

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

Doktori (Ph.D.) értekezés

Prókai Judit Andrea

Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar

Egészségtudományi Doktori Iskola

Pécs, 2024

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
EGÉSZSÉGTUDOMÁNYI KAR
EGÉSZSÉGTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető: Prof. Dr. Bódis József
Programvezető: Prof. Dr. Kovács L. Gábor
Témavezetők: Dr. Váczai Márk, Dr. Atlasz Tamás

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

Doktori (Ph.D.) értekezés

Prókai Judit Andrea



Pécs, 2024

Tartalom

Rövidítések jegyzéke	5
1. Bevezetés	7
2. Szakirodalmi áttekintés	8
2.1 A diabéteszes neuropátia kialakulásának mechanizmusa	8
2.2 A diabéteszes neuropátia kialakulásának kockázati tényezői	9
2.3 A diabéteszes láb.....	10
2.4 A DPN mozgatórendszerre gyakorolt hatása	11
2.4.1 A DPN hatása a lábszár és a lábfej izmaira.....	11
2.4.2 A DPN hatása a bokaízület mozgásterjedelmére	11
2.4.3 A DPN hatása az egyensúlyozó képességre.....	12
2.4.4 A DPN járásra gyakorolt hatása.....	12
2.5 A DPN hatása az életvitelre	13
2.6 A DPN kezelési lehetőségei	14
2.6.1 A DPN gyógyszeres terápiás lehetőségei.....	15
2.6.2 A DPN lehetséges nem gyógyszeres kezelései	16
2.7 Különböző (szilárd és puha) felületen történő edzés	18
3. Problémafelvetés	19
4. Célkitűzések	19
5. Hipotézisek	20
6. Anyag és módszerek	21
6.1 Vizsgálati személyek.....	21
6.2 Vizsgálati protokoll.....	21
6.2.1 Testösszetétel	23
6.2.2 Maximális akaratlagos izometriás kontrakció teszt (MVIC)	24
6.2.3 Elektromiográfia (EMG).....	25
6.2.4 Ízületi mozgásterjedelem (IMT) vizsgálata	26
6.2.5 Egyensúly vizsgálata.....	27
6.2.6 TUG teszt	28
6.2.7 FAAM teszt.....	28
6.3 Homokon végzett edzés gyakorlatai	29
7. Eredmények	33
7.1 Az 1. hipotézis vizsgálatához szükséges eredmények bemutatása	33

7.2 A 2. hipotézis vizsgálatához szükséges eredmények bemutatása	36
7.3 A 3. hipotézis vizsgálatához szükséges eredmények bemutatása	38
8. Eredmények megbeszélése	41
8.1 A mindennapi tevékenységeket meghatározó járás- és egyensúlyozó képességet befolyásoló antropometriai és biomechanikai paraméterek DPN-ben.....	41
8.2 A 12 hetes homokon végzett edzés hatása különböző biomechanikai és funkcionális paraméterekre DPN-ben	43
8.3 A 12 hetes homokedzés hatása a mindennapi -és sporthoz köthető mozgásformák teljesítményének szintjére DPN-ben	47
9. Összefoglalás	48
10. Kutatásunk legfőbb eredményei	49
11. Irodalomjegyzék	50
Publikációk jegyzéke	64
Köszönetnyilvánítás	68
Mellékletek	69
Ábrák és táblázatok jegyzéke	72

Rövidítések jegyzéke

DM = diabétesz mellitusz

DN = diabéteszes neuropátia

DPN = diabéteszes perifériás neuropátia

AGE = végglikációs termékek

HbA1c = hemoglobin A1C

MRI = mágneses rezonancia képalkotás

AAN= American Academy of Neurology

TENS= transzkután elektromos idegstimuláció

ASCM = American Collage of Sports Medicine

ADA = American Diabetes Association

TA= tibialis anterior

MG = medialis gastrocnemius

LG = lateralis gastrocnemius

TUG = Timed Up and Go teszt

WHO = World Health Organization

FAAM = Foot and Ankle Ability Measure

EMG = elektromos izomaktivitás

AP = antropometriai paraméterek

BP = biomechanikai paraméterek

FP = funkcionális paraméterek

TM = testmagasság

TT = testtömeg

BMI = testtömegindex

TZS = testzsírszázalék

VIT = vázizomtömeg

IMT_{PF} = ízületi mozgásterjedelem plantarflexióban

IMT_{DF} = ízületi mozgásterjedelem dorsalflexióban

M_{PF} = plantarflexió irányú maximális izometriás erő kifejtés csúcsnyomatéka

M_{DF} = dorsalflexió irányú maximális izometriás erő kifejtés csúcsnyomatéka

relatív M_{PF} = testtömeghez normalizált plantarflexió irányú maximális izometriás erő kifejtés csúcsnyomatéka

relatív M_{DF} = testtömeghez normalizált dorsalflexió irányú maximális izometriás erő kifejtés csúcsnyomatéka

E = egyensúly

MVIC = maximális akaratlagos izometriás kontrakció

$EMG_{LG/TA}$ = lateralis gastrocnemius és tibialis anterior aktivációs aránya

$EMG_{MG/TA}$ = medialis gastrocnemius és tibialis anterior aktivációs aránya

$EMG_{TA/LG}$ = tibialis anterior és lateralis gastrocnemius aktivációs aránya

$EMG_{TA/MG}$ = tibialis anterior és medialis gastrocnemius aktivációs aránya

MÉT = mindennapi élet tevékenységei

ST = sporttevékenységek

FMÉT = funkcionalitás a mindennapi élet tevékenységeiben

FST = funkcionalitás a sporttevékenységekben

SZP = szubjektív paraméterek

Δ 2-3 IMT_{PF} = ízületi mozgásterjedelem változás plantarflexióban a 2. és a 3. teszt között

Δ 2-3 IMT_{DF} = ízületi mozgásterjedelem változás dorsalflexióban a 2. és a 3. teszt között

Δ 2-3 M_{PF} = maximális forgatónyomaték változás plantarflexióban a 2. és a 3. teszt között

Δ 2-3 M_{DF} = maximális forgatónyomaték változás dorsalflexióban a 2. és a 3. teszt között

Δ 2-3 E = egyensúly változása a 2. és 3. teszt között

Δ 2-3 TUG = Timed Up and Go teszt végrehajtási idejének változása a 2. és 3. teszt között

Δ 2-3 MÉT = mindennapos fizikai teljesítmény változása a 2. és 3. teszt között

Δ 2-3 ST = sporttevékenység teljesítmény változása a 2. és 3. teszt között

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 (Sun et al., 2022). A különböző típusú neuropátiák, a diabétesz leggyakoribb késői szövődményeként, a betegek megközelítőleg akár 50 százalékát is érinthetik (Dyck et al., 1993; Young et al., 1993; Kumar et al., 1994; Cabezas-Cerrato, 1998). Az idegrendszert megbetegítő állapotok széles skáláját foglalják magukba, melyek közül a leggyakoribb a diabéteszes perifériás neuropátia (DPN) (Tefaye 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 (Pirart, 1978; Diabetes Control and Complications Trial Research Group et al., 1993; Martin et al., 2006). A cukorbetegség és a hozzákapcsolódó hosszú távú következményei jelentős költséget jelentenek a globális gazdaság számára, mely magába foglalja mind az orvosi ellátásból származó közvetlen költségeket, mind a termelékenység vagy a jövedelem csökkenése miatt felmerülő közvetett költségeket is. Vizsgálatok szerint 2030-ra a cukorbetegség és szövődményei előreláthatólag még nagyobb terhet fognak jelenteni a nemzeti egészségügyi rendszerek és gazdaságok számára, mint jelenleg, mind a GDP-hez viszonyítva, mind az abszolút költségek tekintetében (Bommer et al., 2018). A World Health Organization (WHO) 2013-ban kiadott akcióterve szerint az ajánlásaik végrehajtásának költségei messze alul maradnak ahhoz képest, ha nem történik változás a diabétesz megelőzése és kontrollja tekintetében (WHO, 2013).

A diabéteszhez köthető társadalmi -, szociális -, egészségügyi -, gazdasági problémák súlyosságát igazolja, hogy a diabétesz mellitushoz (DM) kapcsolódó kutatások száma megközelíti a százezret. A felmutatott eredmények ellenére azonban a betegség továbbra is népbetegségnek számít. A DM szövődményeiként jelentkező neuropátiák kutatásával kapcsolatban már csak kétezer tudományos munkát találunk a PubMed kereső felületén. A WHO 2018-ban kiadott akcióterve a fizikai aktivitással összefüggésben világosan kimondja, hogy a rendszeres fizikai aktivitás bizonyítottan segít a DM megelőzésében és kezelésében. Segíthet továbbá a magas vérnyomás, a túlsúly és az elhízás megelőzésében és javíthatja a mentális egészséget, az életminőséget és jólétet (WHO, 2018). Azonban, ha a diabétesz neuropátiák

kezelésében alkalmazott fizikai aktivitással összefüggő kutatásokat szeretnénk vizsgálni, a PubMed felületén mindössze száztizenkét találatot kapunk.

Jelen kutatásunkban ezért a DPN kialakulásában szerepet játszó biológiai faktorok feltérképezése mellett, egy homok felületen végzett, a DPN által leginkább érintett alsó végtagokra specifikált edzésünk vizsgálatát és eredményeit mutatjuk be, valamint ezek hatását a mindennapos -és sport tevékenységek szubjektív megítélésére.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1 A diabéteszes neuropátia kialakulásának mechanizmusa

Bár a diabéteszes neuropátiával (DN) kapcsolatos első felfedezések óta a betegséggel foglalkozó kutatások jelentős előre lépéseket tettek kialakulásának megértésében (Skljarevski and Lledo, 2006; Boulton, 2014), a DN kialakulásához vezető mechanizmusok még mindig kevésbé ismertek.

A neuropátia a perifériás és autonóm idegek degeneratív károsodása. A neuropátia kialakulásában döntően két mechanizmus játszik szerepet, az idegszövet mikrocirkulációját biztosító vasa nervosum funkcionális és/vagy strukturális károsodása –ami végső soron az idegszövet vérellátásának csökkenését eredményezi-, illetve bizonyos anyagcsere-tényezőknek az idegelemeket közvetlenül érő hatása. Ezek a folyamatok egyidejűleg, egymás mellett zajlanak, és több ponton is kapcsolódnak egymással (Forbes and Cooper, 2013). Az egyik ilyen összekapcsoló tényező a nitrogén-monoxid (Kilo et al., 2000; Cameron et al., 2001), amelynek szöveti szintje –az endoneurialis véráramlás károsodásának, valamint az oxidatív gyökök fokozott képződésének eredményeként csökkenhet. A reaktív gyökök fokozott képződésének és az antioxidáns védelem csökkenésének együttes jelenléte alakítja ki az „oxidatív stressz” állapotát, ami a mikro- és a makrovaszkuláris károsodások végső közös tényezője (Rodella et al., 2000).

A mikrovaszkuláris eltérések háttérben részben érfali károsodások állnak. Az emelkedett vércukorszint az érfal sejtjeit összetett hatások útján károsítja. A hyperglikémia további következményeként fokozódik a fehérjék nem- enzimátikus glikációja, ún. végglikációs termékek (AGE) szaporodnak fel, amely következtében a lipidperoxidáció felgyorsul (Hounsom et al., 2001; Feldman et al., 2019), és megváltozik a sejtek koleszterin anyagcseréje is. Az AGE felszaporodás az érfali sejtek működését jelentősen károsítja (Androne et al., 2000), ennek következtében pedig az érfal is jelentősen sérül. Az endoneurális kapillárisok bazálmembránja

megvastagszik, a kapillárisok belső átmérője beszűkül, az áramlási ellenállás megnő, a keringés az érintett területen lelassul (Androne et al., 2000). Mindezeknek a következtében romlik az oxigénellátás és szöveti hypoxia lép fel. A károsodás hosszabb idejű fennállása az idegszövet funkcionális, majd strukturális változását, az myelinhüvelyek károsodását, végső soron demyelinizációt és az axonok atrófiáját eredményezi (Gumy et al., 2008; Dunnigan et al., 2013). A magas vércukorszint következtében károsodik a neuron anyagcséréje, a membrán Na^+/K^+ -ATP-áz aktivitása, melynek következményeként intracellulárisan nő a nátrium és csökken a kálium koncentrációja. A Na^+ - tartalom emelkedése az axoneredési dombon axonduzzadáshoz, a myelinlemezek és az axon szeparálódásához vezet (Viader et al., 2013; Callaghan et al., 2020). A mikrovaszkuláris károsodások szempontjából veszélyeztetett szövetekben- mint például, az idegszövet, vagy az erek endothelje- a glukóz felvétele inzulin nondependens módon, az extracelluláris, majd az intracelluláris koncentrációgrádiens követve történik, az idegsejtekbe jutó glukóz mennyisége az extracelluláris tér glukóztartalmának emelkedésével arányosan nő (Callaghan et al., 2012). A hyperglükémiában fokozottabb glukóz-beáramlással a rendelkezésre álló hexokináz enzimkapacitás csak bizonyos mértékig tud lépést tartani, így az intermedier anyagcsere részben a szorbitol-képződés irányába terelődik. A szorbitol ezután tovább alakul fruktózzá, s ez több reakcióúton keresztül biztosítja a visszacsatolást a megszokott anyagcsereút felé. A szorbitol, illetve a reakcióút átmeneti végtermékeként megjelenő fruktóz fokozott képződése összetett mechanizmusok révén károsítja a szövetek működését (Albers and Pop-Busui, 2014). Az endoneuriumban, az idegsejtben, illetve az azt körülvevő ideghüvelyben egyidejűleg zajló folyamatok végső soron fokozott szabadgyök-képződést, és az antioxidáns védelem gyengülését eredményezik (Khalid et al., 2022).

