

**PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
EGÉSZSÉGTUDOMÁNYI KAR
EGÉSZSÉGTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA**

Prókai Judit Andrea

**12 hetes homokon végzett edzés hatása különböző biomechanikai és
funkcionális paraméterekre diabéteszes perifériás neuropátiában szenvedő
betegekben**

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Témavezetők: Dr. Váczi Márk, Dr. Atlasz Tamás



Pécs, 2024

1. Bevezetés

Napjainkban több mint 500 millió embert érint a diabétesz, vagyis világszerte a felnőtt lakosság több mint 10,5 százaléka érintett ebben az állapotban. A különböző típusú neuropátiák, a diabétesz leggyakoribb késői szövődményeként, a betegek megközelítőleg akár 50 százalékát is érinthetik. Az idegrendszert megbetegítő állapotok széles skáláját foglalják magukba, melyek közül a leggyakoribb a diabéteszes perifériás neuropátia (DPN) (Teschfaye and Boulton, 2009). Az elhízottak növekvő aránya, és az ezzel összefüggésben lévő 2-es típusú cukorbetegség előfordulásának növekedése, ezeket a számokat 2030-ra duplájára emelheti. A DPN előfordulása, a diabéteszben eltöltött idő emelkedésével, és elégtelen glikémiás kontrollal szintén emelkedhet (Martin et al., 2006). A DPN esetében, a lábak a leginkább érintettek a motoros működészavarokat illetően, amelyeknek a cukorbetegnek ki vannak téve.

A DPN mozgatórendszerre gyakorolt hatása

DPN betegek esetében csökkent az izmok erő kifejtése, amely dinamikus és statikus körülmények között is érinti a boka plantar- és dorsalflexió irányba hajlító izmait. A lábszár izmok diszfunkciójának az egyik oka a lábszár és lábfej izmainak atrófiája lehet. DPN betegek esetében több mint 10 %-kal alacsonyabb a forgatónyomaték értéke plantar- és dorsalflexor irányú dinamométeren mért maximális izometriás erő kifejtés teszt során az egészséges kontroll csoporthoz képest (Andersen, et al., 2004).

A csökkent ízületi mozgásterjedelem a diabétesz másik gyakori hosszú távú következménye, amely a DPN betegeket érinti, melynek kialakulása nagyrészt a lágyszöveti struktúrákhoz kapcsolódik. A szöveti elváltozások eredményeképpen a boka- és lábfej ízületei nagyobb kontraktúrát mutatnak, ami megakadályozza ezeknek a szegmenseknek a megfelelő mobilitását és az adekvát talpon való gördülést (Salsich et al., 2000).

DPN esetében bizonyított a perifériás ideg funkciók szintjének csökkenése miatt a test fokozottabb instabilitása, különösen váratlan instabil körülmények között. Esetükben a Timed Up and Go (TUG) teszt végrehajtásának ideje is hosszabb a nem DPN betegekhez viszonyítva (Riandini et al., 2018). Ennek oka a járás sebesség és a lépéshossz csökkent szintje, valamint a hosszabb lépés idő.

A DPN által okozott összes motoros és funkcionális korlátozottság tartási instabilitáshoz és a járás kinematikájának megváltozásához vezet, ezért DPN betegek esetében nagy a kockázata az elesésnek és annak életveszélyes következményeinek (Rojhani-Shirazi et al., 2017). A diabéteszes lábat érintő szövődmények általában a perifériás neuropátia lefolyásának menetét követik, mely a fekélyesedés kialakulását követően alsó végtagi amputációhoz is

vezethet. Ezek a progresszívan jelentkező korlátozottságok nagymértékben rontják a betegek mindennapos tevékenységeinek elvégzését, életszínvonalának minőségét.

A DPN kezelési lehetőségei

Az első lépés az intenzív vércukorszint ellenőrzés és a hatékony életmódváltoztatás. Mindezekon túl a gyógyszeres terápiák és a nem farmakológiai beavatkozások képezik a DPN kezelésének alapját (Quiroz-Aldave et al., 2023). A gyógyszerek használatára vonatkozó ajánlások a DPN kezelésében még nem jutottak egységes konszenzusra, amely gyakran a DPN betegek félrekezeléséhez vezet. További problémát okoz, hogy a kezelésben alkalmazott gyógyszereknek számos mellékhatása is van, melyek kezelése nem csak további pénzügyi terheket ró a betegekre, de életminőségüket is tovább ronthatja. A nem gyógyszeres terápiák közé tartozik többek között az elektroterápia, akupunktúra, moxibúció és antioxidáns kezelések is, melyek jelentősége elsődlegesen a fájdalomcsillapításban van (Khdour, 2020).

Fontos olyan terápiás lehetőségek feltérképezése, amelyek a DPN egyéb, a szervezet motoros működésére gyakorolt negatív hatásait is célozzák. Az ellenállással végzett edzések hatásait vizsgáló kutatások eredményei egymásnak ellentmondóak. Egy 12 héten át tartó erősítő edzést alkalmazó kutatás nem tudta növelni a plantar- és dorsalflexió csúcsnyomaték értékét a bokaízületben (Tuttle et al., 2012). Egy másik 12 hetes, erősítő gyakorlatokat alkalmazó edzésintervenció nem javította a dorsalflexió irányú erő kifejtés mértékét, csak plantarflexió irányában (Sartor et al., 2014).

