$, $ES = 1.429$). FNY és NY között nem találtunk szignifikáns különbséget ($P=1,0$) (11. ábra).



11. ábra. A Terület értékek a Domináns (D) csoporton belül

A Terület értékek között szignifikáns különbséget találtunk az alábbi mérési eredményekben: nyitott szem (NY) és forgatás után csukott szem (FCS); forgatás után nyitott szem (FNY) és forgatás után csukott szem (FCS); csukott szem (CS) és forgatás után csukott szem (FCS) esetében a Domináns (D) csoporton belül. A szignifikáns különbségeket a kapcsos zárójelek jelzik. A nyitott szem a vizuális inger meglétét jelöli, a csukott szem a vizuális inger kiiktatását, a forgatás a vestibuláris rendszer megzavarását jelenti.

Az ND csoportban az FCS 324%-kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P < 0.000$, $ES = 2.261$) és 144%-kal nagyobb értéket, mint CS esetén ($P < 0.000$, $ES = 1.626$). FCS és FNY között nem találtunk szignifikáns különbséget. FNY 176%-kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P = 0.010$, $ES = 0.714$) (12. ábra).



12. ábra. A Terület értékek a Nem-domináns (ND) csoporton belül

A Terület értékek között szignifikáns különbséget találtunk az alábbi mérési eredményekben: nyitott szem (NY) és forgatás után nyitott szem (FNY); nyitott szem (NY) és forgatás után csukott szem (FCS); csukott szem (CS) és forgatás után csukott szem (FCS) esetében a Nem Domináns (ND) csoporton belül. A szignifikáns különbségeket a kapcsos zárójelek jelzik. A nyitott szem a vizuális inger meglétét jelöli, a csukott szem a vizuális inger kiiktatását, a forgatás a vestibuláris rendszer megzavarását jelenti.

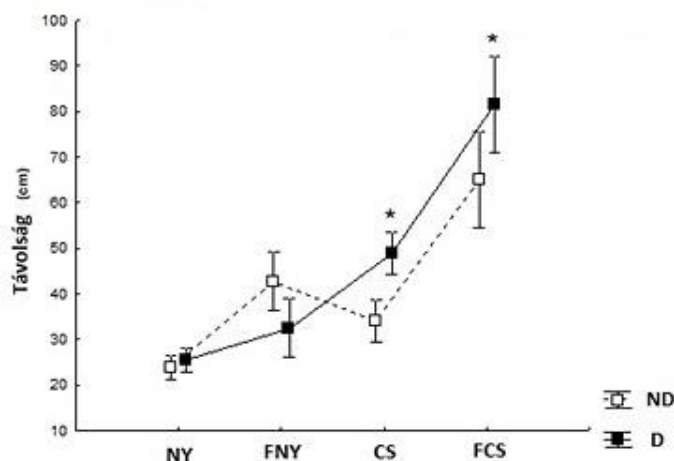
4.1.2. Távolság (Distance)

A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Távolság eredményeinek statisztikai összehasonlítása során szignifikáns különbséget találtunk:

CS, ahol a D csoport NYKP-jának a mozgása volt nagyobb kiterjedésű ($P = 0.037$, $ES = 1.487$).

FCS, ahol a D csoport NYKP-jának a mozgása volt nagyobb kiterjedésű ($P = 0.013$, $ES = 0.714$).

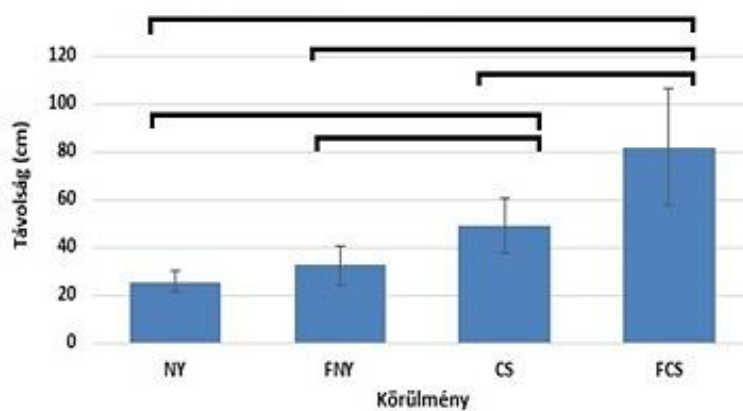
Nem találtunk szignifikáns különbséget NY ($P=1,0$) és FNY ($P=0,376$) esetében (13. ábra).



13. ábra. A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Távolság eredményeinek szemléltető ábrája

A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Távolság eredményeinek statisztikai összehasonlítása során szignifikáns különbséget találtunk a vizuális inger kiiktatásakor csukott szemmel (CS) és a vizuális inger kiiktatása és a vestibuláris rendszer megzavarása, azaz forgatás után csukott szemmel (FCS). A szignifikáns különbséget a grafikonon a * jelzi.

A D csoportban a CS 92%-kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P < 0.000$, ES = 2.761) és 51%-kal nagyobb értéket, mint FNY ($P = 0.001$, ES = 1.679). FCS 219%-kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P < 0.000$, ES = 3.202), és 151%-kal nagyobb értéket adott, mint FNY ($P < 0.000$, ES = 2.700), és 67%-kal nagyobb értéket adott, mint CS ($P < 0.000$, ES = 1.667). NY és FNY között nem találtunk szignifikáns különbséget ($P=0,641$) (14.ábra).

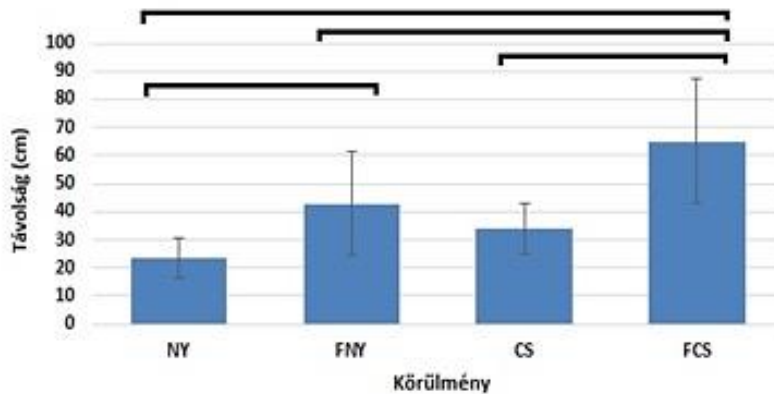


14. ábra. A Távolság értékek a Domináns (D) csoporton belül

A Távolság értékek között szignifikáns különbséget találtunk az alábbi mérési eredményekben: nyitott szem (NY) és csukott szem (CS); nyitott szem (NY) és forgatás után csukott szem (FCS); forgatás után nyitott szem (FNY) és csukott szem (CS); forgatás után nyitott szem (FNY) és forgatás után csukott szem (FCS); csukott szem (CS) és forgatás után csukott szem (FCS) esetében a Domináns (D) csoporton belül. A szignifikáns különbségeket a kapcsos zárójelek jelzik. A nyitott szem a vizuális inger meglétét jelöli, a csukott szem a vizuális inger kiiktatását, a forgatás a vestibuláris rendszer megzavarását jelenti.

Az ND csoportban a FNY 80%-kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P < 0.000$, $ES = 1.352$). FCS 174%-kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P < 0.000$, $ES = 2.512$), és 52%-kal nagyobb értéket adott, mint FNY ($P < 0.000$, $ES = 1.096$), és 91% -kal nagyobb értéket adott, mint CS ($P < 0.000$, $ES = 1.844$).

NY és CS között nem találtunk szignifikáns különbséget ($P=0,163$) (15.ábra).



15. ábra. A Távolság értékek a Nem-domináns (ND) csoporton belül

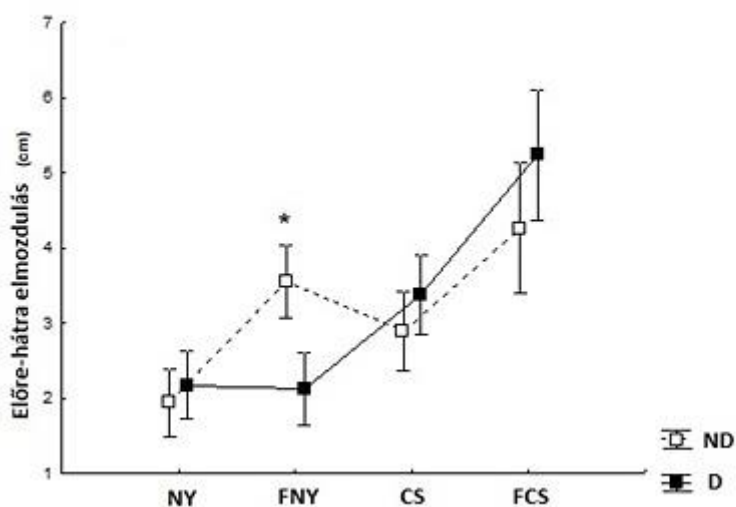
A Távolság értékek között szignifikáns különbséget találtunk az alábbi mérési eredményekben: nyitott szem (NY) és forgatás után nyitott szem (FNY); nyitott szem (NY) és forgatás után csukott szem (FCS); forgatás után nyitott szem (FNY) és forgatás után csukott szem (FCS); csukott szem (CS) és forgatás után csukott szem (FCS) esetében a Nem Domináns (ND) csoporton belül. A szignifikáns különbségeket a kapcsos zárójelek jelzik. A nyitott szem a vizuális inger meglétét jelöli, a csukott szem a vizuális inger kiiktatását, a forgatás a vestibuláris rendszer megzavarását jelenti.

4.1.3. Előre-hátra (Anterior-posterior)

A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Előre-hátra eredményeinek statisztikai összehasonlítása során szignifikáns különbséget találtunk:

FNY, ahol az ND csoport NYKP-jának a mozgása volt nagyobb kiterjedésű ($P = 0.016$, $ES = 1.349$).

Nem találtunk szignifikáns különbséget NY ($P=0,999$), CS ($P=0,948$), FCS ($P=0,297$) (16. ábra).

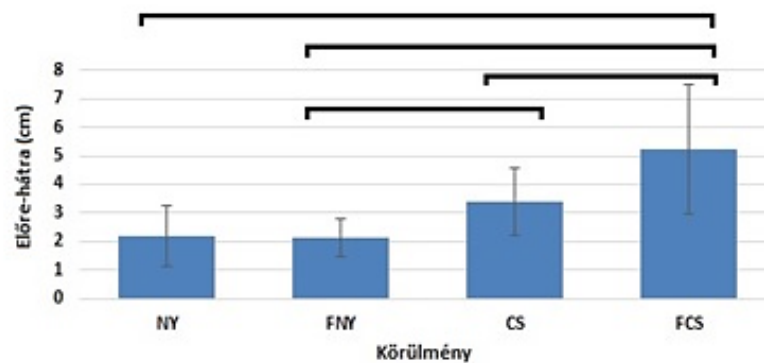


16. ábra. A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Előre- hátra elmozdulás eredményeinek szemléltető ábrája

A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok eredményeinek statisztikai összehasonlítása során szignifikáns különbséget találtunk az Előre- hátra elmozdulás értékekben a vestibuláris rendszer megzavarásakor nyitott szemmel (FNY). A szignifikáns különbséget a grafikonon a * jelzi.

A D csoportban a CS 59% -kal nagyobb értéket adott, mint FNY ($P = 0.041$, $ES = 1.315$). FCS 141% -kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P < 0.000$, $ES = 1.730$) és 147% -kal nagyobb értéket adott, mint FNY ($P < 0.000$, $ES = 1.866$) és 55% -kal nagyobb értéket adott, mint CS ($P < 0.000$, $ES = 1.031$).

Nem találtunk szignifikáns különbséget NY és FNY között ($P=1,0$) sem NY és CS között ($P=0,062$) (17.ábra).

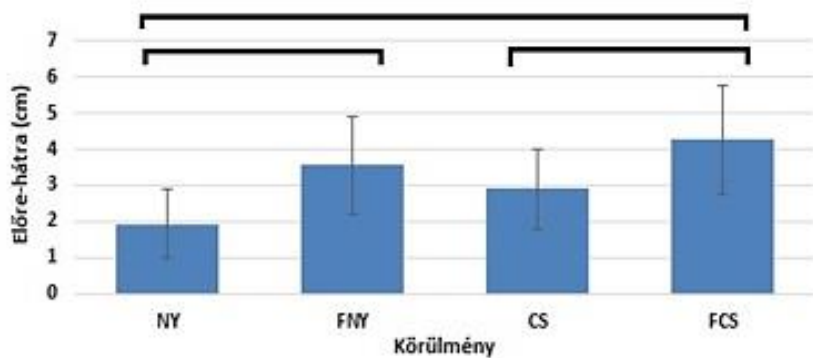


17. ábra. Az Előre-hátra értékek a Domináns (D) csoporton belül

Az Előre-hátra értékek között szignifikáns különbséget találtunk az alábbi mérési eredményekben: nyitott szem (NY) és forgatás után csukott szem (FCS); forgatás után nyitott szem (FNY) és forgatás után csukott szem (FCS); forgatás után nyitott szem (FNY) és csukott szem; csukott szem (CS) és forgatás után csukott szem (FCS) esetében a Domináns (D) csoporton belül. A szignifikáns különbségeket a kapcsos zárójelek jelzik. A nyitott szem a vizuális inger meglétét jelöli, a csukott szem a vizuális inger kiiktatását, a forgatás a vestibuláris rendszer megzavarását jelenti.

Az ND csoportban FNY 83%-kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P = 0.002$, $ES = 1.388$). FCS 120% -kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P < 0.000$, $ES = 1.857$) és 47% -kal nagyobb értéket adott, mint CS ($P = 0.018$, $ES = 1.034$).

Nem találtunk szignifikáns különbséget NY és CS között ($P=0,253$), FNY és CS között ($P=0,719$). FNY és FCS között ($P=0,631$) (18.ábra).



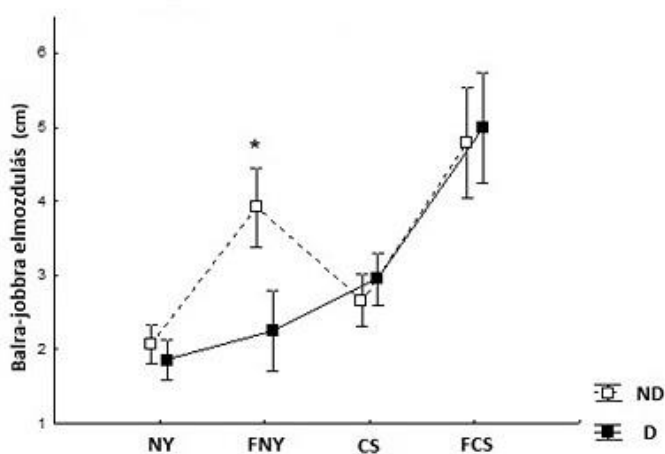
18. ábra. Az Előre- hátra értékek a Nem-domináns (ND) csoporton belül
Az Előre-hátra értékek között szignifikáns különbséget találtunk az alábbi mérési eredményekben: nyitott szem (NY) és forgatás után nyitott szem (FNY); nyitott szem (NY) és forgatás után csukott szem (FCS); csukott szem (CS) és forgatás után csukott szem (FCS) esetében a Nem Domináns (ND) csoporton belül. A szignifikáns különbségeket a kapcsos zárójelek jelzik. A nyitott szem a vizuális inger meglétét jelöli, a csukott szem a vizuális inger kiiktatását, a forgatás a vestibuláris rendszer megzavarását jelenti.

4.1.4. Balra-jobbra (Left-right)

A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Balra-jobbra eredményeinek statisztikai összehasonlítása során szignifikáns különbséget találtunk:

FNY, ahol az ND csoport NYKP-jának a mozgása volt nagyobb kiterjedésű ($P < 0.000$, $ES = 1.400$).

Nem találtunk szignifikáns különbséget NY ($P=0,999$), CS ($P=0,992$), FCS ($P=1,0$) (19. ábra).

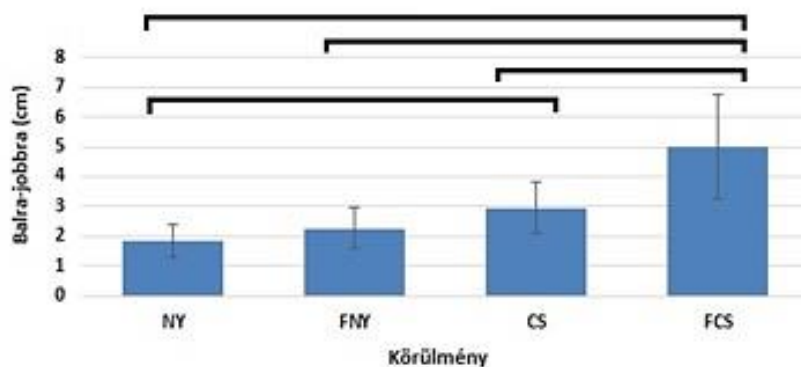


19. ábra. A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok Balra-jobbra eredményeinek szemléltető ábrája

A Domináns (D) és Nem Domináns (ND) csoportok eredményeinek statisztikai összehasonlítása során a Balra-jobbra elmozdulás értékekben szignifikáns különbséget találtunk a vestibuláris rendszer megzavarásakor nyitott szemmel (FNY). A szignifikáns különbséget a grafikonon a * jelzi.