2.2 A diabéteszes neuropátia kialakulásának kockázati tényezői

A DM nevezhető a legfőbb kockázati tényezőnek a neuropátia kialakulásában. A DM időtartama és a hemoglobin A1C (HbA1c) szintje előre jelzi a neuropátia kialakulását (Tesfaye et al., 2005). Számos epidemiológiai tanulmány kimutatta, hogy az elhízás a DN kialakulásának második legfontosabb kockázati tényezője (Hanewinkel et al., 2016; Callaghan et al., 2016; Andersen et al., 2018). Kutatások megállapították, hogy a DN előfordulásának esélye szoros kapcsolatban van a testtömeg indexszel (Tesfaye et al., 2005; Van Acker et al., 2009). A metabolikus

szindróma egyéb összetevői (hipertrigliceridémia, magas vérnyomás és a HDL lipoproteinek alacsony szintje) szintén hozzájárulnak a DN kialakulásához (Callaghan et al., 2016; 2018). További kockázati tényezők közé tartozik az idős kor, a dohányzás, az alkoholizmus is (Callaghan et al., 2015). Egy kutatásukban különböző etnikai csoportok összehasonlítása során a DN-t összefüggésbe hozták a testmagassággal, mely szerint a neuropátia prevalenciája magasabb a fehér etnikumú populációban (Sosenko, 2009). Ezen megállapításukat későbbi kutatásukban is alátámasztották (Gadia et al., 1987), azonban a genetika pontos szerepe a DN kialakulásában még nem teljes mértékben ismert.

2.3 A diabéteszes láb

A DPN esetében, a lábak a leginkább érintettek a motoros működészavarokat illetően, amelyeknek a cukorbetegnek ki vannak téve (Van Deursen, 2004). A diabéteszes láb létrejöttében a disztalis típusú, szenzoros neuropátia a meghatározó tényező, de kialakulásában a motoros és az autonóm rostok károsodása, illetve más tényezők (strukturális csont- és ízületi eltérések, statikai változások, sérülések, fertőzések) is szerepet kapnak (Bandyk, 2018). A disztalis típusú szenzoros neuropátiára a hő-, a fájdalom- és a vibrációérzet károsodása, illetve a finom tapintási érzés kiesése a jellemző. Domináló vastagrostkárosodás esetén bizonytalanságérzés, a finom tapintás, valamint az alsó végtagi reflexek kiesése a jellemző. Az ún. „pozitív” szenzoros tünetegyüttes jellemzően zsibbadással, bizsergéssel, hangyamászás-szerű érzéssel jár, a tünetek típusosan nyugalomban, gyakran éjszaka jelentkeznek, harisnya-kesztyű jellegű eloszlást mutatnak. Az érző működés romlásával járó neuropátia formák fennállása esetén a hő- és fájdalomérzet károsodása áll előtérben. E „negatív tünetegyüttes” a beteg számára jellemzően semmiféle panaszt nem okoz, így viszonylag hosszú időn keresztül észrevétlen maradhat. A hypaesthesia következtében a beteg nem érzékeli az alsó végtagot érő kisebb-nagyobb, sokszor mindennapos sérüléseket, melyeket például a mezítláb járás, illetve a cipőben levő kő vagy szög okoz – esetleg maga a cipő nyomja a lábat. Ily módon fájdalomtalan, vagy neuropátiás fekély keletkezhet (Said, 2007). A szenzoros neuropátia fennállása esetén az időskorúak elesési kockázata húszszorosára emelkedik (Reeves et al., 2021). Tekintve, hogy a szenzoros neuropátia az osteoporosis önálló rizikófaktorának is tekinthető (Mohseni et al., 2021), DPN betegek esetében az elesések kockázatának jelentős fokozódása miatt a csonttörések kockázata is magasabb lesz.

A továbbiakban részletesebben tekintjük át a DPN mozgatórendszerre gyakorolt azon hatásait, mely kutatásunkhoz szervesen kapcsolódik.

2.4 A DPN mozgatórendszerre gyakorolt hatása

2.4.1 A DPN hatása a lábszár és a lábfej izmaira

DPN betegek esetében csökkent az izmok erőkifejtése (Andreassen et al., 2009), amely dinamikus és statikus körülmények között is érinti a boka plantar- és dorsalflexió irányba hajlító izmait. Kutatások szerint, a lábszár izmok diszfunkciójának (Boulton, 2004) az egyik oka a lábszár és lábfej izmainak atrófiája lehet, mely jellemző ebben a populációban (Andreassen et al., 2006). Mágneses rezonancia (MRI) képalkotási technikával végzett kutatások kimutatták, hogy a DPN betegek körében ezeket az izmokat hipotrófnak találták a nem neuropátiás diabéteszes és nem diabéteszes egyénekhez képest (Andreassen et al., 2006). A bokaízület plantar- és dorsalflexor izmainak izometrikus ereje csökkent mind az egészséges, mind a diabéteszes nem neuropátiás kontrollcsoportokhoz képest (Allen et al., 2014). DPN betegek esetében a plantar flexor izmoknál 14%-al, a dorsalflexor izmoknál pedig 17%-al alacsonyabb forgatónyomatékokot regisztráltak dinamométeren mért maximális izometriás erőkifejtés teszt során az egészséges kontroll csoporthoz képest, és összefüggést találtak a boka izmainak ereje és a DPN súlyossága között is (Andersen, et al. 2004). Bizonyított továbbá az izmok összehúzóási sebességének lassulása is, ami csökkent járássebességet és jelentős funkcionális károsodást eredményez (Ijzerman et al., 2011). Diabéteszben szenvedő betegek körében végzett keresztmetszeti kutatás kimutatta, hogy az alacsonyabb izomerő fordítottan korrelált az életkorral és a diabéteszben eltöltött idővel (Balducci et al., 2014).

2.4.2 A DPN hatása a bokaízület mozgásterjedelmére

A csökkent ízületi mozgásterjedelem a diabétesz másik gyakori hosszú távú következménye, amely a DPN betegeket érinti. Kialakulása nagyrészt a lágyszöveti struktúrákhoz kapcsolódik. A disztális ízületek környékén klinikai megfigyelések során szöveti elváltozásokat figyeltek meg, mint például ízületi struktúrák, inak, szalagok megvastagodása DPN betegek esetében (Goldsmith et al., 2002; Zimny et al., 2004). Ezek a szövetek nagyobb arányban tartalmaznak kollagént, ami miatt fokozottabban vannak kitéve nem-enzimatikus glikolizációnak a megemelkedett

vércukorszint következtében, amely csökkenti a szövetek rugalmasságát. 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, továbbá csökken a talpi terhelés elnyelő képessége a mindennapi fizikai tevékenységek során (Salsich et al., 2000). Mindezen változások következtében diszfunkció alakul ki az érintett területen. A diabéteszes láb esetében döntő fontosságú a bokaízület mobilitása, mivel ezen a területen még a mozgástartomány kis mértékű elvesztése is növelheti a talpi nyomást járás közben, ami diabéteszes betegek esetében a fekélyesedés kockázatát vetíti előre (Rao et al., 2010).

2.4.3 A DPN hatása az egyensúlyozó képességre

A proprioceptív visszacsatolás a vizuális és vesztibuláris érzékekkel kombinálva fontos szerepet játszik a testtartás fenntartásában és szabályozásában stabil és instabil körülmények között egyaránt (Nardone et al., 2006; Jung et al., 2021). DPN esetében azonban bizonyított a perifériás ideg funkciók szintjének csökkenése miatt a test fokozottabb instabilitása. A DPN beteg alsó végtagjaiból származó pontos proprioceptív információk hiánya különböző statikus és dinamikus helyzetekben testtartásbeli instabilitást eredményez, különösen váratlan instabil körülmények között (Ghanavati et al., 2012). Számos tanulmány szerint a szenzoros funkciók mellett, a peroneális motoros amplitúdó és a boka vibrációs érzése is csökkent szintű (Simoneau et al., 1994; Richardson, 2002). A DPN által okozott összes motoros és funkcionális korlátozottság tartási instabilitáshoz és a járás kinematikájának megváltozásához vezet (Sawacha et al., 2009, 2012; Sartor et al., 2014), ezért DPN betegek esetében nagy a kockázata az elesésnek és annak életveszélyes következményeinek (Rojhani-Shirazi et al., 2017). Az elesések éves előfordulási aránya 39% ebben a populációban a 65 év feletti egyéneknél (Hewston and Deshpande, 2016).

2.4.4 A DPN járásra gyakorolt hatása

Mivel a DPN mind a szenzoros, mind a motoros funkciókat érinti, a neuromuszkuláris károsodás az alsó végtag biomechanikájának megváltozását eredményezheti (Allet et al., 2009). Egyre több bizonyíték utal arra, hogy a vázizomzat cukorbetegséggel összefüggő károsodása, a csökkent izomerő és -tömeg a

cukorbetegéknél megfigyelt járás korlátozottságot nagyban befolyásolja (Volpato et al., 2012). A DPN betegek esetében a Timed Up and Go (TUG) teszt végrehajtásának ideje 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, mely tényezők következtében a DPN betegek esetében nagyobb az elesés veszélyének a kockázata is (Menz et al., 2004; Allet et al., 2009). Megfigyelték továbbá, hogy a soleus, a medialis gastrocnemius (MG) és a medialis hamstring izmok szignifikánsan korábban kapcsolódnak be a járás ciklusa során a sarokkal történő talajfogást követően, mint az egészséges kontroll alanyok esetében. A soleus, tibialis anterior (TA), vastus medialis és medialis hamstring izmok aktivációs ideje szignifikánsan hosszabb a DPN betegekénél járás során. Esetükben az agonista és antagonisták izmok koaktivációja magasabb a boka- és térdízületben is. Ezek a járásváltozások és extra kontrakciók lehetővé tehetik a DPN betegek számára a biztonságosabb, stabilabb járásmintát, amellyel kompenzálni tudják a boka és a lábfej csökkent érzékelő funkcióit (Kwon et al., 2003).

2.5 A DPN hatása az életvitelre

Egy kutatásban összefüggést találtak DPN betegek vizsgálata során a csökkent alsó végtagi maximális izomerő, a csökkent funkcionális mozgásképesség és az egészséghez kapcsolódó életminőség között (Ijzerman et al., 2012). Az alsó végtagok fizikai működésének károsodása kulcsfontosságú szerepet játszik a fizikai függetlenség elvesztésében, és jelentős negatív hatással van az életminőség romlására is (van Schie, 2008). Más kutatók arról is beszámoltak, hogy a neuropátia azon tünetei, mint például az egyensúlyhoz kapcsolódó bizonytalanság és a napi tevékenységekben való korlátozottság, az eséstől való fokozott félelemhez és pszichológiai szorongáshoz kapcsolódnak (Venkataraman et al., 2019).

Az életminőség egyik fontos meghatározója a járás képessége (Schwartz et al., 2008). Az alsó lábszár izmainak diszfunkciója és csökkent ízületi mobilitás figyelhető meg DPN betegekénél (Goldsmith et al., 2002; Zimny et al., 2004; Boulton, 2004). Ezek a DPN által okozott korlátozások testtartási instabilitáshoz és a járási kinematika megváltozásához vezetnek (Sawacha et al., 2009; 2012; Sartor et al., 2014). A láb megfelelő funkciójának elvesztése és a kapcsolódó neuromechanikai tulajdonságok a DPN legkifejezettebb megnyilvánulásai, amelyek a mobilitás és az életminőség drámai romlásához vezetnek (Sartor et al., 2012).