A lábszár izmainak fokozott merevsége DPN-ben abnormálisan befolyásolhatja az agonista-antagonista izmok együttműködését. Az antagonista izom koaktivációjának mérése gyakori módszer a fizikai aktivitás által kiváltott idegi adaptáció és agonista kontrakció hatékonyságának tesztelésére, azonban DPN esetén ilyen információ kis számban áll rendelkezésre.

A bokaízület mozgásterjedelmének (IMT), valamint az egyensúly javítását célzó tanulmányok között is számos egymásnak ellentmondó eredményt találtunk. Az otthoni, önállóan végzett foglalkozások után nem javultak ezek a ellenben a szakember által vezetett és felügyelt programokat követően igen (Monteiro et al., 2022).

Különböző (szilárd és puha) felületen történő edzés

Az ellenállással végzett -és egyensúlygyakorlatok egyes vizsgálatokban kimutatott kedvező hatásai mellett figyelembe kell venni a DPN betegeket érintő káros hatásokat is. Korlátozott ízületi mobilitás jelenlétében például a láb nem képes megfelelő ütéselnyelő

mechanizmust biztosítani, és elveszítheti a normális talpi nyomás fenntartásának képességét (Andersen, 1999). Ez arra utal, hogy figyelembe kell venni az edzésekhez használt felületek tulajdonságait is. Az American Diabetes Association (ADA) óvintézkedéseket adott ki a fizikai aktivitást illetően, mivel bizonyos fizikai tevékenységek nem biztonságosak a neuropátiában szenvedő egyének számára (American Diabetes Association, 2022). DPN betegeknél akut sérülések, például a lábszár izmainak húzódása futópados gyaloglás közben, fájdalom kialakulása az Achilles-ínban szilárd felületen végzett edzés után, vagy izomláz jelentkezett (Sartor et al., 2014). Az ilyen negatív hatások elkerülése érdekében a puha felületen végzett testmozgás alternatíva lehet a DPN betegek számára, miközben a homok ellenállást és instabil felületet is biztosíthat. A homok erőelnyelő képessége és a talp csúszása miatt az izomösszehúzódás koncentrikus fázisában a megnövekedett kontrakciós idő lehetővé teszi, hogy a láb erőkifejtésben résztvevő izmai aktívabbá váljanak. A homokszemek egymáson való elcsúszása miatt, nagyobb testtömeget helyezve a talp különböző részeire, az bizonyos fokú elmozdulást hoz létre a bokaízületben, ami nyújtó hatású lesz azon a részen, ahová a súlypont került, azonban ezt még nem bizonyították. Ezért a homokon végzett edzés kedvező erő-, egyensúly- és funkcionális változásokat tehet lehetővé a DPN betegeknél, miközben csökkenti a sérülések kockázatát, de ezt a hipotézist még nem vizsgálták.

2. Problémafelvetés és célkitűzés

A DPN betegek korábban említett motoros képességeinek csökkent szintje következtében kialakuló funkcionális korlátozottságok ellenére a gyógyszeres kezelésekkel végzett kutatások száma messze meghaladja a fizikai aktivitást használók számát, holott nélkülözhetetlen szerepet tölt be a betegség kezelésében. A DPN esetében alkalmazott fizikai aktivitással összefüggő adatok azt sugallják, hogy a kezelési költségek csökkentését célzó otthoni edzések nem tudnak hozzájárulni a DPN betegek állapotának javításához, ezért a szakember felügyelete kulcsfontosságú eleme lehet mind az erő, ízületi mozgásterjedelem és az egyensúly fejlesztésének. Az edzések során további problémaként jelentkezik a szilárd talajon végzett gyakorlatok lágyszöveti struktúrákra gyakorolt esetleges negatív hatása.

Kutatásunk egyik célja a mindennapi tevékenységeket befolyásoló, motoros diszfunkciók kialakulásában szerepet játszó antropometriai és biomechanikai tényezők összefüggéseinek vizsgálata. A különböző szilárd felületeken végzett testmozgás lehetséges problémái miatt, biztonságosabb edzési módokat kell kifejlesztenünk, amelyek javítják a láb működését, miközben elkerülik a káros hatásokat ezeknél a betegeknél. Az alacsonyabb sérülési kockázat mellett a homokgyakorlatok potenciálisan javíthatják a láb funkcionális működését a

kombinált, egyidejűleg érvényesülő erősítő, egyensúlyozó és a nyújtó hatású ingerek által. Ezért további célunk volt egy 12 hetes kontroll időszakot követő 12 hetes homokedzési program hatásainak vizsgálta a DPN betegek lábműködésére. Továbbá megvizsgáltuk a mérések által kapott kvantitatív eredményeknek a DPN betegek mindennapos fizikai -és sport tevékenységeire gyakorolt hatását is.