A D csoportban a CS 59% -kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P = 0.010$, $ES = 1.500$). FCS 169% -kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P = 0.000$, $ES = 2.400$) és 122% -kal nagyobb értéket adott, mint FNY ($P < 0.000$, $ES = 2.045$), és 69% -kal nagyobb értéket adott, mint CS ($P < 0.000$, $ES = 1.468$).

Nem találtunk szignifikáns különbséget sem NY és FNY között ($P=0,896$), sem FNY és CS között ($P=0,299$) (20. ábra).

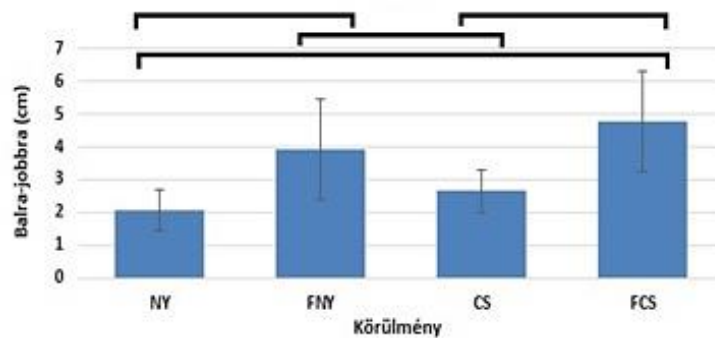


20. ábra. A Balra-jobbra értékek a Domináns (D) csoporton belül

A Balra-jobbra értékek között szignifikáns különbséget találtunk az alábbi mérési eredményekben: nyitott szem (NY) és forgatás után csukott szem (FCS); nyitott szem (NY) és csukott szem (CS); forgatás után nyitott szem (FNY) és forgatás után csukott szem (FCS); csukott szem (CS) és forgatás után csukott szem (FCS) esetében a Domináns (D) csoporton belül. A szignifikáns különbségeket a kapcsos zárójelek jelzik. A nyitott szem a vizuális inger meglétét jelöli, a csukott szem a vizuális inger kiiktatását, a forgatás a vestibuláris rendszer megzavarását jelenti.

Az ND csoportban FNY 90% -kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P < 0.000$, $ES = 1.590$) és 47% -kal nagyobb értéket adott, mint CS ($P = 0.002$, $ES = 1.068$). FCS 132% -kal nagyobb értéket adott, mint NY ($P < 0.000$, $ES = 2.329$), és 80% -kal nagyobb értéket adott, mint CS ($P < 0.000$, $ES = 1.803$).

Nem találtunk szignifikáns különbséget sem NY és CS között ($P=0,505$), sem FNY és FCS között ($P=0,087$) (21.ábra).



21. ábra. A Balra-jobbra értékek a Nem-domináns (ND) csoporton belül
A Balra-jobbra értékek között szignifikáns különbséget találtunk az alábbi mérési eredményekben: nyitott szem (NY) és forgatás után nyitott szem (FNY); nyitott szem (NY) és forgatás után csukott szem (FCS); forgatás után nyitott szem (FNY) és csukott szem (CS); csukott szem (CS) és forgatás után csukott szem (FCS) esetében a Nem Domináns (ND) csoporton belül. A szignifikáns különbségeket a kapcsos zárójelek jelzik. A nyitott szem a vizuális inger meglétét jelöli, a csukott szem a vizuális inger kiiktatását, a forgatás a vesztibuláris rendszer megzavarását jelenti.

4.2. A második vizsgálat eredményei

4.2.1. Guggolás gyakorlat

Ennél a gyakorlatnál a 0 fokos kiinduló helyzetből a 65 fokos combhajlítás elérése volt a cél.

Az első mérésre minden résztvevő esetében (N=140) egy hétig napi szinten végzett, számszerű vizuális visszacsatolás (önellenőrzés) nélküli gyakorlatozást követően került sor. Ezt követően a vizsgálati csoport (N=100) további 2 hétig önellenőrzéssel, a kontroll csoport (N=40) önellenőrzés nélkül végezte a gyakorlatokat (második és harmadik mérés).

A fiatalok és idősebb felnőttek csoportjainak összehasonlítása

A fiatalok és idősebb csoportok adatainak összehasonlításakor az első hét eredményei ($P < 0,05$; $ES = 1,52$), a második hét eredményei ($P < 0,05$; $ES = 0,97$) és a harmadik hét eredményei ($P < 0,05$; $ES = 0,91$) között is találtunk szignifikáns különbséget. Minden összehasonlításnál a fiatal csoport eredményei kerültek közelebb a megadott célszöghöz. A csoportok közötti kölcsönhatást-interakciót az F értékek kiszámításával is vizsgáltuk. A guggolásnál az eredmények szignifikáns F interakciót jeleztek ($F=30,9$; $P < 0,05$), ezért megállapítjuk, hogy a guggolás gyakorlat esetén a fiatal és az idősebbek eredményeinek tendenciája eltérő volt a három mérés során.

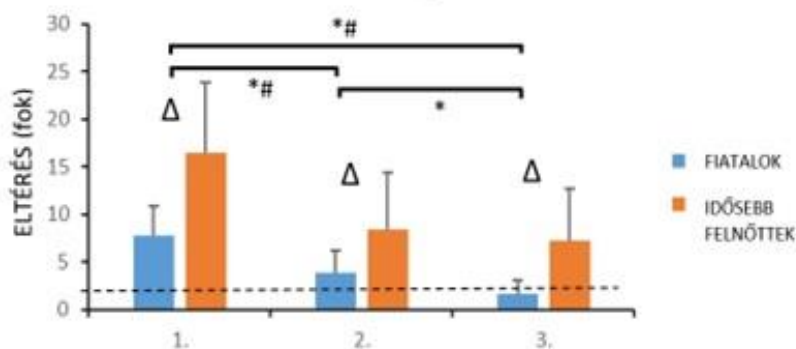
Összehasonlítva az alul- vagy túlteljesítés arányát a célszöghöz viszonyítva, a guggolás gyakorlat esetében a fiatalok 38%-a és az idősebb felnőttek 22%-a nagyobb ízületi szöghelyzetet mutatott be a mérések során.

A fiatalok vizsgálati csoportjának első, második és harmadik mérés eredményeinek összehasonlítása

A fiatalok 1. mérés eltérési eredményei a fiatal csoportnál szignifikánsan nagyobbak voltak, mint a 2. mérés eredményei (103%, $p < 0,05$, $ES = 1,67$), és szignifikánsan nagyobbak voltak a 3. mérés eredményeinél (449%, $p < 0,05$, $ES = 2,22$). A fiatal csoport 2. mérési eredménye 122%-kal volt nagyobb, mint a 3. mérés adatai ($p < 0,05$, $ES = 1,1$) (22. ábra, 1. táblázat).

Az idősebbek vizsgálati csoportjának első, második és harmadik mérés eredményeinek összehasonlítása

Az idősebb csoportban az 1. mérés eltérési adatai szignifikánsan nagyobbak voltak, mint a 2. mérés eredményei (96%, $p < 0,05$, $ES = 2,4$), és szignifikánsan nagyobbak voltak a 3. mérés eredményeinél (124%, $p < 0,05$, $ES = 2,31$). Az idősebb felnőttek csoportjában a különbség nem volt szignifikáns a 2. és a 3. mérés között ($p = 0,07$) (22. ábra, 1. táblázat).



22. ábra. A vizsgálati csoportok guggolás gyakorlat mérési adatainak átlagos eltérése a 65 fokos célhelyzettől

A guggolás gyakorlat kontroll mérési adatainak abszolút eltérése a 65 fokos célszög helyzethez képest (átlag és szórás). A fiatal felnőttek kékkel, míg az idősebb felnőttek narancssárgával vannak jelölve. A sorszámok a kontrollmérések hetét jelölik. Az 1. egy hét elteltével önellenőrzés nélküli, 2. az első önellenőrzési hét után, 3. a második önellenőrzési hét után történt kontroll adatfelvétel eredményeit mutatja be. Szignifikáns különbséget a fiatalok esetében *, míg az idősebb felnőttek esetében # jelöli. A Δ szignifikáns különbséget jelez egy adott mérésben a fiatal és idősebb felnőtt csoportok között ($p < 0,05$). A szaggatott vonal jelzi a gyakorlatok kezdeti betanításánál alkalmazott tűréshatárt (2 fok).

1. táblázat. A guggolás mérési adatainak abszolút eltérése a 65 fokos célszög helyzethez képest (átlag \pm szórás).

A sorszámok a kontroll mérések hetét jelölik. Az 1. egy hét elteltével önellenőrzés nélküli, 2. az első önellenőrzési hét után, 3. a második önellenőrzési hét után történt adatfelvétel eredményeit mutatja be a vizsgálati csoportokban.

	1. mérés	2. mérés	3. mérés
FIATAL VIZSGÁLATI	7,75 ± 3,11 ^b	3,81 ± 2,43 ^{a,b,c}	1,71 ± 1,36 ^{a,b}
IDŐSEBB VIZSGÁLATI	16,48 ± 7,46 ^b	8,36 ± 6,08 ^{a,b,c}	7,30 ± 5,36 ^b
FIATAL KONTROLL	8,20 ± 4,90	7,65 ± 4,05 ^c	8,30 ± 3,61 ^c
IDŐSEBB KONTROLL	13,45 ± 5,10	13,65 ± 5,91 ^c	17,05 ± 5,73 ^c

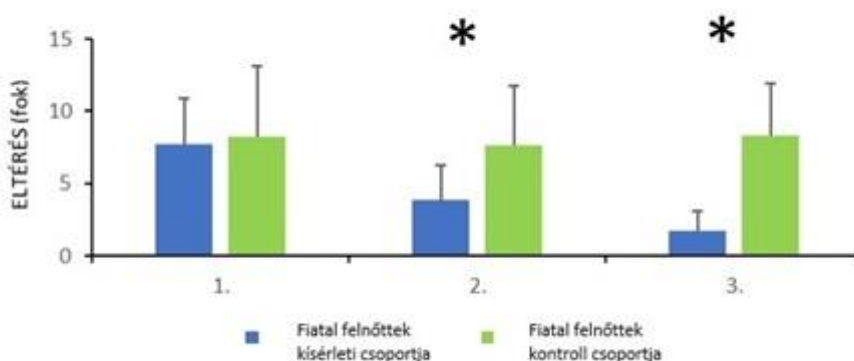
a: szign. különbség az előző méréshez képest ugyanazon csoportban

b: szign. különbség a fiatal és az idősebb vizsgálati csoport között az adott mérésnél

c: szign. különbség a vizsgálati és a kontroll csoport között

A fiatalok vizsgálati és kontroll csoportjának összehasonlítása

A fiatal felnőttek adatait összehasonlítva nem volt különbség a vizsgálati és a kontrollcsoport 1. mérései között, de a 2. (100,4%, $p < 0,05$, ES = 1,2) és a 3. mérés (388%, $p < 0,05$, ES = 2,93) között szignifikáns különbséget találtunk. A kontrollcsoport szöghelyzetértékeinek eltérése az elérendő célértékhez képest szignifikánsan nagyobb volt, mint a vizsgálati csoportok eredményei. A vizsgálati és a kontrollcsoportok közötti kölcsönhatás ($F = 42,72$, $p < 0,05$) szignifikáns F-interakciót jelez, vagyis eltérő tendenciát kell feltételeznünk a vizsgálati és a kontrollcsoport között (23. ábra).

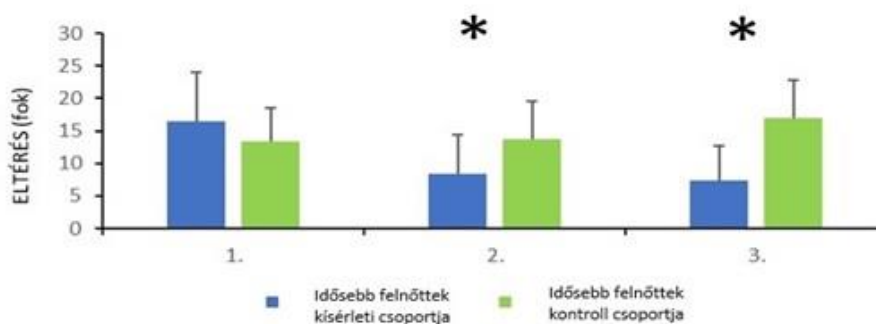


23. ábra. A fiatal felnőttek guggolás gyakorlatának kísérleti és kontroll csoportjának összehasonlítása

A sorszámok a kontrollmérések hetét jelölik. Az 1. mérés egy hét önellenőrzés nélkül történt a csoportokban, a 2. és 3. mérés önellenőrzéssel történő gyakorlatozás után történt a kísérleti csoportban. A szignifikáns különbségeket ($p < 0,05$) *jelöli

Az idősebbek vizsgálati és kontroll csoportjának összehasonlítása

Az idősebb felnőttek eredményeit összehasonlítva nem volt különbség a vizsgálati és a kontrollcsoport 1. mérései között, de a 2. (63,8%, $p < 0,05$, $ES = 0,85$) és a 3. mérés (139,7%, $p < 0,05$, $ES = 1,76$) között szignifikáns különbséget találtunk. A kontrollcsoport szöghelyzetértékeinek eltérése az elérendő célértékhez képest szignifikánsan nagyobb volt, mint a vizsgálati csoportok eredményei. A vizsgálati és a kontrollcsoportok közötti kölcsönhatás ($F = 103,3$, $p < 0,05$) szignifikáns F-interakciót jelez (24.ábra).



24. ábra. Az idősebb felnőttek guggolás gyakorlatának kísérleti és kontroll csoportjának összehasonlítása

A sorszámok a kontrollmérések hetét jelölik. Az 1. mérés egy hét önellenőrzés nélkül történt a csoportokban, a 2. és 3. mérés önellenőrzéssel történő gyakorlatozás után történt a kísérleti csoportban. A szignifikáns különbségeket ($p < 0,05$) * jelöli.

4.2.2. Térdemelés gyakorlat

Ennél a gyakorlatnál a 0 fokos kiinduló helyzetből a 75 fokos combhajlítás elérése volt a cél.

Az első mérés az első hét után történt, amikor is számszerű vizuális visszacsatolás (önellenőrzés) nélkül gyakorlatozott minden résztvevő (N=140). Ezt követően a vizsgálati csoport (N=100) további 2 hétig önellenőrzéssel, a kontroll csoport (N=40) önellenőrzés nélkül végezte a gyakorlatokat (második és harmadik mérés).

A fiatalok és idősebb felnőttek csoportjainak összehasonlítása

A fiatal és idősebb csoportok adatainak összehasonlításakor az első hét eredményei ($P < 0,05$, $ES = 0,69$), a második hét eredményei ($P < 0,05$, $ES = 0,86$) és a harmadik hét eredményei ($P < 0,05$, $ES = 0,91$) között is találtunk szignifikáns különbséget. Minden összehasonlításnál a fiatal csoport eredményei kerültek közelebb a célszöghöz. A csoportok közötti kölcsönhatást-interakciót az F értékek kiszámításával is vizsgáltuk. A térdemeléskor az adatok nem mutattak szignifikáns F interakciót ($F=1,0$, $P=0,367$), ezért megállapítjuk, hogy a térdemelés gyakorlat esetén a fiatal és az idősebbek eredményeinek tendenciája nem volt eltérő a három mérés során.

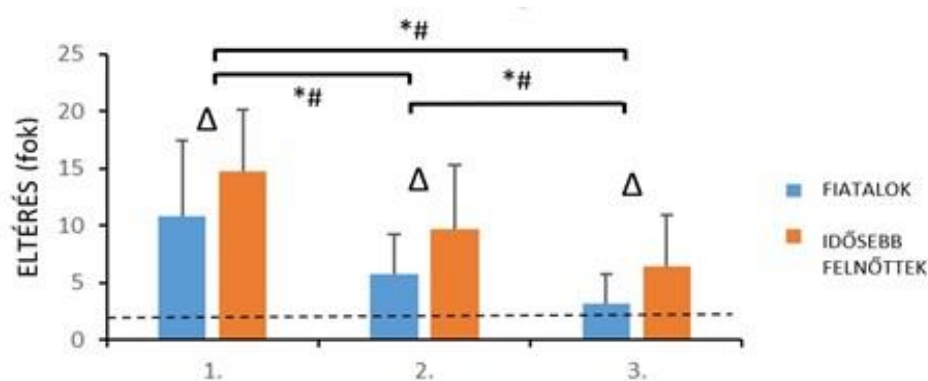
Összehasonlítva az alul- vagy túlteljesítés arányát a célszöghöz viszonyítva térdemeléskor, a fiatalok 43%-a, az idősebbek 27%-a teljesített nagyobb szöghelyzetet a megadott a célszöghelyzethez képest.