Az életminőség másik fontos meghatározója az egyensúlyozás képessége. A diabéteszes szövödmények, beleértve a DPN-t is, növelik az egyén elesésének kockázatát. (Schwartz et al., 2008) Bár számos kockázati tényező áll összefüggésben az esésekkel, a kutatások az egyik leggyakrabban a nem megfelelő egyensúlyt azonosították (Hewston and Deshpande, 2016), melynek szintje alacsonyabb a DPN betegek esetében (Riandini et al., 2018).

A diabéteszes lábat érintő szövödmények általában a perifériás neuropátia lefolyásának menetét követik, mely a fekélyesedés kialakulását követően részleges lábfej, majd alsó végtagi amputációhoz vezethet. Diabéteszes betegek esetében, legnagyobb százalékban (85%) lábfej fekélyek okozza az alsó végtag amputációját (Sartor et al., 2012). Több, éveken át tartó után követéses vizsgálat során a perifériás neuropátiát az újonnan kialakuló alsó végtagi fekély és a halálozás legérzékenyebb, független előre jelzőjének találták (Coppini et al., 2000; Rastogi et al., 2020). A rossz prognózis egyik fontos összetevője, hogy a cukorbetegéken végzett amputációk 50-75%-ért a diabéteszes neuropátiát teszik felelőssé, az amputációt követő ötéves halálozás pedig eléri a 39-68 %-ot (Selvarajah et al., 2019). Ezek a progresszívan jelentkező korlátozottságok nagymértékben rontják a betegek mindennapos tevékenységeinek elvégzését, életszínvonalának minőségét.

2.6 A DPN kezelési lehetőségei

A témában megjelent szakirodalmak egyetértenek abban, hogy az alkalmazott terápiák valamelyikének megkezdése előtt, az első lépés az intenzív vércukorszint ellenőrzés és a hatékony életmódváltoztatás kell, hogy legyen (Amorizzo et al., 2023).

Mindezekon túl szükség van további beavatkozásra is, így a gyógyszeres terápiák és a nem farmakológiai beavatkozások képezik a DPN kezelésének alapját (Quiroz-Aldave et al., 2023). Az Amerikai Neurológiai Akadémia (AAN), Neurológiai Társaságok Európai Szövetsége (EFNS), Nemzetközi Neuropátiás Fájdalom Speciális Érdekcsoport Fájdalomkutató Egyesület (NeuPSIG IASP) és a Nemzeti Egészségügyi és Gondozási Kiválósági Intézet (NICE) által kiadott nemzetközi ajánlások szerint is a gyógyszereket tulajdonságaik, hatásuk, mellékhatásaik alapján három csoportra osztják, így megkülönböztetünk első -, második -, harmadik vonalbeli gyógyszereket (Javed et al., 2015). A nem gyógyszeres terápiák közé tartozik többek között a mozgásterápia, elektroterápia, akupunktúra és moxibúció is, bár jelenleg már egyéb kutatások is folynak az antioxidáns terápiák területén (Khdour, 2020).

2.6.1 A DPN gyógyszeres terápiás lehetőségei

Mivel a DPN kialakulásának folyamata nem teljesen tisztázott, ezért a klinikai gyógyszeres kezelések a tünetek, különös képpen a fájdalom enyhítésére, valamint a vércukorszint javítására és a kardiovaszkuláris kockázati tényezők csökkentésére összpontosít (Yang et al., 2022). Bár többféle gyógyszeres terápia áll rendelkezésre, az iránymutatások és ajánlásoknak a DPN kezelésében még nem jutottak egységes konszenzusra, amely gyakran megnehezíti a terápiás lehetőségeket a klinikai gyakorlatban (Ardeleanu et al., 2020), és a DPN betegek félrekezeléséhez vezet (Khdour, 2020). További problémát okoz, hogy a kezelésben alkalmazott gyógyszereknek számos mellékhatása is van.

A metformin a fő terápia a 2-es típusú DM-ben, és kutatások szerint különböző hatásokkal játszik szerepet a betegség kezelésében, mint például a glikolizációs végtermékek és a neurodegeneratív folyamatok megváltoztatása (Singh et al., 2014; Markowicz-Piasecka et al., 2017). Azonban a kutatások azt mutatják, hogy a metformin kumulatív dózisa a kobalamin szintjének csökkenéséhez és a DPN szintjének romlásához vezet (Hashem et al., 2021).

A betegségben alkalmazott további kezeléseket három fő csoportra oszthatjuk. Az első vonalbeli gyógyszerek közé tartoznak a különböző triciklikus antidepresszánsok, antikonvulzánsok, illetve a szerotonin és noradrenaline felvételét gátló inhibitorok (Deng et al., 2016). Mellékhatásaik közé tartoznak többek között a hányás, fizikai függőség, antikolinerg és szedatív tulajdonságok, szédülés, szívritmuszavar, ödéma, ízületi fájdalom és a testsúly gyarapodás is (Gao et al., 2015; Vinik et al., 2016; Mu et al., 2018; Jingxuan et al., 2021). A második és harmadik vonalbeli gyógyszerek közé tartoznak az opioidok és fájdalomcsillapítók (Deng et al., 2016). Az opioidok bár potenciálisan hatékonyak lehetnek a neuropátiás fájdalom kezelésében, a mellékhatások és a függőséggel kapcsolatos aggodalmak miatt nem tekintik őket elsődleges lehetőségnek (Ardeleanu et al., 2020). A fájdalomcsillapítás területén alkalmazott gyógyszerek hatékonysága nagyrészt nem kielégítő, és használatuk gyakran súlyos káros mellékhatásokkal jár.

Az elmúlt néhány évtizedben a növényi gyógyszerek is figyelmet kaptak, mint potenciális terápiás szerek a diabéteszes szövődmények megelőzésében és kezelésében, többoldalú hatásuk és kisebb arányú mellékhatásaik miatt (Xu et al.,

2012; Lee et al., 2013; Yang et al., 2022; Wang et al., 2023; Bajaj and Gupta, 2023). Azonban ezeknek a növények a többségét nem vizsgálták, és bár a növényi kivonatok vagy a növényekből származó egyedi vegyületek nagy potenciállal rendelkeznek, a mögöttes molekuláris mechanizmus nem eléggé tisztázott, így ezek tisztázására további kutatások szükségesek (Singh et al., 2013).

Látható, hogy a gyógyszeres kezelések szinte minden esetben mellékhatások kiváltásával járnak együtt, melyek kezelése nem csak további pénzügyi terheket ró a betegekre, de életminőségüket is tovább ronthatja. Megoldásokat kell tehát keresni, olyan terápiákat, amelyek káros mellékhatások nélkül képesek a beteg állapotán javítani. A továbbiakban ezért áttekintjük a DPN néhány nem gyógyszeres kezelési lehetőségét.

2.6.2 A DPN lehetséges nem gyógyszeres kezelése

Az egyik létező alternatíva az elektroterápia. Lehetőségei közé tartozik a transzcután elektromos idegstimuláció (TENS), pulzáló mágneses mező és statikus mágneses mező alkalmazása, valamint a nagyfrekvenciás külső izomstimuláció is (Xue et al., 2021), bár az AAN kizárólag a TENS alkalmazását javasolja DPN-hez köthető fájdalom kezelésében (Dubinsky and Miyasaki, 2010). A TENS előnyei a biztonság, és a beavatkozás nem invazív jellege, azonban pontos szerepe még mindig vitás.

További terápiaként alkalmazzák még az akupunktúrát és a moxibúciót is. Az első esetben akupunktúrás tűvel, a második esetben a fekete ürömfű (*Artemisia Vulgaris*) száraz leveleinek égetésével stimulálják a test különböző pontjait a meridiánok mentén. Kutatások szerint hatásukra javulhat az idegvezetés és enyhítheti a DPN beteg klinikai tüneteit, különösen fájdalom esetén (Jeon et al., 2014). A témában eddig közölt kutatások alacsony minősége miatt azonban a kezelések pontos hatási és hosszú távú következményei még kérdésesek (Dimitrova et al., 2017).

Mіндеzen terápiákra, beleértve az antioxidáns terápiát is, alapvetően jellemző, hogy a fájdalomcsillapításban lehet jelentőségük (Khdour, 2020). Fontos olyan terápiás lehetőségek feltérképezése, amelyek a DPN egyéb, a szervezet motoros működésére gyakorolt negatív hatásait is célozzák. Korábban még sem az American Collage of Sports Medicine (ASCM) sem az American Diabetes Association (ADA) nem támogatta a rezisztencia gyakorlatokat a DPN betegek esetében, a bőrsérülések és fekélyek előfordulásának nagyobb esélye miatt (Sigal et al., 2006). Számos kutatás

azonban bizonyítékokat szolgáltat ezekkel a hagyományos nézetekkel ellentétben, miszerint a DPN betegeknek kerülniük kell a terhet viselő gyakorlatokat (Armstrong et al., 2004; LeMaster et al., 2008; Colberg et al., 2016). Egy randomizált kontrollált kutatás eredménye azt mutatta, hogy progresszívan emelkedő terheléssel járó tevékenységek nem növelték a fekélyesedés kockázatát DPN esetén (LeMaster et al., 2008). A növekvő mennyiségű bizonyítékra alapozva a legújabb ajánlások az ACSM és ADA részéről támogatják a közepes tempójú sétát DPN-ben érintettek számára. A következőkben a DPN betegek esetében alkalmazott edzésintervenciók során kapott eredményeket szeretnénk bemutatni.

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). Továbbá, annak ellenére, hogy egy 10 hetes edzés javította a térd- és csípőízületi feszítők erejét, a diabétesznek leginkább kitett lábszár izmokat ebben a vizsgálatban nem edzették (Praet et al., 2008). 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. DPN-es betegeknél a bokaízület dorsalflexor izmainak aktivációja hosszabb idejű a nem neuropátiás cukorbeteghez vagy egészséges egyénekhez képest. (Savelberg et al., 2010). Egy 8 hetes szenzomotoros és járással kapcsolatos feladatokat tartalmazó edzés intervenció után a TA és MG aktivációja csökkent állásban, és nőtt a futópádon végzett járás során, azonban meg kell jegyezni, hogy az egyes edzések időtartama 80 perc 3x/hét volt, ami nem biztos, hogy mindenki számára megvalósítható (Ahmad et al., 2020). A fenti adatok azt sugallják, hogy az edzés intervenció tanulóknak alaposan meg kell vizsgálniuk és figyelemmel kell kísérniük azokat a neuromechanikai mechanizmusokat, amelyek megmagyarázzák a motoros funkció javulását vagy nem javulását.

A bokaízület mozgásterjedelmének (IMT) javítását célzó tanulmányok között is számos egymásnak ellentmondó eredményt találtunk. Az otthon végzett nyújtó

hatású gyakorlatok végzése után nem találtak pozitív változást a bokaízület mozgásterjedelmét illetően (Goldsmith et al., 2002), ellenben a szakember által vezetett és felügyelt programot követően igen (Monteiro et al., 2022).

Ugyanez volt a helyzet az egyensúlyi edzések hatásait vizsgáló tanulmányokban is. Az otthoni, önállóan végzett foglalkozások után nem javult az egyensúly (Kruse et al., 2010), de a felügyelt, az egyensúly fejlesztését célzó edzésprogramok javították annak szintjét (Ahn and Song, 2012), vagy pozitív hatást gyakoroltak a járás képességének fejlődésére (Allet et al., 2010).