3. Hipotézisek

Kutatásunk, előzetes vizsgálatait alapján, a következő hipotéziseket állítottuk fel.

H1 hipotézis: Feltételezzük, hogy a mindennapi tevékenységeket meghatározó járás- és egyensúlyozó képességet antropometriai (kor, testmagasság, testtömeg, BMI, testzsírszázalék, vázizomtömeg) és biomechanikai (nyílrányú ízületi mozgásterjedelem a bokaízületben, plantar- és dorsalflexió irányú statikus maximális erő kifejtés képessége, relatív erő) paraméterek befolyásolják.

H2 hipotézis: Feltételezzük, hogy a 12 hetes kontroll időszakkal ellentétben a 12 hetes intervencióban változás következik be plantar -és dorsalflexió irányú statikus maximális erő kifejtés, agonista-antagonista izmok koaktivációja, egyensúly, nyílrányú bokaízületi mozgásterjedelem paraméterekben és a járás képességében DPN betegeknél.

H3 hipotézis: Feltételezzük, hogy a mindennapi élethez és sporthoz köthető mozgásformákban a betegek szubjektíven megítélt teljesítménye emelkedni fog. Feltételeztük továbbá, hogy a szubjektíven megítélt teljesítménynövekedés mértéke összefügg a kvantitatív biomechanikai és funkcionális értékek változásának mértékével.

4. Anyag és módszer

A vizsgálatban 11 (n = 4 nő, 7 férfi) DPN beteg (életkor = $64,9 \pm 9,6$ év; testtömeg = $99,2 \pm 21,7$ kg; testmagasság = $173,5 \pm 8,4$ cm) vett részt (etikai engedély: 5812.-PTE2016). A betegek egészségi állapotára és fizikai képességeire vonatkozó információkat szóbeli kikérdezéssel vettük fel és meghatároztuk a beválasztás és kizárás kritériumait is. A vizsgálati személyek írásos beleegyező nyilatkozatot tettek a Helsinkai Nyilatkozatnak megfelelően, miután szóbeli és írásbeli magyarázatot kaptak a kísérleti protokollról és annak lehetséges kockázatairól.

Kutatásunk egy kontroll (12 hét) és egy intervenció (12 hét) periódusból állt. A DPN betegek önmaguk kontrolljaként szolgáltak (Macaulay et al., 2022), és minden, a protokollhoz tartozó tesztet három időpontban végeztek el: a kontrollidőszak előtt (1. teszt), a kontrollidőszak végén, amely az intervenció időszak kezdete volt (2. teszt), és az intervenció időszak végén

(3. teszt). A kontroll periódusban a résztvevők folytatták szokásos orvosi ellátásukat, további gyakorlatok nélkül. Az intervenció periódusában az orvosi ellátás kiegészítéseként heti három alkalommal homokedzéseket végeztek. A vizsgálati személyeknek négyszer kellett a laboratóriumi vizsgálatok elvégzése miatt megjelenniük, ebből az első alkalom a betanulás volt, amelynek során a vizsgálati személyek megismerkedtek a tesztfeladatokkal, majd a második-negyedik alkalommal folytattuk le a tényleges méréseket. Valamennyi tesztnapot a Foot and Ankle Ability Measure teszt (FAAM) kitöltésével kezdtük, majd a mérési protokollban az első a testösszetétel meghatározása volt, ezt követték az erőtesztek, a boka plantar -és dorsalflexió irányú forgatónyomatékának, valamint a tibialis anterior (AT), medialis -és lateralis gastrocnemius (MG, LG) izmok elektromos izomaktivitásának (EMG) mérése, a bokaízület nyílimányú mozgásterjedelmének vizsgálata, majd a funkcionális tesztek (egyensúly és a TUG teszt) idejének mérése. A dinamométerrel végzett erőtesztek előtt 5 perces bemelegítést alkalmaztunk kerékpár ergométerrel. A statisztikai elemzéseket a 3. teszt után végeztük el. Az intervenció időszakot 9 vizsgálati személy kezdte meg, majd további két személy kiesett, így összesen 7 beteg fejezte be a kutatási vizsgálatokat.

Az edzések 12 héten keresztül hetente háromszor csoportosan zajlottak egy alulról fűtött, 4x5 m-es 30 cm mély homokos felületen, amelyben mezítláb dolgoztak. Minden edzés tartalmazott egy alacsony intenzitású dinamikus bemelegítést (5 perc), valamint lábszár- és bokaspecifikus gyakorlatokat (25 perc). A foglalkozások időtartama a gyakorlatok számának, összetettségének és ismétlésszámának függvényében négy hetente fokozatosan nőtt.

5. Eredmények

A H1 hipotézis vizsgálatához szükséges eredmények bemutatása.

Méréseink szerint több antropometriai paraméter között is találtunk pozitív összefüggést más antropometriai mutatókkal, például a testmagasság a vázizomtömeggel ($p = 0,000$), a testtömeg a BMI-vel és a vázizomtömeggel ($p = 0,000$, $p = 0,004$), valamint a BMI a testzsírszázalékkal ($p = 0,004$).