A fiatalok vizsgálati csoportjának első, második és harmadik mérés eredményeinek összehasonlítása

Az 1. mérés célszögtől való eltéréseinek eredményei a fiatal csoportnál szignifikánsan nagyobbak voltak, mint a 2. mérés eredményei (89%, $p < 0,05$, ES = 1,18), és szignifikánsan nagyobbak voltak a 3. mérés eredményeinél (248%, $p < 0,05$, ES = 1,59). A fiatal csoport 2. mérési eredménye 83%-kal volt nagyobb, mint a 3. mérés adatai ($p < 0,05$, ES = 1,23) (25. ábra, 2. táblázat).

Az idősebbek vizsgálati csoportjának első, második és harmadik mérés eredményeinek összehasonlítása

Az idősebb csoportban az 1. mérés eltérési adatai szignifikánsan nagyobbak voltak, mint a 2. mérés eredményei (52%, $p < 0,05$, ES = 2,36), és szignifikánsan nagyobbak voltak a 3. mérés eredményeinél (131%, $p < 0,05$, ES = 3,16). az idősebb felnőttek csoportjában a 2. mérés eredménye 51%-kal volt nagyobb, mint a 3. mérés adatai ($p < 0,05$, ES = 1,31) (25. ábra, 2. táblázat).



25. ábra. A vizsgálati csoportok térdemelés gyakorlat eredményeinek bemutatása

*A guggolás gyakorlat kontroll mérési adatainak abszolút eltérése a 75 fokos célszög helyzethez képest (átlag és szórás). A fiatal felnőttek kékkel, míg az idősebb felnőttek narancssárgával vannak jelölve. A sorszámok a kontrollmérések hetét jelölik. Az 1. egy hét elteltével önellenőrzés nélküli, 2. az első önellenőrzési hét után, 3. a második önellenőrzési hét után történt kontroll adatfelvétel eredményeit mutatja be. Szignifikáns különbséget a fiatalok esetében *, míg az idősebb felnőttek esetében # jelöli. A Δ szignifikáns különbséget jelez egy adott mérésben a fiatal és idősebb felnőtt csoportok között ($p < 0,05$). A szaggatott vonal jelzi a gyakorlatok kezdeti betanításánál alkalmazott tűréshatárt (2 fok).*

2. táblázat. A térdemelés mérési adatainak abszolút eltérése a 75 fokos célszög helyzethez képest (átlag ± szórás).

A sorszámok a kontroll mérések hetét jelölik. Az 1. egy hét elteltével önellenőrzés nélküli, 2. az első önellenőrzési hét után, 3. a második önellenőrzési hét után történt adatfelvétel eredményeit mutatja be a vizsgálati csoportokban.

a: szign. különbség az előző méréshez képest ugyanazon csoportban

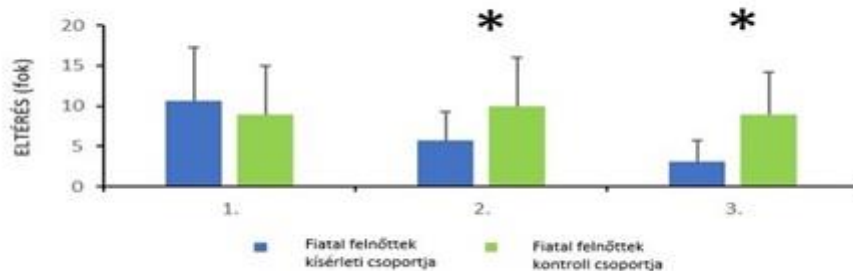
b: szign. különbség a fiatal és az idősebb vizsgálati csoport között az adott mérésnél

c: szign. különbség a vizsgálati és a kontroll csoport között

	1. mérés	2. mérés	3. mérés
FIATAL VIZSGÁLATI	10,83 ± 6,57 ^b	5,75 ± 3,53 ^{a,b,c}	3,18 ± 2,59 ^{a,b,c}
IDŐSEBB VIZSGÁLATI	14,8 ± 5,29 ^b	9,74 ± 5,63 ^{a,b,c}	6,46 ± 4,45 ^{a,b,c}
FIATAL KONTROLL	8,9 ± 6,09	10 ± 6,01 ^c	8,95 ± 5,22 ^c
IDŐSEBB KONTROLL	15,09 ± 7,41	16,33 ± 7,93 ^c	18,14 ± 8,21 ^c

A fiatalok vizsgálati és kontroll csoportjának összehasonlítása

A fiatal felnőttek adatait összehasonlítva nem volt különbség a vizsgálati és a kontrollcsoport 1. mérései között, de a 2. (78,5%, $p < 0,05$, ES = 0,96) és a 3. mérés (185%, $p < 0,05$, ES = 1,6) között szignifikáns különbséget találtunk. A kontrollcsoport szöghelyzetértékeinek eltérése az elérendő célértékhez képest szignifikánsan nagyobb volt, mint a vizsgálati csoportok eredményei. A vizsgálati és a kontrollcsoportok közötti kölcsönhatás ($F = 35,99$, $p < 0,05$) szignifikáns F-kölcsönhatást jelez (26.ábra).

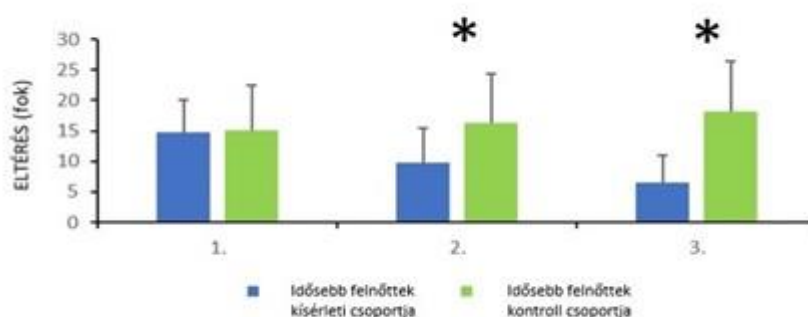


26. ábra. A fiatal felnőttek térdemelés gyakorlatának kísérleti és kontroll csoportjának összehasonlítása

A sorszámok a kontrollmérések hetét jelölik. Az 1. mérés egy hét önellenőrzés nélkül történt a csoportokban, a 2. és 3. mérés önellenőrzéssel történő gyakorlatozás után történt a kísérleti csoportban. A szignifikáns különbségeket ($p < 0,05$) * jelöli

Az idősebbek vizsgálati és kontroll csoportjának összehasonlítása

Az idősebb felnőttek eredményeit összehasonlítva nem volt különbség a vizsgálati és a kontrollcsoport 1. mérései között, de a 2. (68%, $p < 0,05$, $ES = 1,033$) és a 3. mérés (182,8%, $p < 0,05$, $ES = 2,01$) között szignifikáns különbséget találtunk. A kontrollcsoport szöghelyzetértékeinek eltérése az elérendő célértékhez képest szignifikánsan nagyobb volt, mint a vizsgálati csoportok eredményei. A vizsgálati és a kontrollcsoportok között ($F = 167,4$, $p < 0,05$) szignifikáns F-kölcsönhatás van, tehát eltérő tendenciát kell feltételeznünk vizsgálati és a kontrollcsoport között (27.ábra).

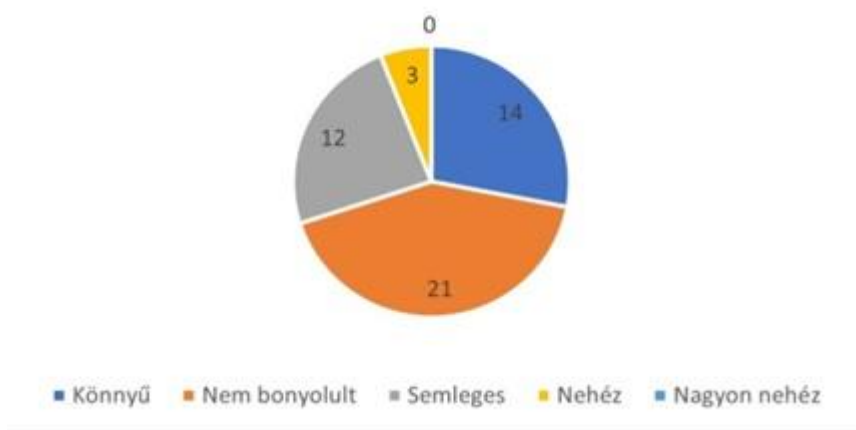


27. ábra. Az idősebb felnőttek térdemelés gyakorlatának kísérleti és kontroll csoportjának összehasonlítása

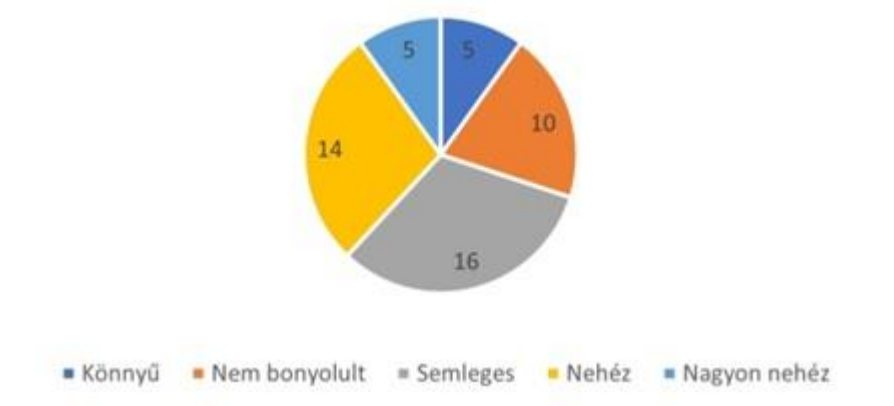
A sorszámok a kontrollmérések hetét jelölik. Az 1. mérés egy hét önellenőrzés nélkül történt a csoportokban, a 2. és 3. mérés önellenőrzéssel történő gyakorlatozás után történt a kísérleti csoportban. A szignifikáns különbségeket ($p < 0,05$) * jelöli.

4.2.3. A technológia használatának értékelése

A háromhetes vizsgálat teljesítése után megkértük a résztvevőket, hogy értékeljék a használt okoseszközök és technológia használatát, mely során a könnyű, a nem bonyolult, a nem is könnyű nem is nehéz, vagyis semleges, a nehéz, és a nagyon nehéz lehetőségek közül kellett egyet választani. A fiatal felnőttek közül 14-en választották a könnyű, a legtöbben, 21-en a nem bonyolult, 12-en a semleges, 3-an a nehéz opciót. Senki sem érezte nagyon nehéznek (28.ábra). Az idősebbek közül 5-en választották a könnyű, 10-en a nem bonyolult, a legtöbben, 16-an a semleges, 14-en a nehéz és 5-en a nagyon nehéz opciót (29.ábra).



28. ábra. A fiatal felnőttek vizsgálati protokoll nehézségére vonatkozó kérdőív válaszainak eloszlása kördiagramon bemutatva



29. ábra. Az idősebb felnőttek vizsgálati protokoll nehézségére vonatkozó kérdőív válaszainak eloszlása kördiagramon bemutatva

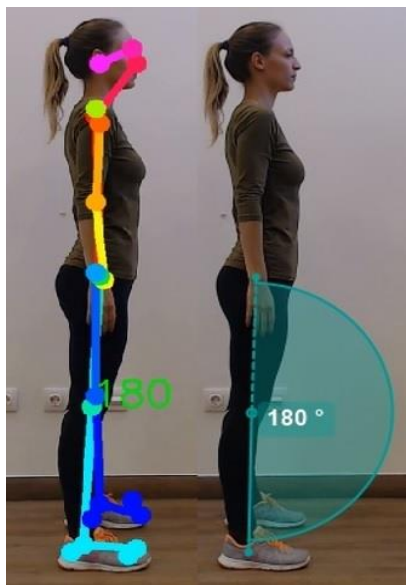
Az eredményekből egy kontingencia táblázat létrehozásával Khi-négyzet számítást végeztünk. A Khi-négyzet próba szignifikáns eredménye ($P < 0,05$) megerősíti, hogy nem véletlen eloszlásról van szó, hanem valóban szisztematikus különbség van a két korcsoport között. Az idősebbek körében a „semleges” és a „nehéz/ nagyon nehéz” kategóriák halmozódása arra utal, hogy számukra a technológia használata többlet támogatást igényel.

Ez az eredmény jól mutatja az ún. digitális generációs különbséget, amelyet a szakirodalom is leír: a fiatalabb korosztály általában gyorsabban adaptálódik az új technológiákhoz, míg az idősebbek számára több kihívást jelent az eszközök kezelése, a menük logikájának megértése, vagy a kapcsolódó alkalmazások használata (Wu 2022). E különbség részben a technológiai tapasztalat hiányából, a hibázástól vagy az eszköz meghibásodásától való fokozott félelemből, valamint az ergonómiai és kényelmi tényezőkből fakadhat (Mohd Zaid és mtsai 2023).

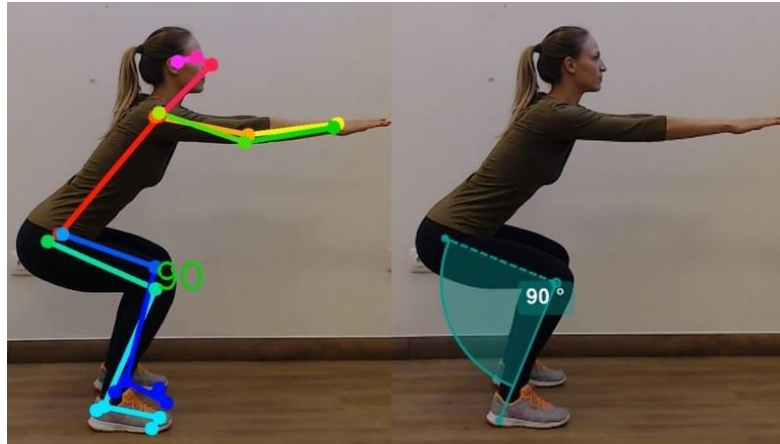
Összességében a vizsgálat eredményei arra utalnak, hogy az okoseszközök klinikai vagy egészségmegőrzési célú alkalmazásánál külön figyelmet kell fordítani az idősebb felnőttekre. Számukra elengedhetetlen az egyszerűbb kezelőfelület, a nagyobb vizuális elemek, valamint a személyre szabott oktatás és támogatás biztosítása.

4.3. A harmadik vizsgálat eredményei

Az általunk használt OpenPose szoftver és a Kinovea szoftverek által mért térdízületi szögértékek összehasonlítását párosított t-próbával végeztük el, amelynek célja annak megállapítása volt, hogy van-e szignifikáns különbség a két mérési módszer között. Az eredmények azt mutatták, hogy a két rendszer által mért szögértékek átlaga között nem volt statisztikailag szignifikáns eltérés (átlagkülönbség = $0,33^\circ \pm 2,29^\circ$, $P > 0,05$), ami arra utal, hogy az OpenPose által szolgáltatott adatok megbízhatóan közelítik a Kinoveával mért értékeket. Annak érdekében, hogy a mért értékek eltéréseinek gyakorlati jelentőségét is pontosabban értékelhessük, kiszámítottuk az adatpárok abszolút különbségét, amely átlagosan $2,03^\circ \pm 1,06^\circ$ volt. Ez az érték azt mutatja meg, hogy a két szoftver között az egyes mérések esetében jellemzően mekkora eltérés mutatkozott a mért szög tekintetében, függetlenül attól, hogy pozitív vagy negatív irányban tértek-e el. Emellett a százalékos különbség is kiszámításra került, amely átlagosan $2,28\% \pm 1,18\%$ volt a vizsgált adatpárok között, ami alacsonynak tekinthető (30., 31. ábra).



30. ábra. Az OpenPose új alkalmazás rétegének és a Kinovea szoftver összehasonlítása kiinduló helyzetben
(forrás: Zsarnóczky-Dulházi és munkatársai 2024a cikk, saját fénykép)



31. ábra. Az OpenPose új alkalmazás rétegének és a Kinovea szoftver összehasonlítása guggoló helyzetben

(forrás: Zsarnóczy-Dulházi és munkatársai 2024a cikk, saját fénykép)

4.4. Az eredmények összefoglalása

Az értekezésben részletesen ismertetett három tudományos kutatás legfontosabb eredményei az alábbi pontokba foglalhatók össze.

A vizuális és vesztibuláris rendszerek megzavarásának egyensúlyra és állásstabilitásra gyakorolt hatásaival kapcsolatos főbb eredmények:

- A Domináns csoport
 - FNY körülmény esetén szignifikánsan jobb eredményeket ért el a Terület, Előre-hátra, Balra-jobbra esetén, mint a Nem Domináns csoport.
 - CS körülmény esetén szignifikánsan rosszabb eredményeket ért el a Távolság, Előre-hátra körülmények esetén, mint FNY.
 - NY körülmény FNY körülménnyel összehasonlítva nem különbözött szignifikánsan egy esetben sem.

