

Az alsó végtagi exoskeletonok hatékonyságának
vizsgálata gerincvelősérült betegek
rehabilitációs folyamatában

Doktori értekezés

Shenker Benjámín

Semmelweis Egyetem Doktori Iskola
Operatív Orvostudományi Tagozat



Témavezető:

Dr. Cserhádi Péter, Ph.D., osztályvezető főorvos

Hivatalos bírálók:

Dr. Zsiga Katalin Ph.D., főorvos

Dr. Szita Júlia Ph.D., tudományos munkatárs

Komplex vizsga szakmai bizottság:

Elnök: Dr. Szendrői Miklós, egyetemi tanár,
az MTA doktora,

Tagok: Dr. Zsiga Katalin, Ph.D., főorvos

Dr. Bejek Zoltán, Ph.D., egyetemi adjunktus

Budapest 2025

1. BEVEZETÉS

1.1. Az exoskeletonok története

Az exoskeleton olyan külső váz, amely a testen kívülről tartja, vagy védi egy élőlény testét. Definiálható úgy is, mint egy mesterséges külső váz, egy teherviselő szerkezet, amely helyváltoztatásra képes, és az emberi testet magába foglalja, egyesíti az emberi intelligencia és egy robot erejét. Lehet orvosi felhasználása, amikor a sérült végtagok pótlása vagy működtetése a cél. Katonai funkció esetében a kutatások elsősorban az emberi test teherbírásának növelése irányába folynak. Az ipari felhasználás során a fizikai munkavégzés megkönnyítése érdekében alkalmaznak egyre több helyen exoskeletonokat. Alkalmazások szerinti csoportosításnál megkülönböztethetünk járás rehabilitációra szolgáló, humán mozgás asszisztálás és a fizikai képességek, humán erő kiterjesztésére szolgáló alsó végtagi, illetve felső végtagi exoskeletonokat.

A 20. század végén az exoskeleton technológia kiterjedt a mozgássérült egyének orvosi rehabilitációjának és mobilitási segítségnyújtásának területére. A kutatási kezdeményezések motoros exoskeletonok kifejlesztésére összpontosítottak, hogy segítsenek a gerincvelő-sérülésben, stroke-ban és neuromuszkuláris rendellenességben szenvedőknek állni, járni és mindennapi tevékenységeket végezni.

A 2000-es évektől felgyorsultak a fejlesztések, megnyíltak az utak a kereskedelmi forgalomban lévő exoskeletonok számára is. Az elmúlt években gyors fejlődés tapasztalható az exoskeleton technológiában,

amelyet a miniaturizálás, a továbbfejlesztett működtető rendszerek, valamint a mesterséges intelligencia és az ember-gép interfészek fejlődése vezérel.

1.2. A gerincvelő-sérülés

A gerincvelő a központi idegrendszer része, a fő összeköttetést jelenti az agy és az általa irányított periféria között. Nagy mennyiségben tartalmaz idegsejteket (szürkeállomány), amely sejtek mozgató, érző, vagy a vegetatív funkciókban vesznek részt. A gerincvelő jelentős tömegét az idegrostok alkotják (fehérállomány), amely rostok lehetnek felszállók (érző pályák), amelyek a periféria felől közvetítik az ingerületeket a központ felé, vagy lehetnek leszállók (mozgató pályák), melyek a központi parancsokat továbbítják a célszervek felé. A nyaki (cervicalis) szakaszból leágazó idegek a nyakat, felső végtagokat, légző izmokat, a háti (thoracalis) szakaszból leágazók a törzset, az ágyéki-keresztcsonti (lumbalis, sacralis) szakaszból indulók az alsó végtagokat és a hólyagot, végbélt, nemi szerveket idegzik be.