Az antropometriai és biomechanikai mutatók között a testmagasság, testtömeg, vázizom tömeg szignifikáns pozitív irányú összefüggést mutatott a dorsalflexor izmok erejével ($p = 0,010$, $p = 0,029$, $p = 0,002$) és a vázizomtömeg a dorsalflexió irányú maximális izometriás erő kifejtés csúcsnyomatéka (M_{DF}) szintén pozitívan korrelált ($p = 0,048$).

A biomechanikai paraméterek közül a plantarflexió irányú maximális izometriás erő kifejtés csúcsnyomatéka (M_{PF}) esetében találtunk szignifikáns pozitív irányú összefüggést

más biomechanikai mutatókkal, mint M_{DF} , relatív M_{PF} és relatív M_{DF} ($p = 0,012$, $p = 0,001$, $p = 0,002$), valamint az M_{DF} a relatív M_{DF} -fel is pozitív korrelációt mutatott ($p = 0,000$).

Az antropometriai és a funkcionális paraméterek között csak a testtömeg és az egyensúly között találtunk szignifikáns negatív kapcsolatot ($p = 0,037$).

A biomechanikai és funkcionális paraméterek között a relatív M_{PF} mutatott szignifikáns összefüggést az egyensúllyal ($p = 0,034$), továbbá az M_{PF} és a relatív M_{DF} a TUG idővel korrelált negatívan ($p = 0,023$, $p = 0,041$).

A 2. hipotézis vizsgálatához szükséges eredmények bemutatása

Az 1. és 2. teszt során mért értékek között, amely a kontroll időszak hatását mutatja, egyik paraméterben sem találtunk szignifikáns különbséget a 12 hetes periódust követően.

A 2. tesztről a 3. tesztre több paraméter esetében is változást találtunk. A biomechanikai változók közül a plantarflexió irányú maximális, statikus erő kifejtés csúcsnyomatéka jelentősen, 42%-kal nőtt ($p = 0,033$), míg a dorsalflexió irányú maximális, statikus erő kifejtés csúcsnyomatéka változatlan maradt. A plantarflexió során az összes EMG adat változatlan maradt. A dorsalflexió során az LG és MG EMG aktivitása szignifikánsan, 30%-kal ($p = 0,002$) és 37%-kal ($p = 0,005$) csökkent. A TA EMG aktivitása nem változott jelentősen.

A funkcionális paraméterek közül a boka IMT szignifikánsan nőtt mind plantar-, mind dorsalflexió irányban, 18%-kal ($p = 0,032$), illetve 140%-kal ($p = 0,021$). Az egyensúlytesztben a test kilengése 16%-kal ($p = 0,021$), a TUG teszt elvégzéséhez szükséges idő 18%-kal szintén csökkent ($p = 0,002$).

Az antropometriai paraméterek, a testtömeg, a testzsír és az izomtömeg statisztikailag nem változott.

A H3 hipotézis vizsgálatához szükséges eredmények bemutatása

A FAAM teszt mindennapi élet tevékenységei (MÉT) alskálájának kérdéseire adott válaszok pontértékei alapján a százalékban kifejezett teljesítményszintek az 1. tesztről a 2. tesztre és a 2. tesztről a 3. tesztre is szignifikánsan változott, előbbi 13%-kal csökkent ($p = 0,001$), utóbbi 33%-kal nőtt ($p = 0,001$).

A sporttevékenységek (ST) alskálára adott válaszok pontértékei alapján a százalékban kifejezett teljesítményszintek az 1. tesztről a 2. tesztre nem változtak, a 2. tesztről a 3. tesztre szignifikánsan 82%-kal nőttek ($p = 0,001$).

A vizsgálati személyek aktuális funkciójának szintje a mindennapi élet szokásos tevékenységei (FMÉT) során szubjektív megítélésük alapján mind az 1. tesztről a 2. tesztre,

mind a 2. tesztről, a 3. tesztre szignifikánsan változott. A kontroll időszakban 13%-kal csökkent ($p = 0,038$), az intervenciós időszakban 17%-kal emelkedett ($p = 0,001$).

A sporttevékenységekhez kapcsolódó fizikai aktivitásokban a vizsgálati személyek fizikai funkciójának (FST) szubjektív megítélése az 1. tesztről a 2. tesztre nem változott, a 2. tesztről a 3. tesztre szignifikánsan, 27%-kal emelkedett ($p = 0,021$).

Megvizsgáltuk továbbá, hogy az objektív, mért paraméterek értékei összefüggésbe hozhatóak-e a vizsgálati személyek szubjektív megítélése alapján kapott eredményekkel, fizikai állapotuk változását illetően. Az objektív és szubjektív mérések eredményei között nem találtunk összefüggést.

6. Eredmények megbeszélése

A mindennapi tevékenységeket meghatározó járás- és egyensúlyozó képességet befolyásoló antropometriai és biomechanikai paraméterek DPN-ben

Vizsgálatunkban az antropometriai paraméterek közül csak a testtömeg esetében találtunk összefüggést az egyensúllyal. A negatív irányú korreláció értelmében eredményeink azt mutatják, hogy minél nagyobb a testtömeg, az egyensúlyozó képesség szintje annál alacsonyabb.