- A Nem Domináns csoport
 - CS és FCS jobb eredményeket ért el a Távolság körülmény esetén a Domináns csoporttal összehasonlítva.
 - FNY körülmény esetén szignifikánsan rosszabb eredményt ért el Balra-jobbra, mint CS körülmény esetén.
 - NY körülmény esetén szignifikánsan jobb eredményt ért el a Terület, Távolság, Előre-hátra, Jobbra-balra esetén, mint FNY körülmény esetén.

Az otthoni körülmények között végzett tornagyakorlatokról történő vizuális visszajelzés megvalósíthatóságára és eredményességére vonatkozó kutatás főbb eredményei:

- A fiatalok és idősebbek vizsgálati csoportja is szignifikánsan közelebbi eredményeket adott a 65 fokos célértékhez (guggolás gyakorlat) képest a második és harmadik mérés alkalmával az első méréssel összehasonlítva.
- A fiatalok és idősebbek vizsgálati csoportja is szignifikánsan közelebbi eredményeket adott a 75 fokos célértékhez (térdemelés gyakorlat) képest a második és harmadik mérés alkalmával az első méréssel összehasonlítva.
- A fiatal vizsgálati-kontroll és idősebb vizsgálati-kontroll csoportok guggolás gyakorlat eredményeinek összehasonlításakor az első mérés tekintetében nem, a második és harmadik mérés eredményeinek összehasonlításakor viszont találtunk szignifikáns különbséget.
- A fiatal vizsgálati-kontroll és idősebb vizsgálati-kontroll csoportok térdemelés gyakorlat eredményeinek összehasonlításakor az első mérés tekintetében nem, a második és harmadik mérés eredményeinek összehasonlításakor viszont találtunk szignifikáns különbséget.

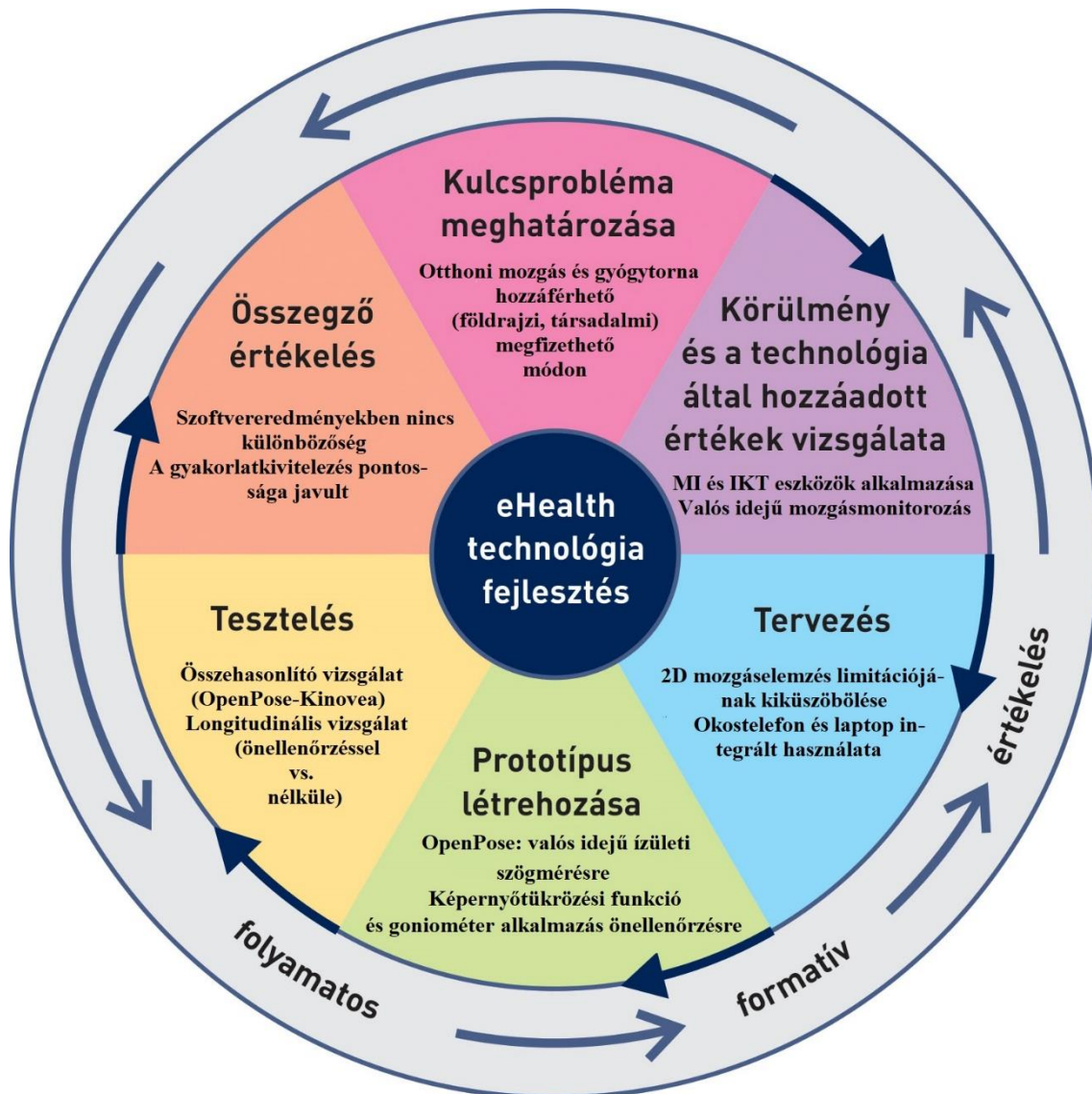
A marker nélküli, mesterséges intelligencia alapú mozgáselemzés megvalósulására és validálására vonatkozó kutatás elsődleges eredménye, hogy sikeresen kifejlesztésre került a szoftver, amelyet valós mérési körülmények között sportolók közreműködésével adatfelvételre, illetve rögzítésre tudunk felhasználni. Emellett igen fontos eredmény, hogy az OpenPose és Kinovea szoftverek által mért ízületi szögértékek összehasonlítása azt mutatja, hogy a regisztrált adatok között nincs szignifikáns különbség.

5. MEGBESZÉLÉS

Az infokommunikációs eszközök egészségügybe való bevonásával kapcsolatban számos tudományos kutatás és nemzetközi ajánlás, útmutató jelent meg az utóbbi években, hiszen társadalmunkat már minden szintéren behálózza a technológia. A társadalmakon belüli egészségüghöz való egyenlőtlen hozzáférésekből (Bíró és Prinz 2020; Szivós és mtsai 2024), a világvjárványok terjedéséből (Denadai 2020), a páciensek preferenciáinak megváltozásából (Girasek és mtsai 2022), a növekvő betegszámból (OECD 2024) és jellemzően az állami egészségügyi intézmények munkaerő hiányából (Gaal és mtsai 2021, Zsarnóczky-Dulházi és mtsai 2023) adódóan szükséges és elvárt az egészségügyi nyilvántartások és távorrvoslási platformok bevezetése és rutinszerű használata.

A disszertáció az e- és m-egészségügyet helyezi középpontba és kiemelten kezeli a mozgásszervi rehabilitációt. Ez az ellátás jellemzően személyes találkozók alkalmával valósul meg, így felvetődik a kérdés, hogy az ellátás milyen esetekben, milyen technológiával és hogyan valósulhat meg a legbiztonságosabban és leghatékonyabban. Ezen problémának a figyelembevételével a vizsgálati protokollok megtervezésénél több cél megvalósítására törekedtünk (32.ábra):

- a vizuális visszajelzés fontosságát újfajta megközelítésben vizsgáltuk, úgy, hogy a vizuális input kikapcsolása mellett megfigyeltük a vesztibuláris rendszer megzavarásának hatásait is az állásstabilitás és az egyensúly megtartása során,
- a vizuális visszajelzés megvalósulásának lehetőségét a tornagyakorlatok során otthoni környezetben, olcsó és könnyen hozzáférhető eszközök (okostelefon, laptop) és technológia bevonásával vizsgáltuk,
- a mozgáselemzés legújabb trendjeinek figyelembevételével egy mesterséges intelligencia alapú szoftver alap funkciójának kiegészítésével törekedtünk a tornagyakorlatok számszerű vizuális visszajelzésének megvalósítására,
- egy, már létező és széleskörűen használt videó elemző és egy, új alkalmazás réteggel kiegészített mesterséges intelligencián alapuló szoftver eredményeinek validáló összehasonlítása történt.



32. ábra. Az e-egészségügyi alkalmazások fejlesztése a disszertáció szemszögéből.
 (forrás: saját szerkesztés, Zsarnóczky és Kopper 2021 cikk és a disszertációban szereplő kutatások alapján)

5.1. Első vizsgálat - A vizuális és vesztibuláris rendszerek egyensúlyra és állásstabilitásra vonatkozó vizsgálata

Az egyensúlyozás és az egyensúly megtartása rendkívül komplex feladata az emberi testnek. Ebben a koordinációs folyamatban több rendszernek, név szerint a vizuális, a vesztibuláris és a szomatoszenzoros rendszernek kell összehangoltan működnie (Hain és Helminski 2014; Rojjezon és mtsai 2015; Takakusaki 2017). Összetettsége miatt több külső és belső tényező befolyásolhatja (Pérez és mtsai 2014; de Mello és mtsai 2017; Speers és mtsai 2002; Chiari és mtsai 2002; Bruyneel és Bertrand 2018; Henry és Baudry 2019).

Általánosan elfogadott tény, hogy a sportolók és táncosok a fejlettebb testtudatuknak köszönhetően lényegesen jobb egyensúlyozási képességekkel rendelkeznek, mint a nem sportolók (Pérez és mtsai 2014; Kiers és mtsai 2013; Zemková 2014; Davlin 2004). Az azonban nem tisztázott, hogy a vizuális és a vesztibuláris rendszerek azonos vagy eltérő módon járulnak hozzá az egyensúly és állásstabilitás mutatóinak alakulásaihoz. Vizsgálatunkban a vizuális és vesztibuláris rendszerekre való támaszkodás mértékének megítélése érdekében dominánsan forgó mozgásokat végző sportolókat és dominánsan nem forgó mozgásokat végző sportolókat hasonlítottunk össze a testlengés mértékének megfigyelésével, aminek vizsgálatához stabilométert használtunk, mely általánosan elfogadott tudományos módszernek tekinthető a biomechanikai műszeres mozgáselemzésben (Caballero és mtsai 2004, Davlin 2004).

Kutatásunkban azt feltételeztük, hogy a vizuális és vesztibuláris rendszerre való támaszkodás egyéni, és különböző arányban valósul meg egyensúlyozás során, attól függően, hogy milyen jellegű sporttapasztalata van az illetőnek.

Az eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a Domináns csoport (D) tagjai, akik olyan sportágat űztek, ahol törzs és a fej forgó, csavaró mozgása jellemző, és a Nem Domináns (ND) csoport tagjai eltérően reagálnak a vizuális és vesztibuláris ingerek megzavarására különböző feltételek és beavatkozások mellett. A D csoport tagjainak nyomásközéppont mozgását kevésbé befolyásolta a forgószékekben történő megforgatás,

mely a vesztibuláris rendszer megzavarására alkalmaztunk, abban az esetben, ha rendelkezésre állt a vizuális input. Ez összhangban áll de Mello és munkatársai kutatásának eredményeivel, akik tudományos cikkükben leírták, hogy a professzionális balett-táncosok jelentős vizuális függőséget mutatnak az egyensúly megtartása és a testlengés kontrollálása során különösen a balettra jellemző, specifikus testhelyzetekben (de Mello és mtsai 2017). Pérez és munkatársai fő következtetése is egyetért ezzel, miszerint a táncosok testtartás-szabályozása a vizuális információk elérhetőségétől függ (Pérez és mtsai 2014).

Ami a vesztibuláris rendszer megzavarását illeti, kutatásunkban az ND csoport tagjai szenzitívebbek voltak rá, mint a D csoport tagjai. Valószínűsíthetően azért, mert a D csoportban rendkívül gyakori a törzs és fej forgó mozgása, ezért ezt az ingert részben blokkolja a központi idegrendszer, valamint a csoport tagjai a tréningek során kiemelten foglalkoznak a fókuszálási technikák elsajátításával (Nigmatullina és mtsai 2015).

Eredményeink alapján, figyelembe véve a különböző sportmozgások eltérő kinematikai paramétereit, javasolható, hogy a különböző motoros tapasztalattal rendelkező személyek esetében a szenzoros inputok (pl. vizuális vagy vesztibuláris) eltérő súlyozása és tréningje szükséges, azonban a vizuális visszajelzés tudatos szabályozása minden esetben kiemelt jelentőségű. A nagyfokú dinamikus egyensúlyt igénylő sportágakban (pl. tánc, torna) a vizuális input tudatos kontrollálása zavaró, látást befolyásoló tényező beiktatásával (pl. speciális látáskorlátozó szemüvegek segítségével, fényviszonyok állításával) és szenzoros adaptációs gyakorlatok (pl. instabil felszínek, multiszenzoros, vizuális, vesztibuláris és proprioceptív rendszert egyszerre stimuláló gyakorlatok) beépítése hatékonyabbnak tűnik. Ezzel szemben azon egyének számára, akik nem rendelkeznek hasonló sportháttérrel, javasolt lehet a vizuális információ fenntartásával végzett egyensúlygyakorlatok fokozatos bevezetése, proprioceptív gyakorlatokkal kiegészítve, a vesztibuláris terhelés növelése előtt. Részben ezt erősíti meg egy stroke-betegeken végzett kutatás is, ahol a vizuális deprivációval kombinált fejkontroll-feedback gyakorlatok hatékonyabbnak bizonyultak a statikus és dinamikus egyensúly fejlesztésében, mint az önmagában alkalmazott vizuális visszajelzés (Nam és Lee 2022). Véleményünk szerint az eredmények nemcsak a sportrehabilitáció és tréning szempontjából lehetnek jelentősek, hanem a sporttapasztalattal nem rendelkezők mozgásprogramjának összeállítása során is. Általánosságban megállapítható, hogy a

vizuális visszajelzés lehetőségének biztosítása – függetlenül a vizsgálatunk specifikus módszertanától – elősegítheti a gyakorlatok helyes kivitelezésének memorizálását.

Limitációk

Jelen vizsgálatba nőket vontunk be, valamint a résztvevők életkora szűk tartományban mozgott (19–27 év). A vizsgálatban csak statikus egyensúlyt értékeltünk, rövid, 20 másodperces adatfelvételek során álló testhelyzetben. A vestibuláris rendszer megzavarása standardizált körülmények között történt, ami nem azonos a sportban előforduló természetes rotációs ingerekkel.

5.2. Második vizsgálat - A vizuális visszajelzés alkalmazása a mozgásszervi rehabilitációs technológiák fejlesztésében az m-egészségügy adta lehetőségek kihasználásával

A mozgás monitorozására és elemzésére napjainkban számos technológiai megoldás áll rendelkezésre, amelyek alkalmazása kiemelt jelentőséggel bír a mozgásszervi rehabilitáció területén. E technológiák fejlesztésekor alapvető követelmény, hogy ne csupán adatgyűjtési célokat szolgáljanak, hanem aktívan támogassák a sérült mozgásfunkciók teljes, vagy legalábbis a lehető legmagasabb szintű helyreállítását. A szakirodalmi adatok egyértelműen rámutatnak arra, hogy az infokommunikációs technológiák (IKT) és egyéb digitális újítások integrálása jelentősen növelheti a rehabilitáció hatékonyságát, mivel a telemedicina eszközei nemcsak a prevencióban, hanem a rehabilitációban, a krónikus betegségek kezelésében és a palliatív ellátásban is sikeresen alkalmazhatók (Zsarnóczky- Dulházi és Kopper 2021; Caraceni és mtsai 2022; Ma és mtsai 2022). Tekintve, hogy a professzionális, főként laborokban és élsportban használt mozgáselemző berendezések jellemzően nagyon drágák -mint például a VICON vagy a Qualysis- nehezen hozzáférhetőek, valamint felhasználásuk külön szakértelmet igényel, más irányba kerestük a megoldást.

Mivel ma már az egészségügyi információkért elsősorban az internetet böngésszük, az online tér és az infokommunikációs eszközök kiemelt szerepet játszanak az egészségügyi ellátásban, edukációban és tudatosságban (Ferguson és Frydman 2004, Girasek és mtsai 2022). Azonban nemcsak maga az internet szolgáltat egészségügyi információkat, hanem a mindennapokban használt okostelefonok is, melyek az úgynevezett m-egészségügy egyik legelterjedtebb eszközei, hiszen számos olyan beépített érzékelővel rendelkeznek, amikkel képesek monitorozni fizikai állapotunkat (Majumder és Deen 2019).