2.7 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. Egészséges egyéneknél kimutatták, hogy a szilárd felületeken végzett gyakorlatok nagyobb savasodást és mikrokárosodást okoznak az izomban, mint más felületek, mint például homok, fű, vagy szivacszőnyeg (Miyama and Nosaka, 2004; Impellizzeri et al., 2008). Az 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 (Mueller et al., 2013), fájdalom kialakulása az Achilles-ínban szilárd felületen végzett edzés után (Allet et al. 2010), vagy izomláz jelentkezett (Sartor et al., 2014). Az ilyen negatív hatások elkerülése érdekében a puha felületen végzett testmozgás alternatíva lehet a DPN betegek számára. A puha felület, például a homok, csökkentheti az inak terhelését mind a talajfogás, mind az elrugaszkodási fázisban (Javorek, 1991). Az ADA szerint, a DPN betegek számára az erő és az egyensúly gyakorlatok kombinációja ajánlott (Colberg et al., 2016), és 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 erő kifejtésben résztvevő izmai aktívabbá váljanak (Arazi et al., 2014). 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. Korábbi vizsgálatok szerint krónikus boka instabilitásban szenvedő idős női betegeknek javult az egyensúly (Shin et al., 2019), propioceptív érzékelés, és izomaktiváció homokfelületen végzett edzést követően (Lee and So, 2019). Ezért a homokon végzett edzés kedvező erő-, egyensúly- és funkcionális változásokat tehet lehetővé a DPN betegeknek, miközben csökkenti a sérülések kockázatát, de ezt a hipotézist még nem vizsgálták.

3. Problémafelvetés

A DPN hosszútávú szövődményei következtében a boka -és lábfej kis ízületeinek mozgásterjedelme, a lábszár izmainak ereje és funkciójának szintje együttesen csökken, amely a talp megváltozott gördülési fázisához vezet járás során (Allen et al., 2013). Ezen képességek normál mértékű együttes kapcsolata elengedhetetlen a terhelés megfelelő elnyelésének eléréséhez. A DPN által okozott összes motoros és funkcionális korlátoltság csökkent egyensúlyozó képességhez és a lokomóció megváltozott biomechanikájához vezet, amely eredményeképpen nő az elesések előfordulásának veszélye (Sartor et al., 2014). Az ilyen incidensek következményei jelentősen rontják a DPN betegek életminőségét.

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, annak alapját képezve az egész folyamatát végig kellene kísérnie.

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.

4. Célkitűzések

Jelenleg, sem a cukorbetegség, sem pedig késői szövődménye, a DPN esetében a szoros vércukor kontrollon és neuropathiás fájdalom kezelésén kívül, sem

Európában, sem pedig az Egyesült Államokban nem áll rendelkezésre gyógymód, ezért döntő fontosságú a neuropátia potenciálisan módosítható kockázati tényezőinek azonosítása. 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. A csökkentett 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 vizsgálata a DPN betegek lábműködésére. Ezt a kérdést a nyílrányú bokaízületi mozgásterjedelem, egyensúly és a járási képesség mérésével, valamint kvantitatív dinamometriával és elektromiográfiával közelítettük meg, mely során mértük a boka talpi- és dorsalflexor izmainak neuromechanikai tulajdonságait is.

Továbbá megvizsgáltuk a mérések által kapott kvantitatív eredményeknek a DPN betegek mindennapos fizikai -és sport tevékenységeire gyakorolt hatását is.

5. Hipotézisek

Kutatásunk során, előzetes vizsgálataink alapján, a következő hipotéziseket állítottuk fel.

1. 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.

2. 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.

3. 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.

6. Anyag és módszerek

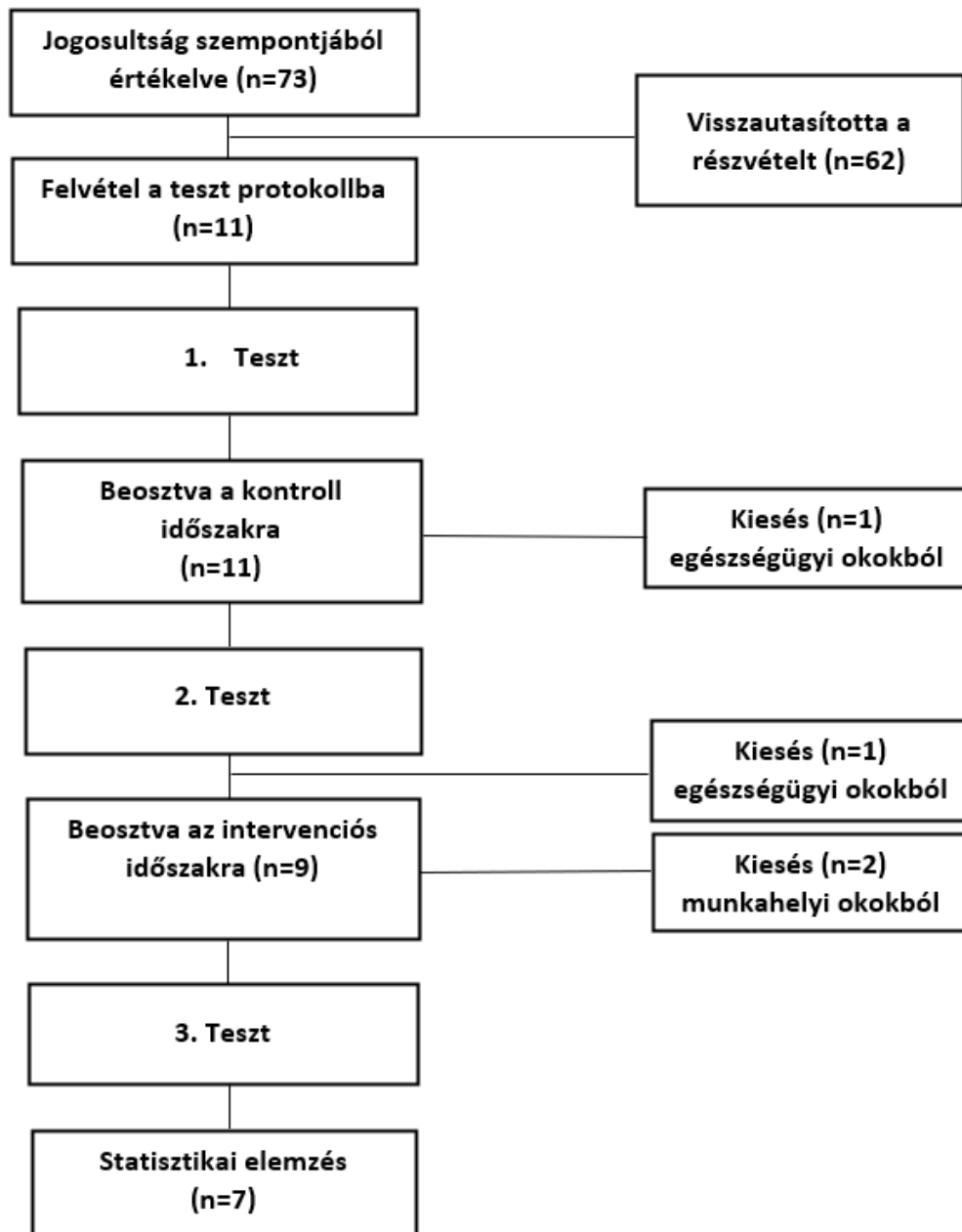
6.1 Vizsgálati személyek

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 a vizsgálatban. A betegek egészségi állapotára és fizikai képességeire vonatkozó információkat szóbeli kikérdezéssel vettük fel. A beválasztás kritériumai a WHO szabványok alapján legalább hét éve diagnosztizált cukorbetegség, az egyedül járás képessége, az inaktív életmód, nem diagnosztizált fekély az elmúlt hat hónapban. A kizárási kritériumok a következők voltak: részleges alsó végtagi amputáció, rendszeres fizikai aktivitásban való részvétel bármilyen formában, súlyos májelégtelenség, súlyos szívelégtelenség (NYHA III-IV), aktív autoimmun betegség, fertőzés, terhesség vagy szoptatás. A vizsgálati személyek írásos beleegyező nyilatkozatot tettek a Helsinkai Nyilatkozatnak megfelelően, miután szóbeli és írásbeli magyarázatot kaptak a kísérleti protokollról és annak lehetséges kockázatairól. A PTE Regionális Kutatásetikai Bizottsága jóváhagyta a protokollt (jóváhagyási szám: 5812.-PTE2016). Az első teszt után egy vizsgálati személy a vizsgálatától független egészségügyi okból kiesett, így a második tesztre már csak 10 vizsgálati személy érkezett (n=10). Közülük további egy ember kiesett, szintén a vizsgálatától független egészségügyi okból a második teszt után (n=9). Az intervenció időszakot 9 vizsgálati személy kezdte meg, majd további két személy kiesett, munkahelyi elfoglaltságok miatt, így összesen (n=7) beteg fejezte be a kutatási vizsgálatokat. (1. ábra)

6.2 Vizsgálati protokoll

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). (1. ábra) A kontroll periódusban a

résztevők 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 TA, MG és lateralis gastrocnemius (LG) izmok elektromos izomaktivitásának (EMG) mérése, a bokaízület nyílrányú 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.



1. ábra A DPN betegek önkontrollos vizsgálatba (1-3 tesztek) való bevonásának folyamata és a vizsgálatok lefolytatásának menete.

6.2.1 Testösszetétel

A testösszetétel meghatározását bioimpedancia analizátorral végeztük (InBody 770, Biospace, Cerritos, CA, USA), mely során megmértük a vizsgálati személyek test-és vázizomtömegét, valamint testzsírszázalékát.

6.2.2 Maximális akaratlagos izometriás kontrakció teszt (MVIC)

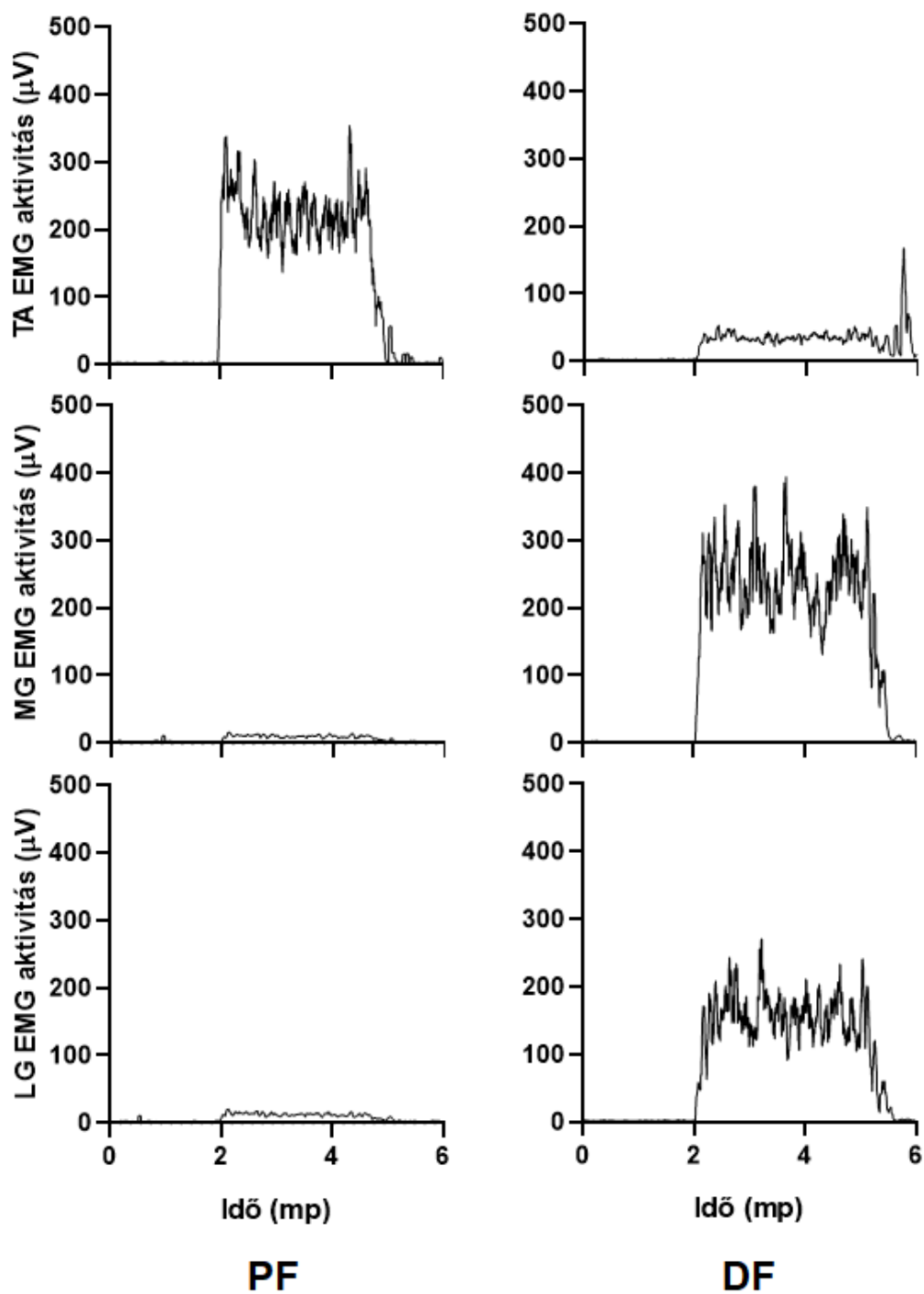
A bokaízületben keletkező forgatónyomatékok izometriás plantar- és dorsalflexió alatt számítógép vezérlésű dinamométerrel mértük (Multicont II, Mediagnost, Budapest és Mechatronikai Kft., Szeged, Magyarország). A vizsgálati személyeket csípőízületnél a dinamométer párnázott üléséhez, a lábat pedig 90°-os (neutrális) bokaízületi pozícióban a mérési eszköz talptámaszához rögzítettük (2. ábra). A teszt során a vizsgálati személyek maximális akaratlagos erő kifejtését végezték plantar- és dorsalflexióban. Irányonként három ismétlést hajtottak végre, és az ismétlések között két perc pihenőidőt tartottak. Az egyes kontrakciók során nyert forgatónyomaték-idő görbéből meghatároztuk a forgatónyomaték maximumát. Valamennyi vizsgálati személynél csak a domináns lábat teszteltük, amit úgy döntöttünk el, hogy megkértük őket, rúgjanak bele egy labdába. A teszt előtt egy szubmaximális próbát hajtottak végre.