A gerincvelő-sérülés következményei két dologtól függenek: a sérülés kiterjedésétől, illetve gerincvelői magasságától. Ha a sérülés komplett, akkor teljes bénulás és érzéskiesés várható, ami nem fog javulni. Ha részleges, vagy csak bizonyos sejteket, rostokat érint, akkor van esély a javulásra. Ilyenkor a megmaradt idegrostok és sejtek bizonyos mértékben átvesznek funkciókat, illetve a sérült és működésképtelen, de nem elhalt képletek visszanyerik eredeti állapotukat és működésüket. Erre a folyamatra tud építeni nagy mértékben a rehabilitáció. A kimenetel tekintetében a korábban említett anatómiai

viszonyok miatt rendkívül fontos a sérülés szintje, gerincvelői magassága.

A gerincvelő-sérülésből adódó bénulás esetenként fájdalmas izomfeszüléssel jár, spasticus jellegű. Az érzéskiesés az egész testsémát megváltoztathatja úgy, hogy a beteg az érzéketlen testrészeit idegennek érezheti. A vegetatív kiesések érinthetik a légzést, hőszabályozást, izzadást, ürítési funkciókat, bélmozgást, szexuális tevékenységet.

1.3. A gerincvelő-sérülés epidemiológiája

A gerincvelő sérülése súlyos állapot, amely jelentős fizikai, érzelmi és társadalmi-gazdasági terheket eredményez. Epidemiológiájának megértése kulcsfontosságú a hatékony megelőzési stratégiák kidolgozásához, a kezelési megközelítések javításához és az egészségügyi erőforrások megfelelő elosztásához.

A gerincvelő-sérülés kialakulása traumából vagy nem traumás okokból ered, és a motoros, szenzoros és autonóm funkció részleges vagy teljes elvesztéséhez vezet a sérülés szintje alatt.

Gyakorisága a világ különböző régióiban és populációiban változik. A traumás események, mint például a gépjárműbalesetek, esések, sportsérülések és erőszakos cselekmények, a világ számos részén a gerincvelő-sérülés vezető okai.

A demográfiai tényezők jelentős szerepet játszanak. A fiatal felnőtt férfiak vannak kitéve a legnagyobb kockázatnak a traumás gerincvelő-sérülések elszenvedésére.

A gerincvelő-sérülés prevalenciáját olyan tényezők befolyásolják, mint az orvosi ellátás, a rehabilitációs szolgáltatások fejlődése és a népesség demográfiai változásai.

Globális előfordulását tekintve, 2019-ben a becslések szerint 9 millió gerincvelő-sérüléssel volt világszerte, ami 52,7%-os növekedést jelent az 1990-es becslésekhez képest. Az életkor szerint standardizált előfordulási arány 2019-ben 11,5/100 000 volt. 2024 áprilisi WHO tanulmány szerint több, mint 15 millió ember él gerincvelő-sérüléssel.

1.4. Exoskeletonnal végzett kutatások, kutatási irányok

Az utóbbi években egyre növekvő számú publikáció jelenik meg gerincvelősérült betegek exoskeletonokkal történő járástréning hatásainak vizsgálatára vonatkozóan. Xiang és munkatársai 40 résztvevőnél vizsgálták az exoskeletonnal történő járástréning élettani hatásait, azonban a csontsűrűségben nem találtak változást a vizsgálat előtt és utáni, valamint a kontroll csoport állapota között. Karelis és munkatársainak következtetése szerint az exoskeletonnal történő járástréning összefüggést mutat a testösszetétel és potenciálisan a csontegészség javulásával.

A testösszetételre gyakorolt hatást vizsgálva, számos tanulmány szerint az exoskeletonokat használó edzésprogram hatékonyan megakadályozza a folyamatos izomvesztést.

Rigoli és munkatársai egy átfogó kutatásban vizsgálták az exoskeletonnal történő járástréning hatásait az

energiafelhasználás és testösszetétel tekintetében gerincvelősérült pácienseken. Tíz kutatás eredményeit összegezve azt találták, hogy a robotikus exoskeleton tréning szignifikánsan nem változtat az energiafelhasználáson egyéb terápiákkal szemben. Szignifikáns változást figyeltek meg a testösszetétel adatokban, különösen a zsírtömeg csökkenésében.