A valós idejű visszacsatolás alkalmazása a mozgáselemzés és a rehabilitáció területén napjainkban egyre inkább előtérbe kerül, köszönhetően annak, hogy lehetővé teszi a motoros kontroll finomhangolását, a mozgásminták gyors és pontos korrekcióját, valamint a motoros tanulás hatékonyságának fokozását. Több tanulmány igazolta, hogy a valós idejű vizuális visszajelzés szignifikánsan hozzájárul a mozgások precizitásának

javításához, a rehabilitációs folyamatok felgyorsításához, és a hosszú távon fenntartható mozgásminőség kialakításához (Vos és mtsai 2022; Shin és mtsai 2023).

A vizuális visszajelzés szerepe különösen meghatározó olyan alapmozgások esetén, mint a guggolás vagy az álló helyzetben végzett térdemelés, amelyek stabilitási és erőfejlesztési feladatként egyaránt szolgálnak a rehabilitációs protokollokban. Egy kutatás eredményeképpen, ahol egészséges felnőttek guggolás közben kaptak valós idejű vizuális visszajelzést, kimutatták, hogy a résztvevők képesek voltak szignifikánsan csökkenteni a térdízületre nehezedő terhelést, miközben a mozgásminőség és a biomechanikai paraméterek optimalizálása megvalósult (Kernozek és mtsai 2020). Ez arra utal, hogy a vizuális információ nemcsak az aktuális ízületi szögek és mozgástartomány felmérését szolgálhatja, hanem komplexen elősegíti a hosszabb távon hatékonyabb és biztonságosabb mozgásminták kialakulását.

A vizuális mellett a numerikus visszacsatolás is jelentőséggel bír, amit Averell és munkatársai is bizonyítottak a kompenzáló mozgások felismeréséhez használt algoritmusuk tesztelésekor (Averell és mtsai 2022). A numerikus visszajelzések nem csak a pácienseknek, a szakemberek számára fontos információkat szolgáltathatnak a fizikai állapot és mozgástartomány felméréséhez a rehabilitáció megkezdésekor és alatt.

Vizsgálatunkban mind a numerikus mind a vizuális visszacsatolásra szerettünk volna megoldást találni kifejezetten megfizethető, a legtöbb háztartásban elérhető infokommunikációs eszközök bevonásával. Mivel jellemzően mind a fiatal, mind az idősebb korosztály érintett lehet akut vagy krónikus mozgásszervi megbetegedéssel, a vizsgálatunkban résztvevő személyek az életkor széles spektrumát felölelték.

A tornagyakorlatok valós idejű nyomon követése okostelefonos goniométer alkalmazással és laptopra történő képernyőtükörzés funkcióval valósult meg. Arra voltunk kíváncsiak, hogy javul-e gyakorlatok kivitelezésének pontossága a technológia alkalmazásának hatására. A módszertani megközelítésünk relevanciáját és gyakorlati alkalmazhatóságát támasztja alá Jenny és munkatársai kutatása is, amelyben a kameraalapú okostelefonos applikációval végzett térdhajlítási szögmérések eredményeit vetették össze a teljes térdprotézis-beültetés során alkalmazott referenciaértéknek számító sebészi navigációs rendszer mérési adataival. Eredményeik azt mutatták, hogy a kameraalapú módszer megbízhatóan alkalmazható a klinikumban mint non-invazív

mozgástartomány-mérési technika (Jenny és mtsai 2016). A hasonló, laptopos képernyőtükörzéssel kiegészített kutatásunk eredményei is megerősítették a kameraalapú visszajelzés hatékonyságát a mozgás pontosságának javításában.

A méréseink azt mutatták, hogy a beavatkozás előtti állapotfelmérés során, azaz az 1. mérés alkalmával, sem a fiatal, sem az idősebb felnőtt résztvevők körében nem volt szignifikáns különbség a vizsgálati és kontrollcsoport között sem a guggolás, sem a térdemelés végrehajtásának pontosságában. Mindazonáltal a célszögtől való eltérés mindkét életkori csoportban jól érzékelhető volt, ami összhangban áll Faber és munkatársai korábbi megállapításával, miszerint a gyógytornással begyakorolt és otthon végzett gyakorlat végrehajtás között eltérés mutatkozik a felügyelet hiánya miatt (Faber és mtsai 2015).

Ez az eltérés eredményeink alapján csökkenthető célzott vizuális visszajelzés alkalmazásával, hiszen a kontrollmérések közötti vizsgálat során a fiatalok és idősebbek vizsgálati csoportja a vizuális visszajelzéssel történő gyakorlatozás utáni első héten (2. mérés) és második héten (3. mérés) szignifikánsan a célszöghöz közelebb eredményeket ért el az 1. méréssel összehasonlítva mind a guggolás, mind a térdemelés esetében. Kiemelendő, hogy a valós idejű visszacsatolás nem csupán az aktuális mozgáskorrekcióban játszhat szerepet, hanem növelheti az önmonitorozás és tudatos végrehajtás szintjét, ezáltal hozzájárul a biztonságosabb és eredményesebb otthoni gyakorláshoz is. A kutatási eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy mind fiatal, mind idősebb vizsgálati csoportokban a visszajelzéssel támogatott gyakorlás jelentős mértékben növelte a guggolás és térdemelés feladatok pontosságát, amit a célszöghöz való közelítésben szignifikánsan mérhető javulás igazolt.

Az idősebb korosztály számára nehézséget jelenthet az infokommunikációs eszközök használata, illetve új funkciók megtanulása. A kezdeti nehézségek után azonban csupán néhány technikai probléma jelentkezett a vizsgálatunk során, amit egyszerűen sikerült elhárítanunk. A vizsgálatban szereplő technológia használatára vonatkozó szubjektív benyomáson alapuló 5 fokozatú kérdőív kitöltésekor a résztvevőknek a könnyű, nem bonyolult, semleges, nehéz és nagyon nehéz közül kellett választaniuk, ami során észrevehető volt, hogy az idősebbeknek nagyobb kihívást jelentett a technológia használata. Ez az eredmény jól mutatja az ún. digitális generációs különbséget, amelyet

a szakirodalom is leír: a fiatalabb korosztály általában gyorsabban adaptálódik az új technológiákhoz, míg az idősebbek számára több kihívást jelent az eszközök kezelése, a menük logikájának megértése, vagy a kapcsolódó alkalmazások használata (Wu 2022). E különbség részben a technológiai tapasztalat hiányából, a hibázástól vagy az eszköz meghibásodásától való fokozott félelemből, valamint az ergonómiai és kényelmi tényezőkből fakadhat (Mohd Zaid és mtsai 2023).

Összességében a vizsgálat eredményei arra utalnak, hogy az okoseszközök klinikai vagy egészségmegőrzési célú alkalmazásánál külön figyelmet kell fordítani az idősebb felnőttekre. Számukra elengedhetetlen az egyszerűbb kezelőfelület, a nagyobb vizuális elemek, valamint a személyre szabott oktatás és támogatás biztosítása. Úgy véljük, hogy az idősebb felnőttek számára létfontosságú a kezdeti segítség nyújtása és támogatás, de amennyiben ez megtörténik, nem kell nehezítő körülményként számolni az új technológiákkal az ő esetükben sem. A technológia különösen nagy potenciállal bír az idősebb korosztály számára, ahol a motoros funkciók megtartása és a függetlenség megőrzése kiemelten fontos, és ahol a hagyományos rehabilitációs felügyelet gyakran korlátozott (Jirasakulsuk és mtsai 2022).

Az általunk tesztelt technológia különösen a személyes gyógytornát kiegészítő technológiaként előnyös, amikor a személyes találkozó idő hiányában, vagy nagy távolságok miatt, esetleg egyéb okból nem vagy nagyon ritkán megvalósítható. Úgy gondoljuk, hogy az otthoni gyógytorna a vizuális visszajelzés hatására biztonságosabban és eredményesebben megvalósítható, tehát a technológia hosszan tartó használatával az otthoni környezetben végzett rehabilitáció sikeressége életkortól függetlenül javulhat. Az okostelefon és az applikáció adattovábbító funkcióinak köszönhetően pedig az eredmények, az előrehaladás akár megosztható a szakemberekkel. Mindezek alapján a kameraalapú, valós idejű és numerikus visszajelzést is biztosító technológiai megoldások nemcsak a klinikai, hanem az otthoni rehabilitációs gyakorlatban is releváns szerepet tölthetnek be. Véleményünk szerint a széles életkor spektrum reprezentálásán túl, a kutatás igazi nívója az infokommunikációs eszközök és funkciók összekapcsolásának, kombinálásának bemutatása.

Limitációk

Mint minden vizsgálatnak, ennek is vannak korlátai. Jelen vizsgálatban két egyszerű tornagyakorlatot vizsgáltunk, így komplexebb mozgásokra nem általánosíthatók az eredmények, valamint a nagy mintanagyság ellenére nem reprezentálja a populáció teljes sokféleségét (pl. mozgásszervi panaszokkal küzdők). Csak androidos okostelefonokat használtunk, így az alkalmazhatóság más operációs rendszerekre (pl. iOS) nem került tesztelésre.

5.3. Harmadik vizsgálat - Mesterséges intelligencia bevonása a mozgás nyomon követésére

Az emberi test mozgásának nyomon követésére és elemzésére ma már számos technológia áll rendelkezésünkre és számuk rohamtempóban növekszik. Megkülönböztetünk markeres és marker nélküli mozgáselemző rendszereket és berendezéseket, amik az objektív állapotfelmérést teszik lehetővé, de ezeket rendszerint nem otthoni használatra fejlesztették (Yeadon és Pain 2023). A könnyebben hozzáférhető, ingyenes szoftver alapú videó- és mozgáselemzők egyértelmű problémája pedig az, hogy nem képesek 3D elemzésre egyetlen kamera használatával. Ebből következően az egyén mozgásáról rendelkezésre álló információ csak a mozgás egyik síkjára vonatkozik. Célunk az volt, hogy marker nélküli mozgásszervi (táv)rehabilitációt támogató megoldást hozzunk létre és teszteljünk. Véleményünk szerint egy megfizethető online videóelemző rendszer, amely könnyen hozzáférhető eszközök felhasználásával, valós idejű grafikus és numerikus információkat biztosít a páciens mozgásairól a rehabilitációs folyamat során, személyes terapeuta-beteg kapcsolat nélkül, általánosságban és speciális helyzetekben, mint például a COVID-19, rendkívül előnyös lenne (Landry és mtsai 2020). Számos korábbi kutatás foglalkozik kifejezetten gyógyászati célra szánt technológiákkal. Az egyik ilyen terület a mesterséges intelligencia és a gépi tanulás potenciális alkalmazása mozgásszervi érintettségű betegségekben szenvedő betegek körében (Saputra és mtsai 2012; Tack 2019; Viswakumar és mtsai 2022; Saiki és mtsai 2023).

Kutatásunkban az OpenPose szoftvert választottuk alapul, ami egy nyílt forráskódú szoftver az emberi testek, kézmozdulatok és arckifejezések valós idejű mozgáskövetésére és kulcspont-alapú (keypoint-based) elemzésére. A szoftver mélytanulási algoritmusokat használ, hogy videóknak vagy képeknek felismerje és elemezze az emberi test főbb ízületi pontjait, például a könyököt, térdet, vállakat és csípőt (Joo és mtsai 2015). Ota és munkatársai a gold standardnak számító VICON mozgáselemző rendszerrel vetette össze ezt a szoftver megbízhatósági szempontból. A vizsgálatban megállapították, hogy a térd- és bokaízületek esetében megbízhatóan, a csípő és törzs esetében viszont nagyobb óvatossággal ajánlott a használata, részben annak köszönhetően, hogy míg a VICON három, addig az OpenPose csak két dimenzióval dolgozik (Ota és mtsai 2020). Munkánk során ezért a szoftvert két kamera által szolgáltatott adatok egyidejű feldolgozásának

lehetőségével egészítettük ki, így, bár a rendszer csak 2D vizuális képeket használ, a páciens mozgásának megfigyelése az egyik kamera esetében a szagittális síkban, a másik kamera esetében a frontális síkban történik. Ez egyrészt azért előnyös, mert a két kameranézet kombinációja csökkenti annak a kockázatát, hogy egyes ízületi kulcspontok takarásba kerülnek – ami az OpenPose működésében jelentős hibaforrást jelenthet (Chung és mtsai 2022). Különösen a térd, a csípő vagy a váll ízületek esetében fordulhat elő, hogy egy adott nézőpontból a test saját magát takarja (pl. kar a törzs előtt, vagy oldalnézet), amely az egykamerás megfigyelés során pontatlan vagy hiányos adatokat eredményezhet. A két független nézőpont együttes feldolgozása e hibák korrigálását teszi lehetővé, növelve ezzel a kinyert adatok megbízhatóságát és érvényességét. Másrészt a két kamera által biztosított eltérő perspektívák révén a mozgás komplexebb jellemzői is jobban értelmezhetők. Például az oldalnézeti kamera elsősorban a szagittális síkban végbemenő mozgások – mint a térd flexió-extenzió – követésére alkalmas, míg az előlnézeti vagy hátnézeti kamerabeállítással a frontális síkban történő eltérések – például tengelyeltérések, aszimmetriák – is jól detektálhatók (Pizones és mtsai 2024). Ezáltal a rendszer lehetőséget nyújt a mozgásmintázat komplexebb, többdimenziós értelmezésére, miközben továbbra is marker nélküli, költséghatékony megoldást biztosít.

A szoftver validálásához Kinovea szoftvert használtunk, egy, a videóelemzésben általánosan használt ingyenes szoftver, amit eredetileg sportbeli felhasználásra fejlesztettek ki (Nor Adnan és mtsai 2018). Választásunk oka, hogy technológiája hasonlít az OpenPose-hoz, hiszen használatához nem szükséges fizikai markerek felhelyezése.

Eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a szoftver képes számszerű adatokat szolgáltatni a mozgásról és a Kinovea szoftverrel összehasonlítva statisztikailag nincs különbség a mért ízületi szögértékek között, amit a bokaízület mozgásának elemzésekor korábbi tanulmányban is bizonyítottak az eredeti szoftver alkalmazásával (Takeda és mtsai 2021).

Bár a jelen vizsgálat kizárólag egészséges személyeken történt, az eredmények alapján feltételezhető, hogy az alkalmazásréteggel kiegészített OpenPose szoftver alkalmas lehet a rehabilitációs tornagyakorlatok otthoni elvégzésének nyomon követésére. Egyrészt a páciensek segítése mellett a szakembereket is támogathatja oly módon, hogy valós idejű számszerűen is kifejezett videó visszajelzést kaphatnak a pácienseik otthoni környezetben végzett gyakorlatairól és korrigálhatják, taníthatják és ösztönzhetik őket a minél jobb

eredmények elérésére. Másrészt a rehabilitációs kezelés kvantitatív előrehaladásának egyszerű és pontos mérése is megvalósulhatna a szekvenciálisan rögzített videók mozgástartományának összehasonlításával. Ezért a betegek rehabilitációs programjának longitudinális felügyelete a mért adatok alapján egyszerűen és távolról is végrehajtható lehetne megfizethető, könnyen hozzáférhető komponenseket használva.

Összességében kutatásunk eredményei arra utalnak, hogy a marker nélküli rendszerek, mint az OpenPose, ígéretes lehetőséget kínálnak a rehabilitációs mozgáselemzés támogatására, jelen állapotában különösen akkor, ha a cél nem az abszolút precizitás, hanem a trendek, mozgásminták és eltérések nyomon követése, ugyanakkor tudományos és klinikai szempontból több fontos korlátozás is megfogalmazható. Egyrészt a vizsgálatunkban alkalmazott mérési környezet kontrollált volt, ami jelentősen különbözik az otthoni, valós élethelyzetekben tapasztalható heterogén feltételektől (pl. fényviszonyok, térbeli akadályok, több személy egyidejű jelenléte) (Tamburini és mtsai 2017). Másrészt meg kell említenünk, hogy míg az OpenPose automatikus, addig a Kinovea manuális videóelemzésre képest és bár a mozgáselemzésben igen elterjedt a használata, a Kinovea sem tekinthető „gold standard”-nak, így bár az összehasonlítás statisztikailag szignifikáns eltérést nem mutatott, nem zárható ki, hogy mindkét módszertan hordoz mérési hibákat. E korlátok miatt elengedhetetlen a nagyobb mintán végzett, Viconhoz vagy Qualisyshez hasonló, klinikailag elfogadott rendszerekkel történő validációja (Matsuda és mtsai 2024).

A jövőbeli fejlesztések irányát a hibrid, multimodális rendszerek jelenthetik, amelyek ötvözik a gépi látást az inerciális mérőegységekkel (IMU), nyomásérzékelő platformokkal vagy akár EMG-vel, ezzel pontosabb és komplexebb képet adva a páciens állapotáról (Pearl és mtsai 2023). Ezen megközelítés révén a marker nélküli technológiák nemcsak a költséghatékonyság, hanem a klinikai megbízhatóság szempontjából is versenyképes alternatívát kínálhatnak a jövő rehabilitációs gyakorlatában.