2. ábra. Lábpozíció a plantar-és dorsalflexió irányban végrehajtott maximális akaratlagos izometriás erő kifejtés teszteknél Multicont II számítógép vezérlésű dinamométeren.

6.2.3 Elektromiográfia (EMG)

Az EMG adatokat telemetrikusan gyűjtöttük az összes maximális akaratlagos izometriás kontrakció teszt során. A bőrt gondosan előkészítettük borotválással és alkohollal történő tisztítással. Kettős Ag/AgCl felületi elektródákat (Noraxon, Scottsdale, USA) helyeztünk el a TA, MG és LG izmokon a SENIAM ajánlásainak megfelelően (www.seniam.org). EMG jeleket gyűjtöttünk (Noraxon, Scottsdale, USA, mintavételi frekvencia: 2000 Hz) és a nyers adatokat négyzetgyökátlag (RMS) módszerrel dolgoztuk fel, 50 ms-os mozgó ablakot alkalmazva. Ezután minden maximális akaratlagos erő kifejtés vizsgálatához meghatároztuk az EMG csúcsértékeket. (3. ábra)



3. ábra. Reprezentatív simított EMG jelek (RMS) a tibialis anterior, medialis és lateralis gastrocnemius izmokból nyert plantarflexió (PF) és dorsalflexió (DF) során.

6.2.4 Ízületi mozgásterjedelem (IMT) vizsgálata

A vizsgálati személyek egy szőnyegen ültek, nyújtott térdízület mellett törzsüket függőlegesen tartva a falnak támaszkodtak. Az IMT-t egy univerzális, 30 cm

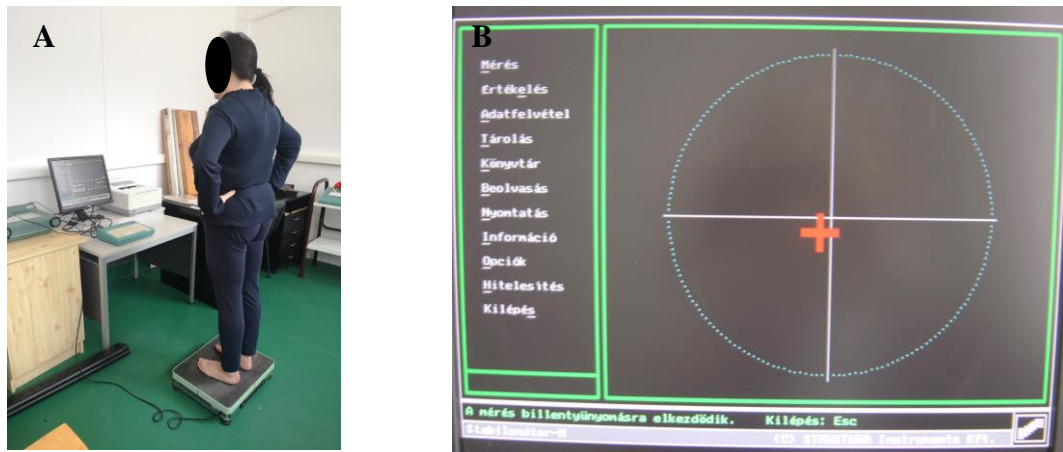
hosszú karokkal rendelkező goniométerrel (GIMA, Gessate, Italy) mértük, melynek szögmérője egy fokos beosztású volt (4. ábra). A boka statikus, aktív nyílrányú mozgásterjedelmét plantar és dorsalflexió irányában is maximális erővel 3 másodpercig megtartott hajlítás során értékeltük. Minden vizsgálati személynél csak a domináns lábat teszteltük, melynek elvégzésére három kísérletet tehettek, amelyek során kapott fokban meghatározott értékek átlagát használtuk fel.



4.ábra A bokaízület nyílrányú mozgásterjedelmének vizsgálata goniométerrel

6.2.5 Egyensúly vizsgálata

Az egyensúly mérésére billenőpaddal ellátott stabilométert (Struktúra Instruments Kft., Tura, Magyarország) használtunk, melyen a vizsgálati személyek mezítláb 30 másodpercig, csípőszéles terpeszben, csípőre tett kézzel álltak. Egyensúlyozás közben a képernyő közepén megjelenő kurzort figyelték (Prókai et al., 2016), mely az egyensúlyi helyzetre vonatkozó vizuális visszajelzést folyamatosan biztosította. (5. ábra) A vizsgálat során a kurzort a lehető legközelebb kellett tartani a megjelölt képernyőközponthoz. Három kísérletet végeztek, közöttük egy perces pihenőidővel. A műszer a teszt során összesítette a test egyensúlyi helyzetből való kitéréseit, és 0 és 100 pont között értékelt az egyensúlyozó képességet (100 pont = tökéletes egyensúly, nincs kitérés). A statisztikai elemzéshez a három kísérlet eredményének átlagát használtuk fel.



5. ábra A statikus egyensúlyozás képességének felmérése stabilometer segítségével (A) és a képernyőn megjelenő vizuális visszacsatolás képe (B).

6.2.6 TUG teszt

A TUG teszt valid és megbízható módszer betegek és idősek járásfunkciójának értékelésére. A vizsgálati személyek egy 46 cm magas standard széken ültek, háttal nekidőlve a háttámlának. A "start" jelre felálltak, járással megkerülték a 3 m távolságra elhelyezett bóját, majd visszatértek a székhez és leültek. A feladat a táv lehető leggyorsabban történő teljesítése volt, számukra biztonságos módon. A teszt teljesítéséhez szükséges idő mérésére egy stopperórát használtunk, az eredményeket pedig másodpercben jegyeztük fel. A vizsgálati személyek minden teszt előtt bemelegítő próbát végeztek.

6.2.7 FAAM teszt

Ismert, hogy az önbevalláson alapuló FAAM teszt a legmegfelelőbb a funkcionális korlátozottságok számszerűsítésére krónikus boka instabilitásban szenvedő betegeknél (Eechaute et al., 2007).

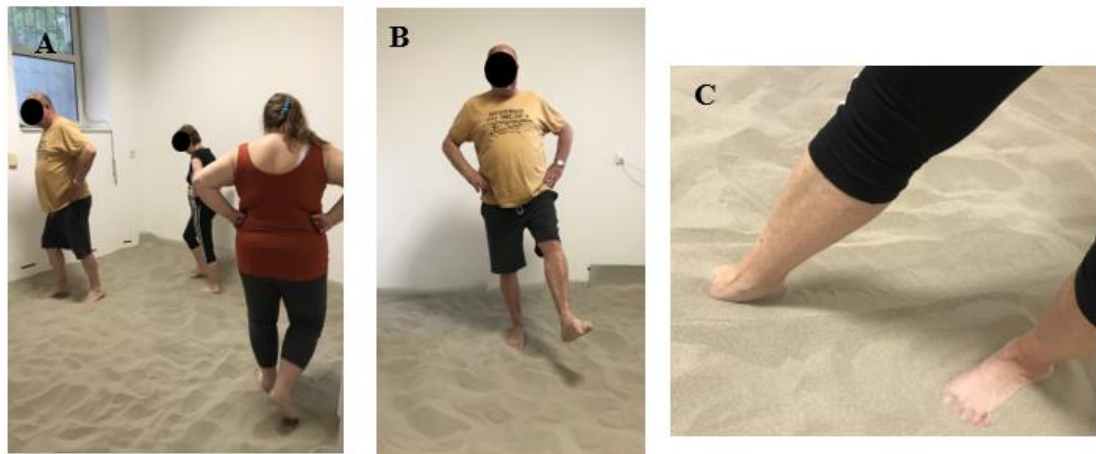
A FAAM egy olyan önbevallásos kérdőív, amelyet a lábfej -és boka működésének károsodásában szenvedő egyének fizikai funkcióinak értékelésére fejlesztettek ki. A FAAM 29 tételből áll össze, amely két alskálára oszlik: a mindennapi élet tevékenységeire (MÉT) vonatkozó 21 elemű alskálára és a 8 elemű sporttevékenységek (ST) alskálára. Az ST alskála kitöltését azért tartottuk fontosnak a vizsgált DPN betegek esetében, mert olyan általános paramétereket tartalmaz, mint például a futás, hirtelen elindulás, megállás, oldalirányú mozdulatok vagy különböző tevékenységek normál technikával történő végrehajtása, melyek nemcsak sporthoz

köthető fizikai aktivitásokban, de a mindennapi életben is jelentős szerepet kapnak. Mindkét alskála esetében minden kérdésre csak egyetlen válasz volt adható, amely a legvilágosabban leírta a kitöltő állapotát a megelőző egy hétre vonatkozóan. Minden tételt egy 5 pontos Likert-skálán (0-tól 4-ig) pontoznak az "egyáltalán nem nehéz" és a "nem képes megtenni" között. Amennyiben egy adott tevékenység végrehajtását nem a lábfej vagy a boka korlátozza, akkor az „NR” választ kellett bejelölni. (1. melléklet)

A MÉT alskála és az ST alskála pontozásához 20/21 elemet és 7/8 elemet kellett kitölteni. A pontszámok összege, amely 0 és 84 között mozog a MÉT alskálán és 0 és 32 között a ST alskálán, százalékos pontszámokká alakítottuk. Azok a kérdések, amelyeknél „NR” volt feltüntetve, a pontozásba nem számítottuk bele. Az egyes alskálák százalékos pontszámának kiszámításához összeadtuk a szerzett pontokat, majd elosztottuk a lehetséges pontok összegével (84 a MÉT alskálán és 32 az ST alskálán), végül megszoroztuk 100-zal. A magasabb pontszámok minden alskálán magasabb szintű funkciót jelentettek, a 100% pedig nem jelentett diszfunkciót. Minden más válasz esetén az egyes kategóriák között egyponstos intervallumot alkalmaztunk (Martin et al., 2005).

6.3 Homokon végzett edzés gyakorlatai

Az edzések 12 héten keresztül hetente háromszor zajlottak egy alulról fűtött, 4x5 m-es 30 cm mély homokos felületen. A résztvevők csoportosan, mezítláb dolgoztak a homokban. Minden edzés tartalmazott egy alacsony intenzitású dinamikus bemelegítést (5 perc), valamint lábszár- és bokaspecifikus gyakorlatokat (25 perc). (6.ábra)



6.ábra A homok edzés során járásban (A), állásban (B), homokellenállással (C) végzett gyakorlatok.

A foglalkozások időtartama a gyakorlatok számának, összetettségének és ismétlésszámának függvényében négy hetente fokozatosan nőtt. Az edzés a bokaízület körüli izmok erejének és ízületi mozgásterjedelmének, valamint az egyensúlynak a fejlesztését célozta meg. Az alkalmazott edzésterv, melyet szakképesítéssel rendelkező klinikai gyógytornász hagyott jóvá, az 1. táblázatban található. A jelenléti nyilvántartás szerint a részvétel minden résztvevő esetében meghaladta a 80%-ot. Négy beteg lemorzsolódása a program során olyan foglalkozási vagy egyéb egészségügyi okok miatt következett be, amelyek nem kapcsolódtak a vizsgálathoz. A vizsgálati személyeket arra kértük, hogy jelentsenek bármilyen sérülést vagy szokatlan fájdalmat az intervenció időszak alatt, de a 12 hetes homokedzés során ilyen incidensre nem került sor.