A biomechanikai paraméterek közül a bokaízület plantarflexor izmainak relatív ereje mutatott szignifikáns összefüggést az egyensúllyal. A test előre történő kilengéseinek szabályozásában (melyek nagyobbak a többi irányhoz képest) a plantarflexor izmok ereje a meghatározó. Az erős korreláció az egyensúly mérése és az alsó végtagok izomereje között azt mutatja, hogy ezek a neuromuszkuláris komponensek összefüggésben vannak és nem függetlenek egymástól. Hasonló idegrendszeri struktúra játszik szerepet az egyensúly és az alsó végtag izomerejének szabályozásában, így a teljesítmény az egyik komponensben elért eredményben (részben) átvihető a másikéba. Mindezek alapján az alsó végtagok izomerejének edzés által kiváltott növekedése (pl. plantarflexorok maximális ereje) hatással lehet az egyensúlyi teljesítményre vagy fordítva.

A biomechanikai paraméterek közül a bokaízület plantarflexor izmainak ereje és a dorsalflexor izmainak relatív ereje negatívan korrelált a TUG teszten elért időeredménnyel. Ismert hogy a plantarflexorok alacsonyabb ereje negatívan befolyásolja a lépéshosszt, ami kihat a járás sebességére is. A járás ciklusa során a plantarflexorok egy láb támaszban kontrollálják a sápcsont forgását és segítik a lábszár előre lendülését, a dorsalflexorok pedig biztosítják a földtől való elrugaszkodást és a lendítő láb megfelelő talajfogását.

A 12 hetes homokon végzett edzés hatása különböző biomechanikai és funkcionális paraméterekre DPN-ben

A boka plantarflexor izmainak ereje 42% -kal javult, ami összhangban van egy korábbi kutatás eredményeivel, ahol a betegek kombinált erő- és egyensúlyedzésen vettek részt. Vizsgálatunk során nem találtunk növekedést az EMG aktivitásban egyetlen plantarflexor izom esetében sem a maximális, plantarflexió irányú izometriás erő kifejtés teszt során, jelezve, hogy az intramuszkuláris koordináció nem felelős az erőnövekedésért. Továbbá a TA aktivitásban sem találtunk változást a maximális, plantarflexió irányú izometriás erő kifejtés teszt során a 12 hetes edzés után, ami arra utal, hogy a plantarflexió irányú hajlítás erősségének javulása szintén független volt az antagonista koaktivációtól. Az eredmények azonban növekvő tendenciát mutattak mind a MG, mind a LG EMG eredményekben a 12 hetes edzés után, ami arra utal, hogy a beavatkozás időtartama túl rövid volt ahhoz, hogy a statisztikailag szignifikáns változást elérje. A plantarflexor izmok erőnövelésének egyik lehetséges magyarázata az, hogy a nyílrányú síkban végzett gyakorlatok mellett a homlok síkban végzett gyakorlatok is szerepeltek, amelyek talán fokozták az izmok közötti koordinációt, bevonva a lábfejet oldal irányba mozgó izmokat, mint szinergistákat a plantarflexió irányú hajlítás funkciójába. Fontos azonban megjegyezni, hogy saját vizsgálatunkban nem mértük a szinergista izomaktiváció hozzájárulását sem plantar- sem dorsalflexió irányú erő kifejtés során, ami fontos limitáló tényező. Vizsgálatunkban a bokaízület dorsalflexió irányú maximális erő kifejtésének szintje nem változott az intervenciós időszakban. A dorsalflexió erőnövekedés hiánya a vizsgálatunkban résztvevőknél annak is betudható, hogy a nyomatókat csak 90 fokos szöghelyzetben (neutrális pozíció) mértük. 140%-os javulást találtunk a dorsalflexió irányú ízületi mozgásterjedelmet illetően, ami arra utal, hogy az optimális izomhossz (vagyis az a hossz, amelynél az izom a legnagyobb erőt képes kifejteni) megváltozhatott, és a dorsalflexió irányú erő kifejtés legnagyobb nyomatéka kisebb ízületi szögekben alakult ki dorsalflexió felé.

Vizsgálatunkban az intervenciós időszak után csökkent EMG aktivitást találtunk MG-ben és LG-ben dorsalflexió irányban végzett maximális akaratlagos izometriás erő kifejtés teszt során. A csökkent antagonista koaktiváció azonban önmagában nem volt elegendő ahhoz, hogy esetünkben agonista erőnövekedéshez vezessen. A sajáttestsúllyal, de a homok ellenállásával szemben is, ezek az ingerek nem tűnnek elegendőnek a dorsalflexió irányú erő növeléséhez. Azt is tudjuk, hogy neuropátiás betegek gyakrabban képtelenek a sarokállást végrehajtani, mint a talp elülső részén való állást. Ez arra utalhat, hogy a homok még nehezebbé tette a gyakorlatok megfelelő elvégzését dorsalflexió irányában. Az intervenció kezdetén a vizsgálati személyek

bokaízülete dorsalflexió irányában csak kevés mozgást engedett, így csökkentette a lehetőségét a hatékonyabb erősítő hatás elérésének, így gátolhatta a dorsalflexorok erőnövekedését. Eredményeink szerint, nagyobb hangsúlyt kell fektetni a gyakorlatok intenzitására a megfelelő külső terhelés alkalmazásával.