A gasztrointesztinális változásokat követték Chun és társai. Közleményükben tíz gerincvelősérült betegnél vizsgálták a gasztrointesztinális funkciók változását exoskeletonnal történő járástréning során. Eredményeik szerint legalább a résztvevők 50%-a számolt be a bélfunkciók javulásáról és a gasztrointesztinális funkciók általános javulásáról.

Életminőségi méréseket végeztek Ilse J.W.van Nes és munkatársai. Az életminőségi mutatók szignifikánsan javultak a vizsgálati időszak után, javulás volt tapasztalható az Short From-36 with Walk Wheel (SF-36ww) aldomaineiken a fájdalom, a szociális működés, a mentális egészség és az általános egészségérzekeles tekintetében. Következtetésképp megállapították, hogy még azoknál a betegeknél is, akiknek az életminőség viszonylag magas szintje volt a kiinduláskor, egy rövid távú exoskeleton tréning javította életminőségüket, fájdalmukat és a hólyagkezeléssel kapcsolatos elégedettségüket.

A Spinal Cord Independence Measure (SCIM) kérdőívet használták Baunsgaard és társai. Célkitűzésük volt a fájdalomban, görcsösségben, mozgástartományban, a mindennapi tevékenységekben, a bél- és alsó húgyúti működésben, valamint a gerincvelő-sérülésben szenvedő egyének életminőségében bekövetkező változások

feltárása robotizált exoskeleton járástréning után. Eredményeik azt mutatták, hogy a résztvevők a gerincvelő függetlenség mértékét (SCIM III) 73-ról 74-re növelték és javult. Konklúziójukban leírták, hogy az edzés nem váltott ki új fájdalmat, a görcsösség egyetlen edzés után csökkent. A SCIM III és az életminőség longitudinálisan nőtt a résztvevők alcsoportjainál.

A törzskontroll és az egyensúly változásait is követték Xiang és társai. Eredményeikben leírják, hogy a kísérleti csoportban javult az erőltetett kilégzési vitálkapacitás, nem találtak különbséget a törzskontroll tesztben, az izomtónusban és a csontsűrűségben.

Többek között a hangulatban bekövetkező változásokat követték Maggie és munkatársai. Elsődleges eredménymérésnek a módosított Body Uneasiness Testet (MBUT) tekintették, a Short-Form-12 Health Status Questionnaire (SF-12) és a Beck-féle depresszió leltár (BDI) másodlagos mérőként került felhasználásra a tréning életminőségre és pszichológiai állapotra gyakorolt hatásának értékelésére. A nem-paraméteres statisztikai elemzés azt mutatta, hogy a két csoport eredményei szignifikánsan különbözött, a vizsgálati csoportba tartozó betegek jelentős javulást értek el szinte minden tesztpontszámában a kontroll csoporthoz képest.

2. CÉLKITŰZÉS

A Pécsi Tudományegyetem 2018-ban nyert el egy európai uniós pályázatot (GINOP-2.3.3-15-2016-00032. számú, „Neurorehabilitáció és Ember-Gép Kapcsolat Kutatási Központ” című pályázat), amely lehetővé tette két

ReWalk 6.0 alsó végtagi exoskeleton beszerzését és egy kutatási projekt létrehozását a Semmelweis Egyetem Rehabilitációs Klinikájával (SE-RK, korábban OMINT-OORI) együttműködve.

Az Országos Gyógyszerészeti és Élelmezés-egészségügyi Intézet (OGYÉI) 2020 januárban engedélyezte és nyilvántartásba vette a „ReWalk alsó végtagi humán exoskeleton rehabilitációban betöltött szerepének multicentrikus klinikai vizsgálata” című beavatkozással nem járó vizsgálatot, OGYÉI/1271/2020 ügyszám alatt. A vizsgálat Magyarországon első és egyedülálló, amely nagyszámú műszeres és kérdőíves teszteléssel vizsgálja az alsóvégtagi exoskeletonnal történő járástréning hatásait.