Limitációk

Mint minden kutatásnak, ennek a vizsgálatnak is vannak bizonyos korlátai. Limitációként megjegyezzük, hogy az Openpose főként fizikailag ép, álló vagy járó személyek adataira épül. Jelen kutatás célja a Kinovea szoftverrel való összehasonlítás volt, ahol fizikailag ép személyeken történt az adatfelvétel, hiszen a vizsgálat elsődlegesen a szoftver megfelelő működőképességére vonatkozott, ami a jövőbeli teszteleseknek és továbbfejlesztéseknek ad alapot. Mivel az OpenPose főként ép személyekkel dolgozik, ezért feltételezhetően a kerekesszékekben ülő páciensek esetében nem olyan pontos a szoftver, főleg a kulcspontok takarása és az eltolódott testarányok miatt. Emellett más segédeszközöket, mint például a sétabot vagy járókeret végtagnak érzékelheti a rendszer. Ennek ellenére véleményünk szerint a mesterséges intelligencián alapuló szoftverek nagy előnye, hogy gépi tanulási módszerekkel képesek alkalmazkodni az egyéni sajátosságokhoz, így lehetőség nyílna a személyre szabott kalibrációra a jövőben. Az egyéni kalibrációt követően pedig sem a segédeszközök, sem pedig a végtaghiányok nem lesznek befolyásoló tényezők a mozgáselemzésnek. Ehhez szükséges, hogy az algoritmus tanuljon atípusos mozgásmintákból és segédeszközök segítségével történő mozgásokból, ami által létrejönne egy adatbázis kifejezetten mozgáskorlátozott személyekre.

Az OpenPose-alapú rendszer valós idejű működtetése során jelentkezhetnek technikai kihívások, mint például a késleltetés, a hálózati kapcsolat stabilitása és a számítási kapacitás. A jelen vizsgálatban a guggolás gyakorlat feldolgozása során a képkockák késése minimális volt, mivel viszonylag lassú és egyszerű mozgásról van szó. Azonban egy összetettebb vagy gyorsabb mozdulat/gyakorlat során a rendszer számítási igénye jelentősen megnőhet, ami érzékelhető késést eredményezhet a képfeldolgozásban. A hálózati kapcsolat a vizsgálat ideje alatt stabilan működött, mivel az adatfelvétel idején más folyamat nem terhelte a rendszert, így az adattovábbítás a szerver és a használt laptop között zavartalan volt. A rendszer futtatása NVIDIA RTX 3060 GPU-t alkalmaztunk, amely éppen elégségesnek bizonyult ahhoz, hogy a feldolgozás 30 Hz (30 fps) sebességgel valósuljon meg, azonban a rendszer teljesítménye erősebb GPU alkalmazásával tovább növelhető.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

6.1. Döntések a hipotézisekről

Eredményeink alapján az alábbi megállapításokat tesszük a hipotéziseket illetően:

1. *A hosszútávon végzett sporttevékenység jellege alapján eltérés található az egyének vizuális és vesztibuláris ingerekre való támaszkodásában az állásstabilitás és egyensúlymegtartás szempontjából.*

A hipotézist elfogadjuk. A döntésünket alátámasztja, hogy eredményeink alapján megállapítottuk, hogy míg a dominánsan (D) forgó, csavaró sportmozgást végző sportolók csoportjának tagjai érzékenyebben reagáltak a vizuális inger kiiktatására, addig a dominánsan nem (ND) forgó, csavaró mozgást végző sportolók csoportjának tagjai a vesztibuláris rendszer megzavarására voltak szenzitívebbek az egyensúlymegtartás során.

2. *A tornagyakorlatok végzése során történő végtag elmozdulás számszerű vizuális megjelenítése javítja a gyakorlatok kivitelezésének pontosságát.*

A hipotézist elfogadjuk. Döntésünket alátámasztja, hogy statisztikai elemzéseink során azt az eredményt kaptuk, hogy a valós idejű, számszerűen kifejezett vizuális visszajelzés rendszeres használata jelentősen növelte a tornagyakorlatok végrehajtási pontosságát a vizsgálati csoportokban.

3. *Az okostelefonon futó goniométer applikáció a mirroring technológiával párosítva speciális szenzorként alkalmazható a tornagyakorlatok helyes végrehajtásának felügyeletéhez.*

A hipotézist elfogadjuk. Döntésünket alátámasztja, hogy a testhez rögzített okostelefon képes fokban kifejezve mérni az adott testrészben bekövetkező elmozdulást, aminek vizuális követése javítja a gyakorlatok kivitelezésének pontosságát.

4. *Az OpenPose mesterséges intelligencia alapú, marker nélküli humán pozíciót becslő szoftver numerikus kijelzésre képes új alkalmazásrétege szoros egyezést mutat a Kinovea rendszer mérési eredményeivel.*

A hipotézist elfogadjuk. Döntésünket alátámasztja az eredmény, miszerint az általunk extra réteggel kiegészített OpenPose szoftver a mozgáselemzésben általánosan használt Kinovea szoftverrel a párosított t-próba alapján nem mutatott szignifikáns különbséget a vizsgált gyakorlatok során ($Ave = 0,33 \pm 2,29^\circ$).

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az egészségügyi rendszerek és tudományos megközelítések globális szinten egyaránt változnak. A folyamat során a páciensközpontú, személyre szabott ellátás került előtérbe, amit elsősorban az internethasználat által elérhető gyors információáramlásnak köszönhetünk, hiszen megnőtt a páciensek egészségügyi tájékozottsága. A mai egészségügyi rendszernek számos problémával kell megküzdenie: többek között az ellátáshoz való hozzáférés egyenlőtlenségeivel, speciális helyzetekkel (COVID-19), az előregedő népesség és krónikus betegek számának emelkedésével, munkaerőhiánnyal. Ezek okozta kielégítetlen igények feloldására alternatív megoldások szükségesek mind a páciensek, mind az egészségügyi szakemberek igényeihez igazodva, annak érdekében, hogy javulhasson az ellátás minősége és hatékonysága. Különösen nagy hangsúlyt kell fektetnünk a mozgásszervi megbetegedések ellátására, hiszen a krónikus túlterhelésből, ülő vagy mozgásszegény életmódból adódó életminőséget nagyban befolyásoló neuromuszkuláris sérülések és mozgásszervi rendellenességek a társadalom nagy részét érintik. A páciensek folyamatos ellátása és kontrollja elengedhetetlen a progresszió vagy szinten tartás érdekében. Az ugrásszerű technológiai fejlődés és az infokommunikációs platformok új ellátási lehetőségeket és formákat tesznek elérhetővé a szakemberek számára.

Első kutatásunkban megállapításra került, hogy a vizuális visszajelzés rendkívül fontos az állásstabilitás és egyensúly megtartásához, amely alapját jelenti a betanult fizioterápiás protokollok pontos végrehajtásának. Ehhez kapcsolódóan infokommunikációs eszközök bevonásával egy okostelefonos és egy mesterséges intelligencia alapú vizuális visszajelzésre fókuszáló mozgáskövető módszert teszteltünk eredményesen.

Összegezve a doktori disszertáció tartalmát, infokommunikációs technológiát érintő kutatásaink olyan innovatív eredményeket prezentálnak a mozgáskövetésben, melyek további fejlesztések alapját, valamint mozgásszervi rehabilitációs távollátási módszerek kidolgozását és napi rutinba illesztését támogatják hozzájárulva ezzel az ellátás minőségének, hatékonyságának és hatásosságának javításához.

7.1. Summary

The healthcare system and scientific approaches are changing globally. During the process, patient-centered, personalized care came to the fore, which is primarily due to the rapid flow of information available through the use of the Internet, as it increased patients' need for self-care and health awareness. Today's healthcare system has to deal with many problems: among others, inequalities in access to care, special situations (COVID-19), an aging population and an increase in the number of patients with chronic diseases, and labor shortages. To resolve the unsatisfied needs caused by these, alternative solutions must be developed in line with the needs of both patients and healthcare professionals to maximize the quality and efficiency of care. We must emphasize the care of locomotor diseases since a large part of society is affected by neuromuscular injuries and locomotor disorders that greatly affect the quality of life resulting from chronic overload, a sedentary or sedentary lifestyle. Continuous care and control of patients are essential for progression or maintenance. Rapid technological development and infocommunication platforms open the way for professionals to new supply options and forms. In our first study, we found that visual feedback is extremely important for maintaining postural stability and balance, which is essential for the accurate execution of learned physiotherapy protocols. In connection with this, we successfully tested two motion-tracking methods focusing on visual feedback—one using smartphone and another based on artificial intelligence—both incorporating infocommunication technologies.

To summarize the content of the doctoral dissertation, our research on information and communication technology presents innovative results in support of musculoskeletal rehabilitation, which form the basis for further developments, as well as the development of care methods and their integration into daily routine, thereby contributing to improving the quality and efficiency of care.

8. IRODALOMJEGYZÉK

- Al-Dmour H, Masa'deh R, Salman A, Abuhashesh M, Al-Dmour R. (2020) Influence of social media platforms on public health protection against the COVID-19 pandemic via the mediating effects of public health awareness and behavioral changes: integrated Model. *J Med Internet Res*, 22(8):e19996. DOI: 10.2196/19996
- Al-Rahmi WM, Alzahrani AI, Yahaya N, Alalwan N, Kamin YB. (2020) Digital communication: Information and communication technology (ICT) usage for education sustainability. *Sustainability*, 12(12):5052. DOI: 10.3390/su12125052
- Asimakopoulos S, Asimakopoulos G, Spillers F (2017) Motivation and user engagement in fitness tracking: heuristics for mobile healthcare wearables. *Informatics*, 4(1):5. DOI: 10.3390/informatics4010005
- Averell E, Knox D, van Wijck F. (2022) A real-time algorithm for the detection of compensatory movements during reaching. *J Rehabil Assist Technol Eng*, 9. DOI: 10.1177/20556683221117085
- Bánhalmi A, Borbás J, Fidrich M, Bilicki V, Gingl Z, Rudas L. (2018) Analysis of a pulse rate variability measurement using a smartphone camera. *J Healthc Eng*, 5;2018:4038034. DOI: 10.1155/2018/4038034
- Bíró A, Prinz D. (2020) Healthcare spending inequality: Evidence from Hungarian administrative data, *Health Policy*, 124(3):282-290. DOI: 10.1016/j.healthpol.2020.01.006
- Bourouis A, Zerdazi A, Feham M, Bouchachia A. (2013) M-health: skin disease analysis system using smartphone's camera. *Procedia Comput. Sci*, 19:1116-1120. DOI: 10.1016/j.procs.2013.06.157
- Bruyneel AV, Bertrand MS, Mesure S. (2018) Influence of foot position and vision on dynamic postural strategies during the “grand plié” ballet movement (squatting) in young and adult ballet dancers. *Neurosci Lett*, 678:22-28. DOI: 10.1016/j.neulet.2018.04.046

- Caballero C, Barbado D, Moreno FJ. (2015) What COP and kinematic parameters better characterize postural control in standing balance tasks? *J Mot Behav*, 47(6):550. DOI: 10.1080/00222895.2015.1014545
- Cao Z, Simon T, Wei SE, Sheikh Y. (2017) Realtime Multi-person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Honolulu, HI, USA, 1302-1310. DOI: 10.1109/CVPR.2017.143
- Caraceni A, Pellegrini C, Shkodra M, Zecca E, Bracchi P, Lo Dico S, Caputo M, Zappata S, Zito E, Brunelli C. (2022) Telemedicine for outpatient palliative care during COVID-19 pandemics: a longitudinal study. *BMJ Support Palliat Care*. DOI: 10.1136/bmjspcare-2022-003585
- Cerit M, Dalip M, Yildirim DS. (2020) Genetics and athletic performance. *Res Phys Educ Sport Health*, 9(2):65-76. DOI: 10.46733/PESH20920065c
- Chan MHM, Keung DTF, Lui SYTT, Cheung RTH. (2016) A validation study of a smartphone application for functional mobility assessment of the elderly. *Hong Kong Physiother J*, 35:1–4. DOI: 10.1016/j.hkpj.2015.11.001
- Chang CY, Lange B, Zhang M, Koenig S, Requejo P, Somboon N, Sawchuk A, Rizzo A. (2012) Towards pervasive physical rehabilitation using microsoft kinect. In: *PervasiveHealth*, 159–162. DOI: 10.4108/icst.pervasivehealth.2012.248714
- Chang YJ, Han WY, Tsai YC. (2013) A Kinect-based upper limb rehabilitation system to assist people with cerebral palsy. *Res Dev Disabil*, 34(11):3654–3659. DOI: 10.1016/j.ridd.2013.08.021
- Chiari L, Rocchi L, Cappello A. (2002) Stabilometric parameters are affected by anthropometry and foot placement. *Clin Biomech*, 17(9): 666-77. DOI: 10.1016/s0268-0033(02)00107-9
- Chiu YL, Tsai YJ, Lin CH, Hou YR, Sung WH. (2017) Evaluation of a smartphone-based assessment system in subjects with chronic ankle instability. *Comput Methods Programs Biomed*, 139:191–195. DOI: 10.1016/j.cmpb.2016.11.005
- Chung H, Ko H, Thap T, Jeong C, Noh SE, Yoon KH, Lee J. (2016) Smartphone-based cardiac rehabilitation program: Feasibility study. *PLoS One*, 23;11(8):e0161268. DOI: 10.1371/journal.pone.0161268

- Chung JL, Ong LY, Leow MC. (2022) Comparative Analysis of Skeleton-Based Human Pose Estimation. *Future Internet*, 14(12):380. DOI: 10.3390/fi14120380
- Colyer SL, Evans M, Cosker DP, Salo AIT. (2018) A review of the evolution of vision-based motion analysis and the integration of advanced computer vision methods towards developing a markerless system. *Sports Med Open*, 5(4):24. DOI: 10.1186/s40798-018-0139-y
- Cowie MR, Blomster JJ, Curtis LH, Duclaux S, Ford I, Fritz F, Goldman S, Janmohamed S, Kreuzer J, Leenay M, Michel A, Ong S, Pell JP, Southworth MR, Stough WG, Thoenes M, Zannad F, Zalewski A (2017) Electronic health records to facilitate clinical research. *Clin Res Cardiol*, 106(1):1-9. DOI: 10.1007/s00392-016-1025-6
- Davlin CD. (2004) Dynamic balance in high level athletes. *Percept Mot Skills*, 98(3 Pt 2):1171-6. DOI: 10.2466/pms.98.3c.1171-1176
- Dawson L, McErlain-Naylor SA, Devereux G, Beato M. (2024) Practitioner usage, applications, and understanding of wearable GPS and accelerometer technology in team sports. *J Strength Cond Res*, 38(7):e373-e382. DOI: 10.1519/JSC.0000000000004781
- de Mello MC, de Sá Ferreira A, Felicio LR. (2017) Postural control during different unipodal positions in professional ballet dancers. *J Dance Med Sci*, 21(4):151-155. DOI: 10.12678/1089-313X.21.4.151
- Debnath B, O'Brien M, Yamaguchi M, Behera A. (2022). A review of computer vision-based approaches for physical rehabilitation and assessment. *Multimed Syst*, 28:209–239. DOI: 10.1007/s00530-021-00815-4
- Denadai R. COVID-19 Pandemic as a driver for spreading virtual care globally: The future starts now. *Clinics (Sao Paulo)*, 2020;75:e1967. DOI: 10.6061/clinics/2020/e1967
- Digital Health Europe, 2021. Report on the 2021 Digital Health Europe Summit. Retrieved on September 2, 2022 from: <https://digitalhealtheurope.eu/>
- Durve I, Ghuge S, Patil S, Kalbande D. (2019) Machine learning approach for physiotherapy assessment. *International Conference on Advances in Computing*,

- Communication and Control (ICAC3), 1-5. DOI: 10.1109/ICAC347590.2019.9036783
- Dutta T. (2012) Evaluation of the Kinect™ sensor for 3-D kinematic measurement in the workplace. *Appl Ergon*, 43(4):645–649. DOI: 10.1016/j.apergo.2011.09.011
- Elwardany SH, El-Sayed WH, Ali MF. (2015) Reliability of Kinovea computer program in measuring cervical range of motion in sagittal plane. *Open Access Libr. J*, 2:68651. DOI: 10.4236/oalib.1101916
- Engebretsen M. (2024) The role, impact, and responsibilities of health experts on social media. A focus group study with future healthcare workers. *Front. Commun.* 9:1296296. DOI: 10.3389/fcomm.2024.1296296
- Evenson KR, Goto MM, Furberg RD. (2015) Systematic review of the validity and reliability of consumer-wearable activity trackers. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 18:12:159. DOI: 10.1186/s12966-015-0314-1
- Faber M, Andersen MH, Sevel C, Thorborg K, Bandholm T, Rathleff M. (2015) The majority are not performing home-exercises correctly two weeks after their initial instruction-an assessor-blinded study. *PeerJ*, 3:e1102. DOI: 10.7717/peerj.1102
- Ferguson T, Frydman G. (2004) The first generation of e-patients. *BMJ*, 15:328(7449):1148-9. DOI: 10.1136/bmj.328.7449.1148
- Gaal P, Velkey Z, Szerencses V, Webb E. (2021) The 2020 reform of the employment status of Hungarian health workers: Will it eliminate informal payments and separate the public and private sectors from each other? *Health Policy*, 125(7):833-840. DOI: 10.1016/j.healthpol.2021.04.014
- Galna B, Jackson D, Schofield G, McNaney R, Webster M, Barry G, Mhiripiri D, Balaam M, Olivier P, Rochester L. (2014) Retraining function in people with Parkinson's disease using the Microsoft kinect: game design and pilot testing. *J Neuroeng Rehabil*, 14:11:60. DOI: 10.1186/1743-0003-11-60
- Ginis P, Nieuwboer A, Dorfman M., Ferrari A, Gazit E, Canning CG, Rocchi L, Chiari L, Hausdorff JM, Mirelman A. (2016) Feasibility and effects of home-based smartphone-delivered automated feedback training for gait in people with Parkinson's