Jelen vizsgálatunkban a bokaízület mozgásterjedelme mind plantar-, mind dorsalflexió irányában növekedett. Kutatásunkban olyan gyakorlatokat állítottunk össze, ahol a lábakat arra kényszerítettük, hogy a bokaízület teljes nyílrányú mozgásterjedelme mentén mozogjanak. A lábak plantaris és dorsalis felületével a homok előre és hátra húzása és tolása során a homok ellenállása passzív nyújtó hatást hozott létre, ami segíthet javítani a bokaízület mozgástartományát.

Jelen vizsgálatban mind a kétoldali statikus testtartás stabilitása, mind a járási sebesség javult az intervenciós időszak után. Bár kutatásunkban nem vizsgáltuk ugyanazon edzés hatékonyságát szilárd felületen, korábbi tanulmányok kimutatták, hogy az instabil felületen végzett egyensúlytréning hatékonyan fejleszti az idősebb felnőttek egyensúlyozó képességét, és hogy ez a fejlődés korábban következik be, mint a stabil felületen végzett egyensúlygyakorlatok esetében. Ez arra utal, hogy az instabil felületeken végzett egyensúlygyakorlatok lehetővé teszik az egyensúly gyorsabb fejlődését.

Kutatásunkban a TUG teszt elvégzéséhez szükséges idő a 12 hetes intervenciós időszak után csökkent. Nagy hangsúlyt helyeztünk a bokaízület körüli izmok erősítésére és nyújtására is, gyakorlatokat alkalmazva minden síkban és irányban. A bokaízületet körülvevő izmok erejének és a bokaízület mobilitásának növekedése hozzájárulhat a járási sebesség fejlődéséhez mely arra utal, hogy a bokaízület egyidejű erősítése és mobilizálása jelentős szerepet játszik a megfelelő járásfunkció elérésében.

A 12 hetes homokedzés hatása a mindennapi -és sporthoz köthető mozgásformák teljesítményének szintjére DPN-ben

Eredményeink szerint a vizsgálati személyek a kontroll időszakot követően alacsonyabbnak ítélték meg a mindennapi tevékenységeik során tapasztalt teljesítményszintjüket, az intervenciós időszakot követően pedig magasabb szintű teljesítményről számoltak be, mind a mindennapi, mind a sporthoz köthető tevékenységeiket illetően. Eredményeinket megerősíti egy négy héten keresztül végzett edzés hatásait vizsgáló tanulmány, ahol azok a vizsgálati személyek, akik az intervenciós időszakot követően szignifikáns fejlődést mutattak a mért paraméterekben, átlagosan 8 és 9 ponttal többet értek el a MÉT és ST alsókálakat tekintve is, azokkal szemben, akik nem értek el szignifikáns fejlődést

(Martin et al., 2005). A biomechanikai és funkcionális paraméterek között, valamint a szubjektív teljesítményszintek között azonban nem sikerült összefüggést kimutatni, mely feltehetően a vizsgálatban résztvevők alacsony létszámának tudható be.

7. Kutatásunk legfőbb eredményei

1. A testtömeg és a bokaízület plantarflexor izmainak relatív erőszintje befolyásolja az egyensúlyozó képességet DPN betegeknél.
2. A bokaízület plantarflexor izmainak ereje és dorsalflexor izmainak relatív ereje hatással van a járásképessegre DPN betegeknél.
3. A 12 hetes homokfelületen végzett edzés javította a plantarflexor izmok csúcsnyomatékát és az antagonista izmok elernyedésének a képességét dorsalflexió során DPN betegeknél.
4. A 12 hetes homokfelületen végzett edzés fejleszti az egyensúlyozó képességet DPN betegeknél.
5. A 12 hetes homokfelületen végzett edzés növeli a boka nyílrányú ízületi mozgásterjedelmét mind plantar-és dorsalflexióban és a járási sebességet DPN betegeknél.
6. A 12 hetes homokfelületen végzett edzés javította a mindennapi és a sporthoz köthető tevékenységek teljesítményszintjét DPN betegek esetében.
7. A homokfelület lehetővé teszi a DPN betegek biztonságos, mellékhatások nélküli, sérülésmentes képességfejlesztését.