1. táblázat: A 12 hetes homokon végzett edzés fő részében alkalmazott gyakorlatai, és az edzés periodizációja.

EDZÉS PERIÓDUS IDŐTARTAMA	1.-4 HÉT 30 PERC	5.-8. HÉT 37 PERC	9.-12. HÉT 45 PERC
GYAKORLATOK	<ol style="list-style-type: none"> 1. Váltott sarokemelés helyben (joggolás) 16x 2. Lábuujjak lábháti részével homok elpöccintés 6xbal, 6xjobb 3. Hernyózás előre hátra váltott lábbal 3xbal, 3xjobb 4. Lábféj elülső részének emelése dorsalis irányba váltva, majd páros 16x, 8x 5. Emelkedés talpállásba 10x 6. Lábféj lábháti részével homok emelés és oldalra kihelyezés 6xbal, 6xjobb 7. Homokmarkolás a lábuujjakkal, lábemelés hajlított térdrel, lábnyújtás előre, homok kiszórása a talaj közelében 6xbal, 6xjobb 8. Pálmafa rajzolás a lábféj lábháti részével kifelé irányba, a lábuujjakkal befelé irányba 2xbal, 2xjobb 9. Lábféj betakarása homokkal 1xbal, 1xjobb 10. Járás körben 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Váltott sarokemelés helyben (joggolás) 24x 2. Lábuujjak lábháti részével homok elpöccintés 8xbal, 8x jobb 3. Hernyózás előre hátra váltott lábbal 4xbal, 4xjobb 4. Lábféj elülső részének emelése dorsalis irányba váltva, majd páros 20x, 12x 5. Emelkedés talpállásba 15x 6. Lábféj lábháti részével homok emelés és oldalra kihelyezés 8xbal, 8xjobb 7. Homokmarkolás a lábuujjakkal, lábemelés hajlított térdrel, lábnyújtás előre, homok kiszórása a talaj közelében 6xbal, 6xjobb 8. Pálmafa rajzolás a lábféj lábháti részével kifelé irányba, a lábuujjakkal befelé irányba 3xbal, 3xjobb 9. Lábféj betakarása homokkal 1xbal, 1xjobb 10. Járás körben 11. Járás körben lábuujjhegyen ¼ kör 12. Járás körben sarkon ¼ kör 13. Járás körben külső talpélén ¼ kör 14. Járás körben belső talpélén ¼ kör 15. Járás körben 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Váltott sarokemelés helyben (joggolás) 32x 2. Lábuujjak lábháti részével homok elpöccintés 10xbal, 10xjobb 3. Hernyózás előre hátra váltott lábbal 5xbal, 5xjobb 4. Lábféj elülső részének emelése dorsalis irányba váltva, majd páros 24x, 16x 5. Emelkedés talpállásba 20x 6. Lábféj lábháti részével homok emelés és oldalra kihelyezés 10xbal, 10xjobb 7. Homokmarkolás a lábuujjakkal, lábemelés hajlított térdrel, lábnyújtás előre, kivezetés oldalra és vissza, homok kiszórása a talaj közelében 6xbal, 6xjobb 8. Pálmafa rajzolás a lábféj lábháti részével kifelé irányba, a lábuujjakkal befelé irányba 4xbal, 4xjobb 9. Lábféj betakarása homokkal 1xbal, 1xjobb 10. Térdhajlítással homok tolás hátra a lábuujjak talpi részével, homokhúzás vissza a lábféj lábháti részével 11. Guggolás 8x 12. Guggolás lábuujjhegyre emelkedéssel 8x 13. Járás körben 14. Járás körben lábuujjhegyen ¼ kör 15. Járás körben sarkon ¼ kör 16. Járás körben külső talpélén ¼ kör 17. Járás körben belső talpélén ¼ kör 18. Járás körben nagy lépéshosszal 19. Járás körben

6.4 Statisztikai analízis

A mérések során kapott értékekre átlagot, szórást, minimumot és maximumot számoltunk. Normalitásvizsgálathoz Shapiro-Wilk tesztet alkalmaztunk, mely a változók normál eloszlását mutatta. Az elemzés elvégzéséhez Originlab OriginPro (2018) szoftvercsomagot használtunk. A statisztikai szignifikancia szintjét $p < 0,05$ -ben határoztuk meg. Az 1. és 2. vizsgálat – amely a kontrollidőszak volt –, valamint a 2. vizsgálat és a 3. vizsgálat, amely az intervenciós időszak volt, közötti különbségek kimutatása és mérése érdekében párosított T-teszteket végeztünk a megfelelő Bonferroni korrekcióval. A statisztikai szignifikancia küszöbértékét a T-tesztek során $p = 0,05$ -ben állapítottuk meg. Az 1. hipotézis vizsgálatához az 1. teszt során kapott eredményeket használtuk fel. A DPN betegek jellemzésére szolgáló leíró statisztika mellett, valamennyi vizsgált paraméterben kapott érték között Pearson-féle korrelációt számoltunk ($n=11$), amely során egy vizsgálati személy testtömeghez normalizált maximális forgatónyomaték értékét plantarflexióban, valamint TUG idejét kizártuk a statisztikai elemzésből, ugyanis az a csoportátlaghoz képest több mint két SD-vel kisebb/nagyobb volt. A 2. hipotézis vizsgálatához az 1. és a 2. teszt, valamint a 2. és 3. teszt között bekövetkező változások eredményeit T-teszttel vizsgáltuk. A 3. hipotézis vizsgálatához pedig a 2. és 3. teszt közötti változások százalékos eredményeit használtuk fel, majd a kapott eredmények közötti Pearson-féle korrelációt számoltuk.

7. Eredmények

7.1 Az 1. hipotézis vizsgálatához szükséges eredmények bemutatása

Kutatásunkban vizsgáltuk különböző, DPN-nel összefüggésbe hozható paraméterek szintjét. A vizsgálati személyek 1. teszt során mért antropometriai, biomechanikai és funkcionális paramétereinek kiindulási értékei a 2. táblázatban láthatóak, melyeket átlag, szórás, minimum és maximum értékekkel jellemeztünk.

2. táblázat: A vizsgálati személyek 1. teszt során mért antropometriai (AP), biomechanikai (BP) és funkcionális (FP) paramétereinek.

		N	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum
AP	Kor (év)	11	64,91	9,64	45	80
	TM (cm)	11	173,55	8,43	160	190
	TT (kg)	11	99,2	21,73	57,6	127,9
	BMI (kg/m ²)	11	32,8	6,31	22,5	44,3
	TZS (%)	11	37,46	7,45	27,8	51,4
	VIT (kg)	11	33,69	7,67	19,1	46,1
BP	IMT _{PF} (°)	11	48,27	17,25	28	75
	IMT _{DF} (°)	11	-5,32	8,34	-15	10
	M _{PF} (Nm)	11	45,48	26,42	7,12	98,55
	M _{DF} (Nm)	11	33,03	17,95	7,85	70,25
	relatív M _{PF} (Nm)	10	0,49	0,35	0,09	1,28
	relatív M _{DF} (Nm)	11	0,32	0,14	0,1	0,63
FP	E (pontszám)	11	38,18	15,61	22	79
	TUG idő (s)	10	10,84	2,79	7,24	16,69

AP = antropometriai paraméterek, BP = biomechanikai paraméterek, FP = funkcionális paraméterek, TM = testmagasság, TT = testtömeg, BMI = testtömegindex, TZS = testzsírszázalék, VIT = vázizomtömeg, IMT_{PF} = ízületi mozgásterjedelem plantarflexióban, IMT_{DF} = ízületi mozgásterjedelem dorsalflexióban, M_{PF} = maximális forgatónyomaték plantarflexióban, M_{DF} = maximális forgatónyomaték dorsalflexióban, relatív M_{PF} = testtömeghez normalizált maximális forgatónyomaték plantarflexióban, relatív M_{DF} = testtömeghez normalizált maximális forgatónyomaték dorsalflexióban, E = egyensúly, TUG = Timed Up and Go teszt

Az 1. teszt során mért valamennyi antropometriai, biomechanikai és funkcionális paraméter közötti korrelációs együtthatók (r) értékei a 3. táblázatban találhatóak.

Méréseink szerint több antropometriai paraméter között is találtunk pozitív összefüggést más antropometriai mutatókkal, például a testmagasság a

vázizomtömegeg (p = 0,000), a testtömeg a BMI-vel és a vázizom tömegeg (p = 0,000, p = 0,004), valamint a BMI a testzsír százalékkal (p = 0,004).

Az antropometriai és biomechanikai mutatók között a testmagasság, testtömeg, vázizom tömeg szignifikáns pozitív irányú összefüggést mutatott a dorsal flexor izmok erejével (p = 0,010, p = 0,029, p = 0,002) és a vázizomtömeg az M_{DF} -fel szintén pozitívan korrelált (p = 0,048).

A biomechanikai paraméterek közül az 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 találtunk (p = 0,000)

Az antropometriai és a funkcionális paraméterek között csak a testtömeg és az egyensúly között találtunk szignifikáns negatív korrelációt (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).

3.táblázat A vizsgálati személyek antropometriai (AP), biomechanikai (BP) és funkcionális paramétereit (FP) közötti korrelációs együtthatók (r) értékei.

	AP						BP				FP		
	Kor	TM	TT	BMI	TZS	VIT	IMT _{PF}	IMT _{DF}	M _{PF}	M _{DF}	relatív M _{PF}	relatív M _{DF}	E
TM	0,07												
TT	-0,24	0,59											
BMI	-0,29	0,21	0,91*										
TZS	-0,22	-0,35	0,51	0,79*									
VIT	-0,16	0,91*	0,79*	0,48	-0,13								
IMT _{PF}	-0,42	-0,39	-0,22	-0,08	0,30	-0,43							
IMT _{DF}	0,03	0,01	0,03	0,01	-0,13	0,11	-0,46						
M _{PF}	-0,44	0,36	0,26	0,09	-0,03	0,34	0,11	-0,29					
M _{DF}	-0,54	0,73*	0,65*	0,40	-0,05	0,81*	-0,07	-0,09	0,73*				
relatív M _{PF}	-0,35	-0,07	-0,22	-0,29	-0,08	-0,16	0,32	-0,29	0,85*	0,31			
relatív M _{DF}	-0,55	0,59	0,35	0,10	-0,23	0,60*	0,05	-0,12	0,82*	0,93*	0,58		
E	-0,44	-0,50	-0,63*	-0,55	-0,26	-0,50	0,34	0,10	0,30	-0,17	0,67*	0,10	
TUG idő	0,58	-0,10	-0,43	-0,46	-0,56	-0,19	-0,39	-0,02	-0,70*	-0,59	-0,61	-0,65*	-0,19

*AP = antropometriai paraméterek, BP = biomechanikai paraméterek, FP = funkcionális paraméterek, TM = testmagasság, TT = testtömeg, BMI = testtömegindex, TZS = testzsírszázalék, VIT = vázizomtömeg, IMT_{PF} = ízületi mozgásterjedelem plantarflexióban, IMT_{DF} = ízületi mozgásterjedelem dorsalflexióban, M_{PF} = plantarflexió irányú maximális izometriás erő kifejtés csúcsnyomatéka, M_{DF} = dorsalflexió irányú maximális izometriás erő kifejtés csúcsnyomatéka, relatív M_{PF} = testtömeghez normalizált plantarflexió irányú maximális izometriás erő kifejtés csúcsnyomatéka, relatív M_{DF} = testtömeghez normalizált dorsalflexió irányú maximális izometriás erő kifejtés csúcsnyomatéka, E = egyensúly, TUG = Timed Up and Go teszt, * = szignifikáns kapcsolat ($p < 0,05$)*

7.2 A 2. hipotézis vizsgálatához szükséges eredmények bemutatása

Egyik vizsgálati személy sem számolt be sérülésről vagy szokatlan fájdalomról az intervenció időszak alatt.

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. (4. táblázat).

A 2. tesztről a 3. tesztre (4. táblázat) 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 szignifikánsan, 16%-kal csökkent ($p = 0,021$). A TUG teszt elvégzéséhez szükséges idő szignifikánsan, 18%-kal csökkent ($p = 0,002$).

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

4. táblázat. Az 1.-3. teszt során mért biomechanikai, funkcionális változók és a testösszetétel eredményei, valamint a 2.-3. teszt eredményei közötti százalékos változás a 12 hetes homokon végzett edzés hatására a vizsgált DPN betegeknél.