- disease: A pilot randomized controlled trial. *Parkinsonism Relat Disord*, 22:28–34. DOI: 10.1016/j.parkreldis.2015.11.004
- Girasek E, Boros J, Döbrössy B, Susánszky A, Györfly Z. (2022) E-páciensek Magyarországon: Digitális egészséggel kapcsolatos ismeretek, szokások egy országos reprezentatív felmérés tükrében. *Orv Hetil*, 17;163(29):1159-1165. DOI: 10.1556/650.2022.32512
- Glynn LG, Hayes PS, Casey M, Glynn F, Alvarez-Iglesias A, Newell J, Ólaighin G, Heaney D, Murphy AW. (2013) SMART MOVE - a smartphone-based intervention to promote physical activity in primary care: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 29;14:157. DOI: 10.1186/1745-6215-14-157
- Greve J, Alonso A, Bordini AC, Camanho GL. Correlation between body mass index and postural balance. *Clinics*, 62(6):717-720. DOI: 10.1590/s1807-59322007000600010
- Guzmán-Valdivia CH, Blanco-Ortega A, Oliver-Salazar MA, Carrera-Escobedo JL. (2013) Therapeutic motion analysis of lower limbs using Kinovea. *Int J Comput Eng*, 3(2):359–65. Corpus ID: 6450999
- Hain TC, Helminski J. Anatomy and physiology of the normal vestibular system. In: Herdman SJ, Clendaniel RA (szerk), *Vestibular rehabilitation* (4. kiadás), FA Davis Company, Philadelphia, 2014: 2-19.
- Han J, Anson J, Waddington G, Adams R, Liu Y (2015) The role of ankle proprioception for balance control in relation to sports performance and injury. *Biomed Res Int*, 2015:842804. DOI: 10.1155/2015/842804
- Hayes DF, Markus HS, Leslie RD, Topol EJ. (2014) Personalized medicine: risk prediction, targeted therapies and mobile health technology. *BMC Med*, 28;12:37. DOI: 10.1186/1741-7015-12-37
- Heidt C, Vrankovic M, Mendoza A, Hollander K, Dreher T, Rueger M. (2021) Simplified digital balance assessment in typically developing school children. *Gait Posture*, 84:389-394. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2021.01.005
- Henry M, Baudry S. (2019) Age-related changes in leg proprioception: implications for postural control. *J Neurophysiol*, 122(2):525-538. DOI: 10.1152/jn.00067.2019

- Hensley CP, Lenihan EM, Pratt K, Shah A, O'Donnell E, Nee PC, Lee J, Yang A, Chang AH. (2021) Patterns of video-based motion analysis use among sports physical therapists. *Phys Ther Sport*, 50:159-165. DOI: 10.1016/j.ptsp.2021.05.003
- Horak FB, Macpherson JM. Postural orientation and equilibrium. In: Rowell LB, Shepard JT (szerk), *Handbook of Physiology: Section 12, Exercise Regulation and Integration of Multiple Systems*. Oxford University, New York, 1996; 255–92.
- Hrysomallis C. (2011). Balance Ability and Athletic Performance. *Sports Medicine*, 41(3), 221–232. DOI: 10.2165/11538560-000000000-00000
- Hurley OA. Part I./2. Types of Technology Commonly used in Sport. In: *Sport Cyberpsychology*. Routledge; 2018.
- Hyppönen H. (2008) Towards a joint view of the European eHealth priorities: SWOT analysis of patient empowerment and patient summary activities in Europe. *Stakes Reports*, Helsinki (<https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/76973/R15-2008-VERKKO.pdf?sequence1>)
- Ikbali Afsar S, Mirzayev I, Yemisci OU, Cosar Saracgil SN. (2018) Virtual reality in upper extremity rehabilitation of stroke patients: A randomized controlled trial. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 27(12):3473-3478. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2018.08.007
- Istepanian RSH. (2022). Mobile health (m-Health) in retrospect: The known unknowns. *Int J Environ Res Public Health*, 22;19(7):3747. DOI: 10.3390/ijerph19073747
- Ivanenko Y, Gurfinkel VS. (2018) Human postural control. *Front Neurosci*, 20(12):171. DOI: 10.3389/fnins.2018.00171
- Iwasaki S, Yamasoba T. (2014) Dizziness and Imbalance in the Elderly: Age-related Decline in the Vestibular System. *Aging Dis*, 9;6(1):38-47. DOI: 10.14336/AD.2014.0128
- Jenny JY, Bureggah A, Diesinger Y. (2016) Measurement of the knee flexion angle with smartphone applications: Which technology is better? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 24(9):2874-2877. DOI: 10.1007/s00167-015-3537-4.

- Jirasakulsuk N, Saengpromma P, Khruakhorn S. (2022) Real-Time Telerehabilitation in Older Adults With Musculoskeletal Conditions: Systematic Review and Meta-analysis. *JMIR Rehabil Assist Technol*, 9(3):e36028. DOI: 10.2196/36028.
- Takakusaki K. (2017) Functional neuroanatomy for posture and gait control. *J Mov Disord*, 10(1):1-17. DOI: 10.14802/jmd.16062
- Takeda I, Yamada A, Onodera H. (2021) Artificial Intelligence-Assisted motion capture for medical applications: a comparative study between markerless and passive marker motion capture. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, 24(8):864-873. DOI: 10.1080/10255842.2020.1856372
- Kaba R, Sooriakumaran P. (2007) The evolution of the doctor-patient relationship. *Int J Surg*, 5(1):57-65. DOI: 10.1016/j.ijssu.2006.01.005
- Kao CK, Liebovitz DM. (2017) Consumer mobile health apps: current state, barriers, and future directions. *PM&R*, 9:S106–S115. DOI: 10.1016/j.pmrj.2017.02.018
- Kernozek T, Schiller M, Rutherford D, Smith A, Durall C, Almonroeder TG. (2020) Real-time visual feedback reduces patellofemoral joint forces during squatting in individuals with patellofemoral pain. *Clin Biomech*, 77:105050. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2020.105050
- Kiers H, van Dieën J, Dekkers H, Wittink H, Vanhees L. (2013) A systematic review of the relationship between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance. *Sports Med*, 43(11):1171-89. DOI: 10.1007/s40279-013-0082-5
- Kim JH, Hong H, Lee K, Jeong Y, Ryu H, Kim H, Jang SH, Park HK, Han JY, Park HJ, Bae H, Oh BM, Kim WS, Lee SY, Lee SU. (2024) AI in evaluating ambulation of stroke patients: severity classification with video and functional ambulation category scale. *Top Stroke Rehabil*, 6:1-9. DOI: 10.1080/10749357.2024.2359342
- Kopper B, Zsarnóczky-Dulházi F, Rácz L, Langmár G, Lelbach Á. (2021) Ergométerek használata az időskori fizikai aktivitás vizsgálatában és az időskori teljesítmény diagnosztikában. *Idősgyógy*. 6(3-4):110-113.
- Kruszyńska-Fischbach A, Sysko-Romańczuk S, Napiórkowski TM, Napiórkowska A, Kozakiewicz D. (2022) Organizational e-Health readiness: How to prepare the primary

- healthcare providers' services for digital transformation. *Int J Environ Res Public Health*, 27;19(7):3973. DOI: 10.3390/ijerph19073973
- Ku PX, Abu Osman NA, Yusof A, Wan Abas WA (2012). Biomechanical evaluation of the relationship between postural control and body mass index. *J Biomech*, 1;45(9):1638-42. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2012.03.029
- Kumar S, Nilsen W, Pavel M, Srivastava M. (2013) Mobile health: Revolutionizing healthcare through transdisciplinary research. *Computer*, 1(1), 28–35. DOI: 10.1109/MC.2012.392
- Landry MD, Geddes L, Moseman AP, Lefler JP, Raman SR, Wijchen J. (2020) Early reflection on the global impact of COVID19, and implications for physiotherapy. *Physiother*, 107:A1-3. DOI: 10.1016/j.physio.2020.03.003
- Lange B, Chang CY, Suma E, Newman B, Rizzo AS, Bolas M. (2011) Development and evaluation of low cost game-based balance rehabilitation tool using the Microsoft Kinect sensor. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2011:1831-4. DOI: 10.1109/IEMBS.2011.6090521
- Lee WW, Yen SC, Tay A, Zhao Z, Xu TM, Ling KK, Ng YS, Chew E, Cheong AL, Huat GK. (2014) A Smartphone-Centric System for the Range of Motion Assessment in Stroke Patients. *IEEE J Biomed Health Inform*. 18(6):1839–1847. DOI: 10.1109/JBHI.2014.2301449
- Lelbach A, Szedlacsek Zs. (2020) Nem várt fordulat 2020 tavaszán – a Covid-19 járvány hatása a geriátriai ellátást is érintő felgyorsult digitalizációra – a telemedicina elterjedése. *Idősgyógy*, 5:26–28. DOI: 10.1556/2066.2021.00049
- Lin PC, Chen YJ, Chen WS, Lee YJ. (2022) Automatic real-time occupational posture evaluation and select corresponding ergonomic assessments. *Sci Rep*, 8;12(1):2139. DOI: s41598-022-05812-9
- Lunde P, Nilsson BB, Bergland A, Kværner KJ, Bye A. (2018) The Effectiveness of smartphone apps for lifestyle improvement in noncommunicable diseases: systematic review and meta-Analyses. *J Med Internet Res*, 4;20(5):e162. DOI: 10.2196/jmir.9751

- Ma Y, Zhao C, Zhao Y, Lu J, Jiang H, Cao Y, Xu Y. (2022) Telemedicine application in patients with chronic disease: a systematic review and meta-analysis. *BMC Med Inform Decis Mak*, 22(1):105. DOI: 10.1186/s12911-022-01845-2.
- Mackey T, Baur C, Eysenbach G. (2022) Advancing infodemiology in a digital intensive era. *JMIR Infodemiology*, 14;2(1):e37115. DOI: 10.2196/37115
- Majumder S, Deen MJ. (2019) Smartphone sensors for health monitoring and diagnosis. *Sensors (Basel)*, 19: 2164. DOI: 10.3390/s19092164
- Matera G, Boonyasirikool C, Saggini R, Pozzi A, Pegoli L. (2016) The new smartphone application for wrist rehabilitation. *J Hand Surg Asian Pac*, 21(1):2–7. DOI: 10.1142/S2424835516400014
- Matsuda T, Fujino Y, Makabe H, Morisawa T, Takahashi T, Kakegawa K, Matsumoto T, Kiyohara T, Torimoto Y, Miwa M, Fujiwara T, Daida H. (2024) Validity verification of human pose-tracking algorithms for gait analysis capability. *Sensors (Basel)*, 14;24(8):2516. DOI: 10.3390/s24082516.
- Metcalf CD, Robinson R, Malpass AJ, Bogle TP, Dell TA, Harris C, Demain SH. (2013) Markerless motion capture and measurement of hand kinematics: Validation and application to home-based upper limb rehabilitation. *IEEE TBME*, 60(8):2184–2192. DOI: 10.1109/TBME.2013.2250286
- Mills K. (2015) Motion analysis in the clinic: There’s an app for that. *J Physioter*, 61(1): 49–50. DOI: 10.1016/j.jphys.2014.11.014
- Mohd Zaid NN, Ahmad NA, Abd Rauf MF, Zainal A, Abdul Razak FH, Tengku Shahdan TS, Pek LS. (2023). Elderly and their barriers to accepting and learning to use technology: A scoping review. *Masyarakat, Kebudayaan dan Politik*. 36. 1-17. DOI: 10.20473/mkp.V36I12023.1-17
- Moral-Munoz JA, Zhang W, Cobo MJ, Herrera-Viedma E, Kaber DB. (2021) Smartphone-based systems for physical rehabilitation applications: A systematic review. *Assist Technol*, 4;33(4):223-236. DOI: 10.1080/10400435.2019.1611676
- Muniz-Pardos B, Angeloudis K, Guppy FM, Keramitsoglou I, Sutehall S, Bosch A, Tanisawa K, Hosokawa Y, Ash GI, Schobersberger W, Grundstein AJ, Casa DJ, Morrissey MC, Yamasawa F, Zelenkova I, Racinais S, Pitsiladis Y. (2021) Wearable

- and telemedicine innovations for Olympic events and elite sport. *J Sports Med Phys Fitness*, 61(8):1061-1072. DOI: 10.23736/S0022-4707.21.12752-5
- Nam SM, Lee DY. (2022) Effects of visual cue deprivation balance training with head control on balance and gait function in stroke patients. *Medicina*, 58(5):629. DOI: 10.3390/medicina58050629
- Nascimento LMSD, Bonfati LV, Freitas MB, Mendes Junior JJA, Siqueira HV, Stevan SL Jr. (2020) Sensors and Systems for Physical Rehabilitation and Health Monitoring- A Review. *Sensors (Basel)*, 20(15):4063. DOI: 10.3390/s20154063
- Nigmatullina Y, Hellyer PJ, Nachev P, Sharp DJ, Seemungal BM. (2015) The neuroanatomical correlates of training-related perceptuo-reflex uncoupling in dancers *Cereb Cortex*, 25(2):554-562. DOI: 10.1093/cercor/bht266
- Nitayarak H, Charntaraviroj P. (2021) Effects of scapular stabilization exercises on posture and muscle imbalances in women with upper crossed syndrome: A randomized controlled trial. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 34(6):1031-1040. DOI: 10.3233/BMR-200088
- Nor Adnan NM, Ab Patar MNA, Lee H, Yamamoto SI, Jong-Young L, Mahmud J. (2018) Biomechanical analysis using Kinovea for sports application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 342:012097. DOI: 10.1088/1757-899X/342/1/012097
- Ota M, Tateuchi H, Hashiguchi T, Kato T, Ogino Y, Yamagata M, Ichihashi N. (2020) Verification of reliability and validity of motion analysis systems during bilateral squat using human pose tracking algorithm. *Gait Posture*, 80:62-67. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2020.05.027
- Pan X, Hou Y, Wang Q. (2023) Are we braver in cyberspace? Social media anonymity enhances moral courage, *Comput Hum Behav*, 148(2):107880. DOI: 10.1016/j.chb.2023.107880
- Park KW, Lee EJ, Lee JS, Jeong J, Choi N, Jo S, Jung M, Do JY, Kang DW, Lee JG, Chung SJ. (2021) Machine learning-based automatic rating for cardinal symptoms of Parkinson disease. *Neurology*, 30;96(13):e1761-e1769. DOI: 10.1212/WNL.00000000000011654

- Pavlik G. *Élettan-sportélettan*. Medicina könyvkiadó, Budapest, 2013:126.
- Pearl O, Shin S, Godura A, Bergbreiter S, Halilaj E. (2023) Fusion of video and inertial sensing data via dynamic optimization of a biomechanical model. *J Biomech*, 155:111617. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2023.111617
- Pérez MR, Solana RS, Murillo DB, Hernández FJM, (2014) Visual availability, balance performance and movement complexity in dancers. *Gait Posture*, 40(4):556-560. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2014.06.021
- Pizones J, Moreno-Manzanaro L, Pupak A, Núñez-Pereira S, Larrieu D, Boissiere L, Richner-Wunderlin S, Loibl M, Zulemyan T, Yücekul A, Zgheib S, Charles YP, Chang DG, Kleinstueck F, Obeid I, Alanay A, Sánchez Pérez-Grueso FJ, Pellisé F, on behalf of the ESSG. (2024) Reliability of a new digital tool for photographic analysis in quantifying body asymmetry in scoliosis. *J Clin Med*, 13(7):2114. DOI: 10.3390/jcm13072114
- Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ, Paul JP. (2000) What is balance? *Clin Rehabil*, 14(4):402-406. DOI: 10.1191/0269215500cr342oa
- Puig-Diví A, Escalona-Marfil C, Padullés-Riu JM, 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*, 5;14(6):e0216448. DOI: 10.1371/journal.pone.0216448
- Reich S, Zhang D, Kulvicius T, Bölte S, Nielsen-Saines K, Pokorny FB, Peharz R, Poustka L, Wörgötter F, Einspieler C, Marschik PB. (2021) Novel AI driven approach to classify infant motor functions. *Sci Rep*, 10;11(1):9888. DOI: 10.3390/jcm12103576
- Riach CL, Starkes JL. (1989) Visual fixation and postural sway in children. *J Mot Behav*, 21(3):265-76. DOI: 10.1080/00222895.1989.10735481
- Richlan F, Weiß M, Kastner P, Braid J. (2023) Virtual training, real effects: a narrative review on sports performance enhancement through interventions in virtual reality. *Front Psychol*, 19;14:1240790. DOI: 10.3389/fpsyg.2023.1240790