8. Irodalomjegyzék

- American Diabetes Association. (2022) *Steps to prevent or delay nerve damage*. 5 September 2022. <https://diabetes.org/diabetes/neuropathy/steps-prevent-or-delay-nerve-damage>.
- Andersen, H. (1999) Motor Function in Diabetic Neuropathy. *Acta Neurologica Scandinavica* 100 (4): 211–20. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.1999.tb00383.x>.
- Andersen, H., Nielsen, S., Mogensen, C. E. and Jakobsen, J. (2004) Muscle Strength in Type 2 Diabetes. *Diabetes* 53 (6): 1543–48. <https://doi.org/10.2337/diabetes.53.6.1543>.
- Khdour, M. R. (2020) Treatment of Diabetic Peripheral Neuropathy: A Review. *The Journal of Pharmacy and Pharmacology* 72 (7): 863–72. <https://doi.org/10.1111/jphp.13241>.
- Martin, C. L., Albers, J., Herman, W. H., Cleary, P., Waberski, B., Greene, D. A., Stevens, M. J., Feldman, E. L. and DCCT/EDIC Research Group. (2006) Neuropathy among the Diabetes Control and Complications Trial Cohort 8 Years after Trial Completion. *Diabetes Care* 29 (2): 340–44. <https://doi.org/10.2337/diacare.29.02.06.dc05-1549>.

- Martin, R. L., Irrgang, J. J., Burdett, R. G., Conti, S. F. and Van Swearingen, J. M. (2005) Evidence of Validity for the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM). *Foot & Ankle International* 26 (11): 968–83. <https://doi.org/10.1177/107110070502601113>.
- Monteiro, R. L., Ferreira, J. S. S. P., Silva, É. Q., Cruvinel-Júnior, R. H., Veríssimo J. L., Bus, S. A. and Sacco, I. C. A. (2022) Foot-Ankle Therapeutic Exercise Program Can Improve Gait Speed in People with Diabetic Neuropathy: A Randomized Controlled Trial. *Scientific Reports* 12 (1): 7561. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11745-0>.
- Quiroz-Aldave, J., Durand-Vásquez, M., Gamarra-Osorio, E., Suarez-Rojas, J., Roseboom, P.-J., Alcalá-Mendoza, R., Coronado-Arroyo, J., Zavaleta-Gutiérrez, F., Concepción-Urteaga, L. and Concepción-Zavaleta, M. (2023) Diabetic Neuropathy: Past, Present, and Future. *Caspian Journal of Internal Medicine* 14 (2): 153–69. <https://doi.org/10.22088/cjim.14.2.153>.
- Riandini, T., Wee, h. L., Khoo, E. Y. H., Tai, B. C., Wang, W., Koh, G. C. H., Tai, E.S. (2018) Functional Status Mediates the Association between Peripheral Neuropathy and Health-Related Quality of Life in Individuals with Diabetes. *Acta Diabetologica* 55 (2): 155–64. <https://doi.org/10.1007/s00592-017-1077-8>.
- Rojhani-Shirazi, Z., Barzintaj, F. and Salimifard, M. R. (2017) Comparison the Effects of Two Types of Therapeutic Exercises Frenkele vs. Swiss Ball on the Clinical Balance Measures in Patients with Type II Diabetic Neuropathy. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, SI: Online Supplement - 1, 11 (November): S29–32. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2016.08.020>.
- Salsich, G. B., Mueller, M. J. and Sahrmann, S. A. (2000) Passive Ankle Stiffness in Subjects with Diabetes and Peripheral Neuropathy versus an Age-Matched Comparison Group. *Physical Therapy* 80 (4): 352–62. <https://doi.org/10.1093/ptj/80.4.352>.
- Sartor, C. D., Hasue, R. H., Cacciari, L. P., Butugan, M. K., Watari, R., Pássaro, A. C., Giacomozzi, C. and Sacco, I. C. N. (2014) Effects of Strengthening, Stretching and Functional Training on Foot Function in Patients with Diabetic Neuropathy: Results of a Randomized Controlled Trial. *BMC Musculoskeletal Disorders* 15 (April): 137. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-15-137>.
- Tesfaye, S. and Boulton, A. (2009) *Diabetic Neuropathy*. 2009th ed. Budapest: Oriold & Társai Kiadó.
- Tuttle, L. J., Hastings, M. K. and Mueller, M. J. (2012) A Moderate-Intensity Weight-Bearing Exercise Program for a Person with Type 2 Diabetes and Peripheral Neuropathy. *Physical Therapy* 92 (1): 133–41. <https://doi.org/10.2522/ptj.20110048>.

9. A jelölt témával kapcsolatos publikációi, előadásai

Az értekezés alapjául szolgáló tudományos közlemények (össz. impakt faktor (IF): 4,614)

- **Prókai J.**, Atlasz T., Vácz M. (2024): Antropometriai, biomechanikai és funkcionális paraméterek összefüggései neuropátiával járó diabétesz mellituszban szenvedő betegekben. *Magyar Sporttudományi Szemle*, (közlésre elfogadva)

- **Prókai J.**, Murlasits Zs., Bánhidi M., Csóka L., Gréci V., Atlasz T., Váczi M. (2023): The Effects of a 12-Week-Long Sand Exercise Training Program on Neuromechanical and Functional Parameters in Type II Diabetic Patients with Neuropathy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20 7 Paper 5413. 12 p.