Változók megnevezése	Kontroll időszak			Intervenció időszak			Δ diff% [#] szig.
	1. Teszt	2. Teszt	3. Teszt	1. Teszt	2. Teszt	3. Teszt	
<i>Plantarflexió MVIC teszt</i>							
M_{PF}	51 ± 32 (Nm)	43 ± 22	61 ± 36	51 ± 32 (Nm)	43 ± 22	61 ± 36	18 (42) *
EMG_{LG}	99 ± 71 (μ V)	69 ± 69	82 ± 76	99 ± 71 (μ V)	69 ± 69	82 ± 76	13 (19)
EMG_{MG}	104 ± 79 (μ V)	87 ± 109	106 ± 119	104 ± 79 (μ V)	87 ± 109	106 ± 119	19 (22)
EMG_{TA}	26 ± 9 (μ V)	21 ± 11	20 ± 9	26 ± 9 (μ V)	21 ± 11	20 ± 9	-1 (5)
EMG_{LGTA}	3 ± 3 (arány)	3 ± 2	4 ± 3	3 ± 3 (arány)	3 ± 2	4 ± 3	1 (33)
EMG_{MGTA}	4 ± 3 (arány)	4 ± 4	5 ± 5	4 ± 3 (arány)	4 ± 4	5 ± 5	1 (25)
<i>Dorsalflexió MVIC teszt</i>							
M_{DF}	34 ± 21 (Nm)	35 ± 15	33 ± 15	34 ± 21 (Nm)	35 ± 15	33 ± 15	-2 (6)
EMG_{LG}	18 ± 9 (μ V)	17 ± 4	12 ± 3	18 ± 9 (μ V)	17 ± 4	12 ± 3	-5 (30) **
EMG_{MG}	16 ± 10 (μ V)	19 ± 6	12 ± 6	16 ± 10 (μ V)	19 ± 6	12 ± 6	-7 (37) **
EMG_{TA}	285 ± 130 (μ V)	297 ± 99	228 ± 99	285 ± 130 (μ V)	297 ± 99	228 ± 99	-69 (23) **
EMG_{TAILG}	18 ± 10 (arány)	18 ± 6	19 ± 9	18 ± 10 (arány)	18 ± 6	19 ± 9	1 (6)
EMG_{TAMG}	22 ± 13 (arány)	17 ± 6	21 ± 12	22 ± 13 (arány)	17 ± 6	21 ± 12	4 (24)
<i>Funkcionális mérések</i>							
Egyensúly	43 ± 17 (pontszám)	43 ± 14	50 ± 12	43 ± 17 (pontszám)	43 ± 14	50 ± 12	7 (16) *
IMT_{PF}	51 ± 20 (°)	50 ± 21	59 ± 14	51 ± 20 (°)	50 ± 21	59 ± 14	9 (18) *
IMT_{DF}	-6 ± 9 (°)	-5 ± 11	-12 ± 11	-6 ± 9 (°)	-5 ± 11	-12 ± 11	7 (140) *
TUG idő	11 ± 3 (mp)	11 ± 3	9 ± 3	11 ± 3 (mp)	11 ± 3	9 ± 3	-2 (18) **
<i>Testösszetétel mérések</i>							
Testtömeg	101 ± 25 (kg)	102 ± 27	97 ± 26	101 ± 25 (kg)	102 ± 27	97 ± 26	-5 (5)
Testzsír	38 ± 8 (%)	38 ± 7	36 ± 8	38 ± 8 (%)	38 ± 7	36 ± 8	-2 (5)
Izomtömeg	34 ± 9 (kg)	35 ± 9	34 ± 9	34 ± 9 (kg)	35 ± 9	34 ± 9	-1 (3)

M_{PF} = plantarflexió irányú maximális izometriás erő kifejtés csúcsnyomatéka, M_{DF} = dorsalflexió irányú maximális izometriás erő kifejtés csúcsnyomatéka, LG = lateralis gastrocnemius, MG = medialis gastrocnemius, TA = tibialis anterior, $EMG_{LG/TA}$ = lateralis gastrocnemius és tibialis anterior aktivációs hányados, $EMG_{MG/TA}$ = medialis gastrocnemius és tibialis anterior aktivációs hányados, $EMG_{TA/LG}$ = tibialis anterior és lateralis gastrocnemius aktivációs hányados, $EMG_{TA/MG}$ = tibialis anterior és medialis gastrocnemius aktivációs hányados, IMT_{PF} = ízületi mozgásterjedelem plantar flexióban, IMT_{DF} = ízületi mozgásterjedelem dorsalflexióban, TUG = Timed up and go, $\Delta\%$ = Százalékos változás a 2. Tesztről a 3. Tesztre, *Szigifikáns különbség a 2. Teszt és a 3. Teszt között ($p < 0.05$), **Szigifikáns különbség a 2. Teszt és a 3. Teszt között ($p < 0.005$)

7.3 A 3. hipotézis vizsgálatához szükséges eredmények bemutatása

A FAAM teszt MÉT alszálájának 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 ($p = 0,001$).

Az ST alszálára 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 nőtt ($p = 0,001$).

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 ($p = 0,021$).

5. táblázat A vizsgálati személyek fizikai funkcióinak szubjektív megítélés szerinti változása a FAAM teszt MÉT és ST alszállaira adott válaszok alapján. Megjegyzés: FAAM szám értékei = a FAAM alszállaira adott összesített pontértékek százalékos értékei, ahol a 100% a teljes funkcionalitás; résztvevők saját véleménye = a mindennapos és a sporthoz köthető tevékenységek funkcióinak százalékban kifejezett szintje, ahol a 100% a teljes funkcionalitás.

Változók megnevezése		Kontroll időszak		Intervenciós időszak
		1. Teszt	2. Teszt	3. Teszt
<i>FAAM szám értékei</i>				
MÉT	(%)	69 ± 17	60 ± 17*	80 ± 14 [#]
ST	(%)	32 ± 21	23 ± 14	42 ± 14 [#]
<i>Résztvevők saját véleménye</i>				
FMÉT	(%)	75 ± 11	65 ± 9*	76 ± 8 [#]
FST	(%)	50 ± 11	45 ± 9	57 ± 11 [#]

*MÉT = Mindennapi élet tevékenységei, ST = Sporttevékenységek, FMÉT = Funkcionalitás a mindennapi élet tevékenységeiben, FST = Funkcionalitás a sporttevékenységekben, * Szignifikáns különbség a 1. Teszt és a 2. teszt között ($p < 0,05$), [#] Szignifikáns különbség a 2. Teszt és a 3. Teszt között ($p < 0,05$)*

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.táblázat)

6. táblázat Az objektív biomechanikai és funkcionális paraméterek százalékos változása és a FAAM teszt MÉT és ST alszállására adott válaszok százalékban kifejezett teljesítményszintjeinek szubjektív megítélés szerinti változása közötti összefüggések az intervenció időszakában.

	BP						SZP	
	Δ 2-3 TUO	Δ 2-3 IMT _{PF}	Δ 2-3 IMT _{DF}	Δ 2-3 MVIC _{PF}	Δ 2-3 MVIC _{DF}	Δ 2-3 MÉT	Δ 2-3 ST	
FP	0,56	0,51	0,57	0,56	0,13	0,91	0,26	
		0,04*	0,39	0,22	0,34	0,85	0,38	
BP			0,06	0,23	0,66	0,55	0,50	
				0,33	0,58	0,41	0,98	
					0,99	0,92	0,74	
SZP						0,99	0,84	
							0,32	

*BP = biomechanikai paraméterek, FP = funkcionális paraméterek, SZP = szubjektív paraméterek, Δ 2-3 IMT_{PF} = ízületi mozgásterjedelem változás plantarflexióban a 2. és a 3. teszt között, Δ 2-3 IMT_{DF} = ízületi mozgásterjedelem változás dorsalflexióban a 2. és a 3. teszt között, Δ 2-3 $MVIC_{PF}$ = maximális forgatónyomaték változás plantarflexióban a 2. és a 3. teszt között, Δ 2-3 M_{DF} = maximális forgatónyomaték változás dorsalflexióban a 2. és a 3. teszt között, Δ 2-3 E = egyensúly változása a 2. és 3. teszt között, Δ 2-3 TUG = Timed Up and Go teszt végrehajtási idejének változása a 2. és 3. teszt között, Δ 2-3 $MÉT$ = Mindennapos fizikai teljesítmény változása a 2. és 3. teszt között, Δ 2-3 ST = Sporttevékenység teljesítmény változása a 2. és 3. teszt között, * = szignifikáns kapcsolat ($p < 0,05$)*

8. Eredmények megbeszélése

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

Kutatásunk során célul tűztük ki különböző antropometriai és biomechanikai tényezők azonosítását, amelyek szerepet játszhatnak a DPN betegek életminőségét befolyásoló, motoros diszfunkciók kialakulásában. Eredményeink szerint a testtömeg és a bokaízület plantarflexor izmainak relatív erőszintje összefüggésbe hozható az egyensúlyozó képességgel, valamint a bokaízület plantarflexor izmainak ereje és dorsalflexor izmainak relatív ereje a járásképeséggel.

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. Korábbi kutatások megállapították, hogy a túlsúly jelenti a legnagyobb hatást az esés kockázatára (Gravesande and Richardson, 2017). Egy kutatás szerint a felsőtest a test tömegének kétharmadát teszi ki, a fej és a törzs irányítása pedig kritikus fontosságú az egyensúly szempontjából (Hewston and Deshpande, 2018). Ez a megállapítás magyarázatot adhat eredményeinkre és egyúttal súlyosbíthatja a magas vércukorszint miatt bekövetkező idegkárosodások egyensúlyérzékelésre gyakorolt negatív hatását és szerepet játszhat abban, hogy a DPN populációban alacsonyabb a statikus egyensúlyozás képessége a perifériás neuropátiának nem kitett kontroll csoporttal összehasonlítva (Gu and Dennis, 2017).

A biomechanikai paraméterek közül a bokaízület plantarflexor izmainak relatív ereje mutatott szignifikáns összefüggést az egyensúllyal. Az egyensúlyozóképesség elengedhetetlen a funkcionális tevékenységekhez, valamint az olyan tevékenységekhez, mint az ülés, állás és járás. Az egyensúly fenntartása és beállítása érdekében a proprioceptív, vizuális és a vesztibuláris érzékek egymással

kölcsönhatásban működnek. Az ember különböző izmainak ereje, szintén kritikus fontosságú az egyensúly kontrollálásában. A törzsizmok ereje összefügg a statikus és dinamikus egyensúly változóival, a csípő abduktor izmok a laterális egyensúly, a plantar flexorok pedig a test előre történő kilengéseinek szabályozásában vesznek részt. Együttesen a propiocepció, a bőr érzékelés és az izomerő azok a fő tényezők, amelyeket az idegpályák használnak az egyensúly perifériás szintű szabályozásában. Egy korábbi vizsgálat eredménye szerint a test előre történő kilengéseinek szabályozásában (melyek nagyobbak a többi irányhoz képest) a plantarflexor izmok ereje a meghatározó (Melzer et al., 2009). Egy másik kutatás ennek ellenkezőjét bizonyítja, mely eredményei szerint az egyensúly és az erő változók közötti nem szignifikáns korrelációk arra utalnak, hogy az egyensúly és az erő egymástól függetlenek (Muehlbauer et al., 2015). Ennek a vizsgálatnak a tesztprotokolljában azonban, az egy lábon történő egyensúly megtartásához a támaszlábat a vizsgálati személyeknek 30 fokos szögben be kellett hajlítania, aminek a következtében a boka- és térdízületet áthidaló kétfejű lábikra izom oly mértékben rövidülhetett, hogy nem tudott hatékonyan részt venni az egyensúly megtartásában, ami hozzájárulhatott a negatív eredmény kialakulásához. 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 (Rubenstein, 2006). 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. Hasonló eredményre jutott egy másik kutatás is, ahol 72 idős vizsgálati személynél nézték a lábszár izmainak ereje és a járás képesség közötti összefüggést, ahol a komponensek között minimális összefüggést találtak (Shin et al., 2012). Egy másik vizsgálat egyértelműen bebizonyította, hogy a plantarflexorok alacsonyabb ereje negatívan befolyásolja a lépéshosszt, ami kihat a járás sebességére is (Judge et al., 1996). A járás ciklusa során a plantarflexorok egy láb támaszban kontrollálják a sípcsont forgását és segítik a lábszár előre lendülését, a dorsalflexorok pedig biztosítják a földtől való elrugaszkodást és a lendítő láb megfelelő talajfogását

(Bogey et al., 2010). A DPN betegek csökkent járáskéességét továbbá befolyásolhatja, hogy azok, akik jobban félnek az eséstől, lassabb lépéssébséggel és rövidebb lépéshosszal járnak (Kelly et al., 2013).