- Roijezon U, Clark NC, Treleaven J. (2015) Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 1: basic science and principles of assessment and clinical interventions, *Man Ther*, 20(3):368-377. DOI: 10.1016/j.math.2015.01.008
- Saiki Y, Kabata T, Ojima T, Kajino Y, Inoue D, Ohmori T, Yoshitani J, Ueno T, Yamamuro Y, Taninaka A, Kataoka T, Kubo N, Hayashi S, Tsuchiya H. (2023) Reliability and validity of OpenPose for measuring hip-knee-ankle angle in patients with knee osteoarthritis. *Sci Rep*, 25;13(1):3297. DOI: s41598-023-30352-1
- Saiki Y, Kabata T, Ojima T, Kajino Y, Kubo N, Tsuchiya H. (2023) Reliability and validity of pose estimation algorithm for measurement of knee range of motion after total knee arthroplasty. *Bone Joint Res*, 8;12(5):313-320. DOI: 10.1302/2046-3758.125.BJR-2022-0257.R1
- Sallai Gy, Abos I, Kósa Zs, Magyar G. (2009) Az infokommunikációs konvergencia dimenziói. *Híradástechnika*, 1945(LXIV):17-22.
- Saputra MRU, Widyawan W, Putra GD, Santosa PI. (2012) Indoor human tracking application using multiple depth-cameras. 4th International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems 2012, Depok, Indonesia, 307-312.
- Sass M, Feko A. (2011) The Emergence of Telemedicine and e-Health in Hungary. *Telemedicine and e-Health*, 17(5):388–395. DOI: 10.1089/tmj.2010.0168
- Shin HJ, Kim SH, Cho HY. (2023) The effect of types of sensory feedback on the acquisition and retention of squat performance: A randomized, double-blind, controlled trial. *Scand J Med Sci Sports*, 34(1):e14531. DOI: 10.1111/sms.14531
- Sivaprakash A, Rajan SNE, Selvaperumal S. (2019) Privacy protection of patient medical images using digital watermarking technique for e-healthcare system. *Curr Med Imaging Rev*, 15(8):802-809. DOI: 10.2174/1573405615666190408115158
- Spanos S, Kanellopoulos A, Petropoulakos K, Dimitriadis Z, Siasios I, Poulis I. (2023) Reliability and applicability of a low-cost, camera-based gait evaluation method for clinical use. *Expert Rev Med Devices*, 20(1):63-70. DOI: 10.1080/17434440.2023.2171289

- Speers RA, Kuo AD, Horak FB. (2002) Contributions of altered sensation and feedback responses to changes in coordination of postural control due to aging. *Gait Posture*, 16(1):20-30. DOI: 10.1016/s0966-6362(02)00003-6
- Starcevic V, Aboujaoude E. (2015) Cyberchondria, cyberbullying, cybersuicide, cybersex: “new” psychopathologies for the 21st century? *World Psychiatry*, 14:97–100. DOI: 10.1002/wps.20195
- Su CJ, Chiang, CY, Huang YY, (2014) Kinect-enabled home-based rehabilitation system using dynamic time warping and fuzzy logic. *Appl Soft Comput*, 22:652-666. DOI: 10.1016/j.asoc.2014.04.020
- Sucar LE, Luis R, Leder R, Hernández J, Sánchez I. (2010) Gesture therapy: A vision-based system for upper extremity stroke rehabilitation. 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology, Buenos Aires, Argentina, 3690-3693. DOI: 10.1109/IEMBS.2010.5627458
- Sutton RT, Pincock D, Baumgart DC, Sadowski DC, Fedorak RN, Kroeker KI. (2020) An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success. *NPJ Digit Med*, 6;3:17. DOI: 10.1038/s41746-020-0221-y
- Szabo DA, Neagu N, Teodorescu S, Apostu M, Predescu C, Pârvu C, Veres C. (2023) The role and importance of using sensor-based devices in medical rehabilitation: A literature review on the new therapeutic approaches. *Sensors*, 23(21):8950. DOI: 10.3390/s23218950
- Szivós E, Hegedűs M, Balogh S, Zsarnóczky-Dulházi F, Gyurkó Á, Dávid LD. (2024) Impact of changes of hospital integrations spanning a decade in Hungary: Modern diagnostic services: CT care based on a Hungarian sample. *J Infrac. Policy. Dev.* 8(6). DOI: 10.24294/jipd.v8i6.4215
- Tack C. (2019) Artificial intelligence and machine learning, applications in musculoskeletal physiotherapy. *Musculoskelet Sci Pract*, 39:164-169. DOI: 10.1016/j.msksp.2018.11.012
- Tamburini P, Storm F, Buckley C, Bisi M, Stagni Rita, Mazzà C. (2017) Moving from laboratory to real life conditions: Influence on the assessment of variability and stability of gait. *Gait & Posture*. 59. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.10.024.

- Ulaşlı AM, Türkmen U, Toktaş H Solak O. (2014) The complementary role of the Kinect virtual reality game training in a patient with metachromatic leukodystrophy. *PMR*, 6(6):564-7. DOI: 10.1016/j.pmrj.2013.11.010
- Viola P, Jones MJ. (2004) Robust real-time face detection. *Int. J. Comput. Vision*, 57(2):137–154. DOI: 10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb
- Viswakumar A, Rajagopalan V, Ray T, Gottipati P, Parimi C. (2022) Development of a robust, simple, and affordable human gait analysis system using bottom-up pose estimation with a smartphone camera. *Front Physiol*, 5;12:784865. DOI: 10.3389/fphys.2021.784865
- Vos LA, Prins MR, Kingma I. (2022) Training potential of visual feedback to improve dynamic postural stability. *Gait Posture*, 92:243-248. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2021.11.040
- Wade L, Needham L, McGuigan P, Bilzon J. (2022) Applications and limitations of current markerless motion capture methods for clinical gait biomechanics. *PeerJ*, 25;10:e12995. DOI: 10.7717/peerj.12995
- Washabaugh EP, Shanmugam TA, Ranganathan R, Krishnan C. (2022) Comparing the accuracy of open-source pose estimation methods for measuring gait kinematics. *Gait Posture*, 97:188-195. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2022.08.008
- Wong AM, Hsu CL, Le TV, Hsieh MC, Lin TW. (2020) Three-factor fast authentication scheme with time bound and user anonymity for multi-server e-Health systems in 5G-based wireless sensor networks. *Sensors (Basel)*, 29;20(9):2511. DOI: 10.3390/s20092511
- Wu MY. (2022) Fostering Resilience: Understanding Generational Differences in Information and Communication Technology (ICT) and Social Media Use. *Journal of Communication Technology*. 5. 25-47. DOI: 10.51548/joctec-2022-007.
- Yeadon MR, Pain MTG. (2023) Fifty years of performance-related sports biomechanics research. *J Biomech*, 155:111666. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2023.111666
- Yudi MB, Clark DJ, Tsang D, Jelinek M, Kalten K, Joshi SB, Phan K, Ramchand J, Nasir A, Amerena J, Koshy AN, Murphy AC, Arunothayaraj S, Si S, Reid CM, Farouque O. (2021) Smartphone-based, early cardiac rehabilitation in patients with acute coronary

- syndromes: a randomized controlled trial. *Coron Artery Dis*, 1;32(5):432-440. DOI: 10.1097/MCA.0000000000000938
- Zemková E. (2014) Sport-specific balance. *Sports Med*, 44(5):579-90. DOI: 10.1007/s40279-013-0130-1
- Ziaiee M, Sadeghi H, Karimi MT. (2023) Evaluation of mandibular movements in patients with Bell's palsy using kinematic variables. *Med J Islam Repub Iran*, 8;37:19. DOI: 10.47176/mjiri.37.19
- Zsarnóczky M. (2020) The essence of successful aging: Life quality and well-being, Dr. Martin Zsarnoczky PhD., eBook.
- Zsarnoczky-Dulhazi F, Agod S, Szarka S, Tuza K, Kopper B. (2024a) AI based motion analysis software for sport and physical therapy assessment. *Rev Bras Med Esporte*, 30. DOI: 10.1590/1517-8692202430012022_0020i
- Zsarnóczky-Dulházi F, Kopper B, Zsarnóczky M, Dávid LD. (2021) Civil szervezetek egészségformáló hatása a közösségimédia-platformokon keresztül. *Civil Szemle*, 18(1):27-40.
- Zsarnóczky-Dulházi F, Kopper B, Zsarnóczky M, Dávid LD. (2022a) A közösségi finanszírozás helye és szerepe a mai társadalmakban, különös tekintettel hazánkra és az egészségügyi kiadásokra. *Civil szemle*, 19(1):41-56.
- Zsarnóczky-Dulházi F, Kopper B. (2021) Testhelyzet felismerő szoftver továbbfejlesztési lehetősége a hatékonyabb online mozgásszervi rehabilitáció megvalósulása érdekében. *Rendvédelem (ON-LINE)*, X(1):122-134.
- Zsarnóczky-Dulházi F, Lelbach Á, Rác L, Kopper B. (2020) A digitális innovációk és infokommunikációs eszközök az időskori betegellátásban. *Idősgyógy*. 5(2-3):96-101.
- Zsarnóczky-Dulházi F, Lelbach Á, Rác L, Trzaskoma L, Berkes I, Sümegi T, Kopper B. (2024b) Okostelefon-szenzorokon alapuló technológia alkalmazása az otthoni gyógytorna eredményességének ellenőrzésére. *Orv. Hetil*, 165(7):265-273. DOI: 10.1556/650.2024.32974

Zsarnoczky-Dulhazi F, Zsarnoczky M, Kopper B, Karpati J, Molnar Cs, Adol GFC, David LD. (2023) Promising European research results to improve hospitality in healthcare by eHealth, Int J Manag. 112: 1-5. DOI: 10.1016/j.ijhm.2022.103411

Zsarnoczky-Dulhazi F, Hegedus A, Soldos P, Trzaskoma L, Kopper B. (2022b) Effect of sports background on the visual and vestibular signal processing abilities of athletes Science & Sports, 37(8):798.e1-798.e6. DOI: 10.1016/j.scispo.2021.12.005

Online elérhető hivatkozások

Joo H, Liu H, Tan L, Gui L, Nabbe B, IMT Kanade, Nobuhara S, Sheikh Y. The Panoptic Studio: A Massively Multiview System for Social Motion Capture (in ICCV 2015), 2015.

https://www.cs.cmu.edu/~hanbyulj/panoptic-studio/PanopticStudio_ICCV15.pdf

Kinovea szoftver

<https://www.kinovea.org/>

Nemzeti Jogszabálytár 1997. évi CLIV. Törvény 100. § (1)(2)(4)(5)

<https://njt.hu/jogszabaly/1997-154-00-00.43>

OECD (European Observatory on Health Systems and Policies) Magyarország: Egészségügyi országprofil 2023. OECD Publishing, Paris, 2024.

<https://doi.org/10.1787/5adc0e05-hu>

WHO (World Health Organization) Ethics and governance of artificial intelligence for health. 2021b.

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341996/9789240029200-eng.pdf?sequence=1>

WHO (World Health Organization) Global Strategy on Digital health 2020-2025. 2021a.

<https://www.who.int/docs/default-source/documents/gs4dhdaa2a9f352b0445bafbc79ca799dce4d.pdf>

WHO (World Health Organization) Monitoring and evaluating digital health interventions. 2016.

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/252183/9789241511766-eng.pdf?sequence=1>

WHO (World Health Organization) Recommendations on digital interventions for health system strengthening. 2019.

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/311941/9789241550505-eng.pdf?sequence=31>

9. SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

9.1. Az értekezés témájában megjelent eredeti közlemények

2020.

Zsarnóczky-Dulházi F, Lebach Á, Rác L, Kopper B. (2020) A digitális innovációk és infokommunikációs eszközök az időskori betegellátásban. *Időgyógy.* 5(2-3):96-101.

2021.

Zsarnóczky-Dulházi F, Kopper B. (2021) Testhelyzet felismerő szoftver továbbfejlesztési lehetősége a hatékonyabb online mozgásszervi rehabilitáció megvalósulása érdekében. *Rendvédelem (ON-LINE)*, X(1):122-134

Zsarnóczky-Dulházi F, Kopper B, Zsarnóczky M, Dávid LD. (2021) Civil szervezetek egészségformáló hatása a közösségimédia-platformokon keresztül. *Civil Szemle*, 18(1):27-40.

2022.

Zsarnóczky-Dulházi F, Hegedus A, Soldos P, Trzaskoma L, Kopper B. (2022b) Effect of sports background on the visual and vestibular signal processing abilities of athletes. *Science & Sports*, 37(8):798.e1-798.e6. DOI: 10.1016/j.scispo.2021.12.005

Zsarnóczky-Dulházi F, Kopper B, Zsarnóczky M, Dávid LD. (2022a) A közösségi finanszírozás helye és szerepe a mai társadalmakban, különös tekintettel hazánkra és az egészségügyi kiadásokra. *Civil szemle*, 19(1):41-56.

2023.

Zsarnóczky-Dulházi F, Zsarnóczky M, Kopper B, Karpati J, Molnar Cs, Adol GFC, David LD. (2023) Promising European research results to improve hospitality in healthcare by eHealth, *Int J Manag.* 112: 1-5. DOI: 10.1016/j.ijhm.2022.103411

2024.

Zsarnóczky-Dulházi F, Agod S, Szarka S, Tuza K, Kopper B. (2024a) AI based motion analysis software for sport and physical therapy assessment. Rev Bras Med Esporte, 30. DOI: 10.1590/1517-8692202430012022_0020i

Zsarnóczky-Dulházi F, Lelbach Á, Rácz L, Trzaskoma L, Berkes I, Sümegi T, Kopper B. (2024b) Okostelefon-szenzorokon alapuló technológia alkalmazása az otthoni gyógytorna eredményességének ellenőrzésére. Orv. Hetil, 165(7):265-273. DOI: 10.1556/650.2024.32974

9.2. Nem az értekezés témájában megjelent eredeti közlemények

2018.

Zsarnóczky-Dulházi F, Zsarnóczky M. (2018) Az akadálymentes turizmus, mint rehabilitációs „eszköz”. Pintér Gábor. Arccal vagy háttal a jövőnek?: LX. Georgikon Napok. ISBN:9789639639928 pp.56-61.

9.3. Társszerzős publikációk

2019.

Zsarnóczky M, Zsarnóczky-Dulházi F. (2019) Az egészségügyi applikációk lehetőségei a turizmusban. In: Kátay Á. Turizmus 3.0. 141-153.

2020.

Hegedűs Á, Trzaskoma L, Soldos P, Tuza K, Katona P, Dulházi F, Kopper B. (2020). Adaptation of Fatigue Affected Changes in Muscle EMG Frequency Characteristics for the Determination of Training Load in Physical Therapy for Cancer Patients. POR, 26(2):1129-1135. DOI: 10.1007/s12253-019-00668-3

2021.

Kopper B, Zsarnóczky-Dulházi F, Rácz L, Langmár G, Lebach Á. (2021) Ergométerek használata az időskori fizikai aktivitás vizsgálatában és az időskori teljesítmény diagnosztikában. *Idősgyógy.* 6(3-4):110-113.

2024.

Szivós E, Hegedűs M, Balogh S, Zsarnóczky-Dulházi F, Gyurkó Á, Dávid LD. (2024) Impact of changes of hospital integrations spanning a decade in Hungary: Modern diagnostic services: CT care based on a Hungarian sample. *J Infr. Policy. Dev.* 8(6). DOI:10.24294/jipd.v8i6.4215

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném kifejezni hálámat és köszönetemet mindazoknak, akik támogattak és segítettek a doktori disszertációm elkészítésében.

Különösen szeretném megköszönni témavezetőmnek, **Dr. Kopper Bencének**, aki szakmai iránymutatásával, türelmével és támogató hozzáállásával mindig segített a kutatási folyamat során. Köszönöm, hogy mindig rendelkezésemre állt, és tanácsaival, építő jellegű kritikáival, valamint inspiráló ötleteivel hozzájárult a disszertációm sikeres elkészítéséhez.

Hálás vagyok a **vizsgálatokban résztvevő** személyeknek, akik időt és energiát nem kímélve segítettek a kutatásom lebonyolításában, valamint a **Doktori Iskola vezetőjének, Prof. Dr. Radák Zsoltnak** és a **Kineziológia tanszék dolgozóinak** is, akik biztosították a szükséges tudományos háttérrel és támogatást a kutatásom során.

Nem utolsó sorban szeretném kifejezni köszönetemet **családomnak**, akik türelemmel és megértéssel támogattak a doktori képzésem éve alatt.