Az értekezés alapjául szolgáló konferencia absztraktok

- **Prókai J.**, Atlasz T., Váczi M. (2022): The effects of a 12-week sand training on biomechanical and functional parameters in diabetic patients with neuropathy. *World Diabetes Congress 2022*, Lisbon and online.
- **Prókai J.**, Váczi M., Wittman I., Molnár G., Mikolás E., Pfund Z., Deli G., Gréci V., Kószegi T., Kovács K., Atlasz T. (2016): Homokon végzett edzés hatása neuropátiával járó 2-es típusú diabétesz mellituszban szenvedő betegeknél. *Magyar Sporttudományi Szemle*, 2016/2: p. 55.

Az értekezés alapját nem képező publikációk

- Murlasits Zs., László Sz., **Prókai J.**, Sebesi B. Scherer J., Tóvári F., Atlasz T., Tóvári A., Katona M., Cselkó A., Petrovics P., Balázs B., Váczi M. (2023): Physiological responses to an incremental swim test with different breathing frequencies in competitive male youth swimmers. *Journal of Physical Education and Sport*, 23 3: 697-703
- **Prókai J.**, Deli B., Vass L., (2020): Praktické využitie aerobiku pri formovaní zdravého životného štýlu. In: Takács G. - Györe V. (szerk.) *Rozvoj služieb zamerané na aktívny životny styl v mal ych obciach - Záverečná publikácia*. Bükkösd Jövőjéért Alapítvány, Pécs pp 105-119.
- **Prókai J.**, Deli B., Vass L., (2020): Practical feasibility of aerobics in developing a health-conscious approach. In: Takács G. - Györe V. (szerk.) *Development options of services related to active lifestyle in small settlements – Final research publication*. Bükkösd Jövőjéért Alapítvány, Pécs pp 104-119.

- **Prókai J.**, Deli B., Vass L., (2020): Az aerobik gyakorlati megvalósíthatósága az egészségtudatos szemlélet kialakításában. In: Takács G. - Györe V. (szerk.) *Az aktív életmódhoz kapcsolódó szolgáltatások fejlesztési lehetőségei a kistelepüléseken - Kutatási zárókiadvány.* Bükkösd Jövőjéért Alapítvány, Pécs pp 104-119.
- Cselkó A., Gép Zs., **Prókai J.** (2020): Formy a výhody rekreačného športu v mikroregionálnom prostredí. In: Takács G. - Györe V. (szerk.) *Rozvoj služieb zamerané na aktívny životný štýl v malých obciach - Záverečná publikácia.* Bükkösd Jövőjéért Alapítvány, Pécs pp 104-119.
- Cselkó A., Gép Zs., **Prókai J.** (2020): Forms of recreational sports and their advantages in a micro-regional environment. In: Takács G. - Györe V. (szerk.) *Development options of services related to active lifestyle in small settlements – Final research publication.* Bükkösd Jövőjéért Alapítvány, Pécs pp 104-119.
- Cselkó A., Gép Zs., **Prókai J.** (2020): Rekreációs sportolási formák és előnyei kistérségi környezetben. In: Takács G. - Györe V. (szerk.) *Az aktív életmódhoz kapcsolódó szolgáltatások fejlesztési lehetőségei a kistelepüléseken - Kutatási zárókiadvány.* Bükkösd Jövőjéért Alapítvány, Pécs pp 104-119.
- **Prókai J.**, Geszler C., Lukácsi B., Váczi M. (2016): Rövidtávú TRX edzés izommechanikai és funkcionális hatása edzetlen személyeknél. *Magyar Sporttudományi Szemle.* 17 4(68) pp 23-28.
- **Prókai J.** (szerk), Schulteisz N. (2015): *Divat-és Társastáncok.* Pécsi Tudományegyetem, Pécs 70 p.
- Morvay-Sey K. (szerk), Vass L., **Prókai J.**, Szentgyörgyvárné Juhász I., Fehér-Borsos A. (2014): *Mindennapos testnevelés alternatív lehetőségei: Válaszok a mindennapos testnevelés kihívásaira.* Pécsi Tudományegyetem, Pécs.

Az értekezés alapját nem képező előadások és konferencia absztraktok

- Fésüs Á., **Prókai J.**, Malmos V., Kuszi A., Vadász K., Sebesi B., Ivusza P., Gáspár B., Murlasics Zs., Váczi M. (2022): Excentrikus abduktor edzés krónikus hatása a térd mediális irányba történő elmozdulásának csökkentésére = Chronic effect of eccentric abductor training on the medial direction of the knee to reduce the shift in treatment. In: Prisztóka Gy., - Kertai B. (szerk.) *XX. Szentágothai János Mutidiszciplináris Konferencia és Hallgatói Verseny Absztrakt kötet / XX. János Szentágothai Multidisciplinary Conference and Student Competition Book of Abstracts*. PTE TTK Szentágothai János Szakkollégium, Tehetségpont és Egyesület, Pécs pp 277-278.
- **Prókai J.** (2013): A TRX edzés rövidtávú izommechanikai és funkcionális hatása moderáltan edzett személyeknél. In: Balogh L., Győri F., Molnár A (szerk.) *XXXI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Testnevelés- és Sporttudományi Szekció: Programfüzet és rezümé kötet*. Szegedi Tudományegyetem Juhász Gyula Pedagógusképző Kar, Szeged pp 130.