A kutatás célja elsődlegesen az volt, hogy értékelje az alsó végtagi exoskeletonnal történő magas intenzitású járásterápia hatását bizonyos funkcionális és fiziológiai paraméterekre gerincvelősérült betegeknél.

Hipotézisünk alapján a nagy intenzitású járástréninggel megelőzhető vagy csökkenthető a gerincvelő-sérülésből adódó inaktív életmód, illetve az ehhez kapcsolódó szövődmények kialakulása. A tréning jelentős hatással lehet a mentális állapotra és az életminőségre, az exoskeleton használatával a gerincvelő-paraplegiában szenvedők önállóbb és aktívabb életmódot alakíthatnak ki. Kutatásunk középpontjában az alsó végtagi exoskeletonnal végzett robotterápia csontsűrűsége, testösszetételre, gyomor-bélrendszerre, urogenitális traktusra, a mentális állapotra és az életminőségre gyakorolt hatásai állnak. A keletkező adatokból vizsgálhatóvá válhatnak az eszköz és a technológia gyakorlati, rehabilitációs és kutatási területeken történő

hazai elterjedésének és adaptációjának finanszírozási lehetőségei.

3. MÓDSZEREK

3.1. Módszerek bemutatása

A paraméterek között szerepelt a csontsűrűség meghatározására szolgáló DEXA szkennelés, amely kritérium volt a bevásztási periódusban is. A DEXA méréseket a Semmelweis Egyetem Általános Orvostudományi Kar, Belgyógyászati és Onkológiai Klinikán végezték.

A testösszetételben bekövetkező változásokat testimpedancia méréssel követtük, fekvő helyzetben használható, mobil impedancia analizáló készülékkel. A méréseket a SE-RK dietetikusi végezték.

A gasztrointesztinális és urogenitális funkciók elemzésére urodinamikai vizsgálatot és kérdőíves felmérést végeztünk (Bristol Stool Scale – Bristol székletforma skála). Az urodinamikai vizsgálat a SE-RK-n történt.

Az általános jólétre és az életminőségre vonatkozó adatokat az alábbi kérdőívek és tesztek segítségével rögzítettük:

- WHOQOL-BREF – World Health Organisation Quality of Life
- 36-Item Short Form Survey (SF-36) – 36 tételes életminőségi kérdőív
- Trunk Control Test (TCT) – Törzs Kontroll Teszt
- Spinal Cord Independence Measure (SCIM) – A gerincvelősérültek életvitelben és mobilitásban megnyilvánuló függetlenségét mérő teszt

- Barthel index for Activities of Daily Living –
Mindennapi tevékenységek felméréséhez használt Barthel-index
- Berg Balance Scale (BBS) – Berg egyensúly skála
- Beck Depression Inventory Short Form (BDI-SF) –
Beck depresszió kérdőív
- Beck Anxiety Inventory (BAI) - Beck szorongás
kérdőív

3.2. A készülék

A ReWalk 6.0 Personal Exoskeleton a felhasználó biztonsága, kényelme és funkcionalitása érdekében a testre szabható. Az akkumulátorral működő rendszer tartalmaz egy hordható külső vázat, amely önhordó, így a használat során nem terheli a felhasználót a súlyával. Az eszközt számítógéppel összekötve, a gyártó kezelőprogramja segítségével elvégezhetőek az egyéni beállítások. A szoftveres beállításokat minden felhasználó számára lehet külön tárolni, igény esetén módosítani és előhívni. Az eszköz hardveres részének a beállításait minden felhasználó előtt szükséges megtenni. A könyökmankók magasságának optimális beállítása és használata is szükséges a rendeltetésszerű használathoz. A felhasználók a csuklón elhelyezett kontroller gombjai vagy a csípőrészre szerelt gombok révén irányítják az exoskeleton mozgásának szabályozását, így megvalósulhat az eszköz által asszisztált felállás, járás és a leülés.

3.3. A protokoll

A kutatási célok elérése érdekében egy prospektív, kontrollált vizsgálat protokollját dolgozta ki a Pécsi Tudományegyetem és a SE-RK vizsgálati csapata, a ReWalk exoskeletont gyártó cég kritériumait figyelembe véve. A kutatás az eredeti protokoll szerint hat hónapon keresztül funkcionális és élettani paraméterek regisztrálása és követése történik, összehasonlítva a hagyományos rehabilitációban részesült betegekkel.

A terápiás program négy szakaszra oszlott, az első három szakasz eredetileg hetente öt intenzív edzésből állt, alkalmanként 60-90 percig. A harmadik fázis végére a páciens önállóan fel tudja venni a készüléket, a kontroller segítségével irányítani tudja. Felállni, mankóval járni és leülni egyedül képes. Az utolsó szakasz alacsonyabb intenzitású edzést jelentett, a biztonságos és funkcionális járás fenntartása érdekében.

3.4. Beválasztási kritériumok

A vizsgálatba való bekerülési kritériumok a ReWalk Robotics (azóta Lifeward) guideline szerint kerültek rögzítésre és alkalmazásra:

- gerincvelő-sérülés paraplégiával vagy paraparesissel a thoracalis IV. csigolya alatt,
- legalább 4 hónap eltelt a sérülés óta,
- a kéz, a váll és a felső végtag funkcionális használata és megfelelő izomereje a kötelező mankók használatához,
- a csípő T-pontszáma $\leq -3,5$ a DEXA teszten,

- ép csontvázrendszer, a stabil vagy stabilizált gerincsérülés mellett további, a segédeszköz használatot vagy a járást befolyásoló friss, még nem konszolidált csonttörés nem mutatható ki
- EasyStand-hez hasonló eszközzel magabiztosan képes állni a beteg, az ortosztatikus hipotónia - szédülés felálláskor előfordulásának kizárása miatt.
- jó általános egészségi állapot,
- 160-190 cm testmagasság,
- a femur hossza (a csípő tengelyétől a térd tengelyéig) 43,5-56 cm, a lábszár hossza (a térd tengelyétől a láb aljáig) 36-48,5 cm.,
- legfeljebb 100 kg testsúly
- és megfelelő, fiziológiás alsó végtagi ízületi mozgástartomány, kontraktúra nélküli állapot.

A Semmelweis Egyetem Rehabilitációs Klinika gerincvelősérült betegadatbázisa alapján a legkorábban tervezett vizsgálatindítási időpontra 27 beteget jelöltünk ki alkalmasnak. Közülük hatan vállalták a részvételt a vizsgálatban, 3 fős vizsgálati és 3 fős kontroll csoporttal.

3.5. Vizsgálati személyek

A COVID járvány miatt a vizsgálat megkezdése elhúzódott, többször halasztásra kényszerültünk. A járvány alatt, a SE-RK ambuláns betegeket nem fogadhatott. A klinika munkatársai ez idő alatt sikeresen mozgósítottak két kórházi beteget, akik három alkalommal használták a készüléket.

Alább mutatom be a két beválasztott férfi gerincvelősérült résztvevőt, akikkel 2023 tavasszal tudtuk elkezdni a kutatást:

- K.Á. 2000-ben született férfi páciens. 2017-ben magasról való leesés következményeként IV. és V. thoracalis csigolya törést, komplett gerincvelő-sérülést szenvedett. Rehabilitációja a SE-RK-n történt. 2019 őszén bevásárlásra került az exoskeleton vizsgálatba, amelyet két évvel később tudott elkezdni. Ekkor 30 sikeres alkalom alatt, maximálisan 288 lépést tudott megtenni egy tréning alatt. 2022. márciusban COVID-fertőzést kapott, amelyet elhúzódó poszt-COVID tünetek követtek. Tüdőgyógyászati kontrollon esett át, a teljes gyógyulás több hónapig tartott. Ezenkívül a páciensnek súlyos lábköröm fertőzése is lett, ami megakadályozta a további exoskeleton járástréninget. Egy évvel később, 2023 májusban tudtuk újraindítani vele a vizsgálati időszakot.
- A.Á. 2006-ban született férfi beteg. 2022 júniusban magasról való leesés miatt szenvedett politraumat. Kétoldali pneumothoraxot, tüdő- és májzúzódást, bordák törését, a thoracalis X-es csigolyatest instabil törését, a thoracalis XI.-lumbalis II. csigolyák harántnyúlványának törését diagnosztizálták. A Kaposi Mór Kórházban történt gerincstabilizációs műtété, a thoracalis VIII.-XII.szakaszon végeztek dekompresziót, laminektómiát és csavaros rögzítést. 2022 júliustól a beteg komplex rehabilitáción esett át a SE-RK-n, ahol az önálló kerekesszékes közlekedést és internittáló hólyag katéterezést tanulta meg. Adaptációs szabadság után 2022 szeptemberben folytatta a rehabilitációt. Szenzórium tekintetében anaesthesia a thoracalis XII. csigolya alatt a jobb oldalon és a thoracalis XI. csigolya alatt a törzs bal oldalán. Motóriumot illetően a felső végtagokon teljes

funkció, az alsó végtagokon nincs akaratlagos mozgás. Vegetatívumot tekintve napi ötszöri időszakos önkátéterezés. Mérsékelt görcsösség található az alsó végtagokban. Reflexek a felső végtagokon fizioiogiásak, az alsó végtagokon fokozott patelláris és lábreflexek, kétoldali pozitív Babinski reflex található. Kontraktúra nem tapasztalható, az ülő testtartás megtartott, önellátó. 2023 májusban a páciens az exoskeleton vizsgálatban részt vesz.

3.6. Adatelemzési módszerek

A beváiasztási kritériumok szerinti vizsgálatokkal, a résztvevők élettani paramétereinek mérésével, kérdőívekkel kezdődött az adatfelvétel, amelyeket a vizsgálat zárásakor újból elvégeztünk. A csontsűrűség meghatározására DEXA vizsgálatat, a testösszetételben bekövetkező változásokat testimpedancia mérésel követtük. A gasztrointesztinális és urogenitális funkciók elemzésére urodinamikai vizsgálatot és kérdőíves felmérést végeztünk. Kérdőívek és tesztek segítségével rögzítettük az általános jólétre és az életminőségre vonatkozó adatokat. A járástréning során minden alkalommal háromszor végeztünk vérnyomásmérést. Az aktuálisan elért eredményeket, mérőföldköveket, lépésszámokat és egyéb (pl. nemkívánatos eseményeket) rögzítettük. A keletkezett adatokban történt változásokat abszolút értékben és százalékban szemléltettük.

4. EREDMÉNYEK

Eredményeink a csontsűrűség vizsgálat során:

K.Á. lumbális csigolyáiban és a combnyakban csökkenést, az alkarban pedig növekedést láttunk. A.Á. esetében a lumbális csigolyák területén kis mértékű növekedést, combnyakban csökkenést, az alkarokban növekedést tapasztaltunk.

A testösszetétel mérés során az adatokban csekély változásokat találtunk. Mindkét résztvevőnél csökkent a zsírmentes tömegindex és a hasi zsírszövet, az izomtömeg pedig nőtt.

Az urodinamikai vizsgálat során a húgyhólyag rugalmasságában érdemi változást nem láttunk.

A Bristol székletforma skála nem mutatott klinikailag jelentős változást a széklet típusában.

A Trunk Control Test során mindkét páciens a 3 hónapos időszak elején és végén egyaránt 74 pontot ért el.

A Spinal Cord Independence Measure teszt eredményei és a változás mindkét páciensnél ugyanazok voltak (68-68 pont).

A Barthel Index mindkét résztvevőnél „mérsékelt függőség” tartományban maradt.

A Berg Egyensúly Skálában a résztvevőknél kisebb javulások láthatók.

A SF-36 kérdőívnél K.Á. eredményei a kérdőív legtöbb dimenziójában alacsonyabb pontszámot mutattak. A.Á.: kisebb értékcsökkenést mutatott, különösen a mentális egészség területén.

A WHO rövidített életminőségi kérdőíve szerint K.Á. 4 ponttal többet, A.Á. 10 ponttal kevesebbet ért el a vizsgálat végén.

A Rövidített Beck Depresszió Kérdőív esetében K.Á. a normál tartományban maradt, A.Á. a normál

tartományból hangulatzavar tartományba került pontsszámai alapján.

A Beck Szorongás Kérdőív alapján mindkét páciens pontszáma változott, azonban mindkettő az alacsony szorongás tartományában maradt.

A járástréning során K.Á. alkalmankénti max. lépésszáma 640, átlagos alkalmankénti lépésszáma pedig 301 lépés volt. A.Á. alkalmankénti max. lépésszáma 1727, átlagos alkalmankénti lépésszáma 480 lépés volt.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A csontsűrűség tekintetében a változások csekélyek voltak, feltehetően a rövid vizsgálati időszak miatt. Mindkét résztvevőnél az alkarokon csontsűrűség növekedés volt tapasztalható, feltehetően a mankó használata miatt.

A vizsgált gasztrointesztinális funkcióknál klinikailag jelentős változás nem volt látható, vélhetően a rövid vizsgálati szakasz miatt.

A testösszetételben K.Á. abszolút zsírtömege és vázizomzat tömege nőtt, a testsúly, zsírmentes tömegindex és a zsigeri zsírszövet csökkent. Az egészségügyi problémák (hosszantartó COVID-19, post-COVID sy., elhúzódó körömfertőzés) a mérések között hozzájárultak az immobilabb életmódhoz. A vizsgálat mutatja, hogy a tréning alatt fellépő betegségek negatív hatással vannak a gerincvelősérült betegek paramétereire. A.Á. esetében az abszolút zsírtömeg, a zsírmentes tömegindex és a hasi zsírszövet mennyisége csökkent. A vázizomzat tömege és a testsúly értékei nőttek, amelyek

az alsó végtagi exoskeletonnal történt járásedzés előnyeire utalhatnak.

A törzskontroll teszt, SCIM, Barthel-index, Berg egyensúly skála értékeiben nem találtunk klinikailag jelentős különbségeket, feltételezzük, hogy ezen eredmények az előzőleg sikeres rehabilitáció eredménye. A SF-36 kérdőívben mindkét résztvevő pontszámai többségükben csökkentek.

A WHOQOL-BREF kérdőív esetében K.Á. minimális javulását, A.Á. kismértékű csökkenését tapasztaltuk.

A Beck depresszió kérdőív eredményei szerint K.Á. hangulati tartománya nem változott. A.Á. a normál tartományból enyhe hangulati zavarok tartományba került.

A Beck szorongás kérdőív alapján nem láttunk változásokat a szorongási csoportokban. A.Á.-nál a fizikai paraméterekben javulást, a mentális egészségmérésekben csökkenést láttunk, jelezve a politrauma idején dokumentált öngyilkossági hajlamot.

Az eredmények dinamikusán mutatták, hogy a gerincvelő-sérülés okozta trauma feldolgozása sokáig tart. Az új, jelentős eredményeket célzó terápiás lehetőségek reményének reálissá válása is oka lehet a hangulat romlásának. Ezért is van nagy jelentősége a vizsgálat alatt a pszichológusi háttér és támogatásnak.

A járástréning során a résztvevők nagymértékű javulást mutattak, motivációjuk végig magas maradt. Hamar eljutottak az önálló használathoz, a lépésszámok folyamatosan emelkedtek. Látni a résztvevők fejlődését és az exoskeleton alapvető készségeinek elsajátítását rendkívül motiváló élmény volt.

Összegzésként elmondható, hogy a kutatás célja megvalósult:

- értékelni tudtuk az exoskeletonok hatékonyságát gerincvelősérült betegek rehabilitációjában
- közelebb kerültünk az alsó végtagi exoskeletonok terápiás alkalmazásának indikációinak, élettani hatásainak, az ambuláns rehabilitációban betöltött szerepének pontosabb meghatározásához.

A munkánk és az eredmények megmutatják, hogy:

- részletesebben meg kell ismerni a betegek és gondozóik exoskeletonokkal kapcsolatos ismereteit és hozzáállását
- fontos meghatározni a minimális kezelések számát a klinikailag jelentős hatás eléréséhez
- célszerű megvizsgálni, hogy a fekvőbeteg-, illetve az ambuláns ellátásban lenne hatékonyabb
- több eredménymérés igazolta hipotézisünket, amely szerint a magas intenzitású alsó végtagi exoskeletonos tréning befolyásolja a gerincvelősérült betegek élettani paramétereit
- az esettanulmányok rámutattak arra a lehetőségre, hogy a gerincvelősérült betegek képesek függetlenül használni az ilyen robotizált rehabilitációs eszközöket.

A vizsgálat hozzájárult ahhoz is, hogy a terapeuták szakmai, gyakorlati tudása és tapasztalata bővüljön a robotterápiás eszközök, az exoskeleton használata révén.

A projekt közvetett sikerét mutatja a nemzeti egészségügy társadalombiztosítási finanszírozási szabályozásának módosítása. Jogszabály alkotás révén új, közfinanszírozott terápiás módszereket fogadtak el,

köztük az alsó végtagi exoskeletonnal történő járástréninget.

Elmondható, hogy így Magyarország csatlakozik azokhoz az országokhoz, amelyek terápiás gyakorlatukban robottechnológiát alkalmaznak.

6. Publikációs lista

6.1. A tézis alapját képező publikációk

Shenker B, Tóth L, Maróti P, Büki A, Fehér M, Klauber A, et al. Alsó végtagi exoskeleton segítségével történő rehabilitációs tevékenység kezdeti tapasztalatai. *Idősgyógyászat*. 2021;6(1-2):15-20.

Shenker B, Tóth L, Maróti P, Fehér M, Cserhádi P. Gerincvelősérültek alsó végtagi exoskeletonnal végzett rehabilitációja a COVID-járvány alatt. *Rehabilitáció*. 2022;32(3):79.

Shenker B, Fehér M, Erdősi P, Papp L, Vadai K, Hrivnák G, et al. Examining the Efficacy of Lower Extremity Exoskeletons in the Rehabilitation Process of Spinal Cord Injury Patients: Case Studies. *Acta Polytech Hung*. 2023;20(8):111-131.

6.2. Publikációk a rehabilitáció területén

Shenker B, Erdősi P, Cserhádi P. Alsó végtagi exoskeletonnal végzett rehabilitáció Magyarországon és nemzetközi viszonylatban. *Rehabilitáció*. 2024;34(2-3):116.

Shenker B, Tóth L, Maróti P, Fehér M, Cserhádi P. Alsó végtagi exoskeleton alkalmazása gerincvelősérültek rehabilitációja során. Rehabilitáció. 2023;33(2-3):105.

Shenker B, Tóth L, Maróti P, Hrivnák G, Cserhádi P. First impressions with lower extremity exoskeleton during rehabilitation of spinal cord injured patients. In: Burger H, Fazekas G, Vidmar G, editors. Congress of European Forum for Research in Rehabilitation: Book of abstracts with programme. Ljubljana: University Rehabilitation Institute Republic of Slovenia; 2021. p. 58.

Tóth L, Bors V, Pallag A, Pinczker V, Dóczi T, Cserhádi P, **Shenker B**, et al. Traumás gerincvelősérültek rehabilitációja alsó végtagi humán exoskeletonnal [Rehabilitation of traumatic spinal cord injury with lower limb exoskeleton]. Orv Hetil. 2020;161(29):1200-1207. Hungarian.

Shenker B, Klauber A, Fehér M, Révay E, Cserhádi P. Alsó végtagi exoskeletonnal végzett rehabilitációs tevékenység hatásosságának vizsgálata gerincvelősérültek esetében. Rehabilitáció. 2020;30(2-3):73.