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

A vizsgálat fő megállapításai szerint a 12 hetes testmozgás homokfelületen (i) szelektíven javította a plantarflexor izmok csúcsnyomatékát, a dorsalflexió csúcsnyomaték javulása nélkül, (ii) javította az egyensúlyt, a járási sebességet és a boka nyílrányú ízületi mozgásterjedelmét mind plantar-és dorsalflexióban, és hogy (iii) csökkentette az MG és LG EMG aktivitását dorsalflexió során DPN betegeknél.

A 12 hetes program alatt a vizsgálati személyek testtömege és a testzsírszázaléka nem változott. Ez nem meglepő, hiszen edzésprogramunk nem a testösszetételre változására irányult, mivel a cél az alsó végtag funkcionális teljesítményének javítása volt. A vizsgálati személyek a kapott instrukciók alapján nem változtatottak étkezési szokásaikon az egész protokoll alatt, az edzésprogram pedig alacsony volumenű és intenzitású volt, ezért a negatív energiaegyensúly, amely befolyásolná a testösszetételt valószínűtlen.

A boka plantarflexor izmainak ereje 42% -kal javult, ami összhangban van egy edzés intervenciós kutatás eredményeivel, ahol a betegek kombinált erő- és egyensúlyedzésen vettek részt 60 perc/alkalom, heti kétszer, 12 héten keresztül. A foglalkozások egyensúly- és járás feladatokat tartalmaztak, funkcionális, erő és állóképességi gyakorlatokkal váltakozva. Az intenzitást fokozatosan növelték, a felület stabilról, instabilra való változtatásával (Allet et al., 2010). Az egészségi állapottól függetlenül, a rövidtávú edzés intervenciók során az izom működésében bekövetkező javulás eredete valószínűleg neurális (Katics, 2015). Azonban 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 erő növekedésért. 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 mozgató izmokat, mint szinergistákat a plantarflexió irányú hajlítás funkciójába. Például a betegek felemelték a homokot az egyik oldalon és letették a másik oldalon, vagy pálmafákat rajzoltak dinamikus mozgásokkal, amelyek a plantar-és dorsalflexió irányú hajlítások maximumai között mozogtak, oldalirányú erő kifejtésekkel kombinálva, miközben a homokot a megfelelő minta szerint egy lábbal rajzolták. Venkataraman és társai (Venkataraman et al., 2019) a bokaízület dorsalflexor izmainak erő javulásáról számoltak be egy 8 hetes (3 alkalom/hét) edzés után, ahol nemcsak plantar-és dorsalflexió irányú gyakorlatokat, hanem oldalirányban végzett gyakorlatokat is alkalmaztak a bokaízület esetében. 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. Tuttle és társai (Tuttle et al., 2012) hasonló eredményekről számolt be egy 12 hetes edzés után, amely funkcionális erősítő gyakorlatokból állt, egyetlen, saját testsúlyos dorsalflexió irányú erősítő gyakorlattal (sarokállás). Ezzel szemben egy másik kutatás (Sartor et al., 2014) szignifikáns javulásról számolt be dorsalflexió irányú erő tekintetében, egy 2 alkalom/hét, 12 héten át végzett 40-60 perces kombinált edzésprogram után. A nyújtóhatású és a járással végzett gyakorlatok mellett, a lábszár izmokat rugalmas szalagok használatával edzették, ami talán arra utal, hogy a dorsalflexió irányú erő, csak külsőleg kontrollált ellenállással végzett gyakorlatokkal javítható. Azonban meg kell említeni, hogy a résztvevők több mint 40% -a fizikailag aktív volt ebben a tanulmányban, ráadásul a tesztelési eljárások és adatok nem megfelelően dokumentáltak. A dorsalflexió erőnövekedés hiánya a vizsgálatunkban résztvevőknél annak is betudható, hogy a nyomatókot 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. Úgy tűnik, hogy a kutatásunkban alkalmazott homokon végzett gyakorlatok nemcsak a plantarflexor izmok erejét javították, hanem azt is, hogy az ellentétesen működő izmok kontrakciója során képesek legyenek jobban ellazulni. A csökkent antagonista koaktiváció azonban önmagában nem volt elegendő ahhoz, hogy esetünkben agonista (dorsalflexiós) erő növekedéshez vezessen. Összességében, bár tanulmányunkban a dorsalflexió erejének növekedését céloztuk meg, a dorsalflexió irányú gyakorlatok alkalmazásával nemcsak 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 (Andersen et al., 2004), melyet egy minnesotai populációalapú vizsgálat is megerősít, ahol a sarkon járás képtelenségét figyelték meg cukorbeteg esetében (Dyck et al., 1993). Ez arra utalhat, hogy a homok még nehezebbé tette a gyakorlatok megfelelő elvégzését dorsalflexió irányában (amikor a betegeket arra kértük, hogy álljanak sarokra). A bokaízület alacsony mértékű kiindulási mozgásterjedelme szintén gátolhatta a dorsalflexorok erő növekedését. Az intervenció kezdetén a vizsgálati személyek bokaízülete dorsalflexió irányában korlátozott volt, csak kevés mozgást engedett, így csökkentette a lehetőségét a hatékonyabb erősítő hatás elérésének. 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. Egy kutatás hasonló eredményeket talált, ahol a boka dorsalflexió irányú mozgásterjedelme javult egy szilárd felületen végzett 12 hetes láb-boka edzés után (Monteiro et al., 2022). Ennek az intervenciónak az időbeni terhelése azonban sokak számára nem megengedhető, mivel heti 2+2 alkalommal személyesen és digitálisan felügyelt otthoni programból állt, alkalmanként 50 perc terjedelemben. Ezzel szemben egy nyújtó hatású edzés részt is magában foglaló, otthoni, kombinált tréning nem mutatott különbséget az bokaízületi mozgásterjedelemben az intervenciós csoportban a kontrollcsoportéhoz képest (Goldsmith et al., 2002). Az edzés nyújtó hatású részében mindösszesen egy

gyakorlatot alkalmaztak a bokaízület mozgásterjedelmének javítására. Ezért a negatív eredmény elérésében az elégtelen nyújtási inger és az intervenció otthoni formája játszat szerepet. Kutatásunkban olyan gyakorlatokat állítottunk össze, ahol a lábakat arra kényszerítettük, hogy a bokaízület teljes nyírlirányú 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. Emellett minden gyakorlat során maga a homok textúrája folyamatosan instabil felületet hozott létre, amely képes kimozdítani a lábakat természetes helyzetükből, így, amikor a homok kicsúszik a lábak alól, a csúszás irányának megfelelően dől a lábfej. Mivel a homokszemek között nagy a súrlódás, a homok mozgása közepes sebességű lesz. Így az ízületek szöghelyzetének változási sebessége is mérsékelt lesz. A lassú vagy közepes sebességű dinamikus nyújtó gyakorlatok elkerülhetik a nem kívánt nyújtási reflex kiváltását (Alter, 1996). Ezenkívül a csúszás során az egész lábat alátámasztja a homok, ami jobban szabályozhatóvá teszi a mozgást, így ez a nyújtási mód biztonságos és hatékony lehet.

A DPN által okozott csökkent izomkontraktilitás és ízületi mozgásterjedelem testtartás instabilitáshoz és csökkent járási kinematikához vezet (Sartor et al., 2014). Jelen vizsgálatban mind a kétoldali statikus testtartás stabilitása, mind a járási sebesség javult az intervenció időszak után. Eredményeink összhangban vannak más vizsgálatok eredményeivel, felügyelt egyensúlygyakorlatok alkalmazása után (Song et al. 2011; Lee et al., 2013;). Kruse és társai (Kruse et al., 2010) kutatása nem mutatott javulást DPN-es betegeknél az egyensúlyozó képesség szintjében 9 hónapig tartó otthon végzett egyensúly gyakorlatokat követően, melyet az első 3 hónapban 8 vezetett egyensúlyedzés előzött meg. 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 (Hirase et al., 2015). Minden az erősítő és nyújtó gyakorlatok során az egyik oldalon dolgozva a másik láb szolgált támasztólábként és tartotta az egyensúlyt, így a munkaláb képes volt elvégezni az aktuális feladatot. Ez azt jelenti, hogy minden unilaterális gyakorlat mindkét lábat edzi, de másképp: nyújtó és/vagy erősítő hatást gyakorol az egyik lábra, és egyensúlyfejlesztő hatást gyakorol az ellenoldali lábra.

A lépéshossz rövidebb, a lépés ideje pedig hosszabb DPN-ben, mint a nem DPN-es cukorbetegék és az egészséges kontroll személyek esetébe (Sawacha et al., 2009), ami a járás sebességének csökkenéséhez vezet DPN-ben (Sawacha et al., 2012). Kutatásunkban a TUG teszt elvégzéséhez szükséges idő a 12 hetes intervenciós időszak után csökkent. Ez az eredmény összhangban van más tanulmányokkal, amelyek nyújtó, erősítő, egyensúlyozó, állóképességi és járás gyakorlatokat használtak 8-12 héten keresztül (Allet et al., 2010; Venkataraman et al., 2019). Vizsgálatunkban a 12 hetes tréning második részétől speciális járásgyakorlatokat alkalmaztunk: a vizsgálati személyek normál és hosszabb lépéshosszal, lábujjhegyre emelkedve vagy sarkon léptek előre. Hasonlóan egy másik tanulmányhoz, nagy hangsúlyt helyeztünk a bokaízület körüli izmok erősítésére és nyújtására is, gyakorlatokat alkalmazva minden síkban és irányban (Venkataraman et al., 2019). A bokaízületet körülvevő izmok erejének és a bokaízület mobilitásának növekedése hozzájárulhat a járási sebesség fejlődéséhez (Allet et al., 2010). Ez arra utal, hogy a bokaízület egyidejű erősítése és mobilizálása jelentős szerepet játszik a megfelelő járásfunkció elérésében.

8.3 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 alsóhatárát 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.

Jelen tanulmánynak számos korlátja van, amelyeket fontos megemlítenünk. Először is, a kis létszámú önkéntesség miatt csak a DPN betegek szűkebb csoportját tudtuk vizsgálni. Másodsor, a szinergista izmok hozzájárulását sem a plantar, sem a

dorsalflexió irányú erő kifejtésben nem mértük fel. Végül nem tudunk dinamikus tesztkontrakciókat megvalósítani a vizsgálati személyek 1. teszt során mért korlátozott ízületi mozgásterjedelme miatt, mégis a jövőbeni vizsgálatoknak ezeket a tesztekkel kell használniuk a bokaízület szögspecifikus nyomaték növekedésének értékelésére, kevésbé alacsony ízületi mozgásterjedelemmel rendelkező betegeknél.

9. Összefoglalás

Kutatásunkban vizsgáltuk a mindennapi tevékenységeket befolyásoló, motoros diszfunkciók kialakulásában szerepet játszó antropometriai és biomechanikai tényezőket és azok összefüggéseit, valamint mértük egy tizenkét hetes homokedzési program hatásait a DPN betegek lábműködésére. Továbbá a mérések által kapott kvantitatív eredményeknek a DPN betegek mindennapos fizikai -és sport tevékenységeire gyakorolt hatását is megvizsgáltuk.

Eredményeink alapján a testtömeg, valamint a plantar- és dorsalflexor izmok ereje befolyással van a járás -és egyensúlyozó képességre, ezért véleményünk szerint a DPN betegek életminőségének javítására irányuló edzésintervencióknak a lábszár izmainak erőfejlesztésére is egyaránt összpontosítaniuk kell. Azonban a jól felépített edzésintervenciókkal párhuzamosan DPN-ben a testtömeg csökkentését célzó életmódváltató programok bevezetését is előtérbe kell helyezni.

Továbbá, jelen tanulmány bizonyítékot szolgáltat arra, hogy egy 12 hetes homokedzés, amely sokrétű hatással bír, hatékony terápia lehet DPN esetén, mivel javítja a plantarflexor izmok csúcsnyomatékát, az egyensúlyt, a járás sebességét és a boka nyílrányú ízületi mozgáskiterjedését mind plantar-, mind dorsalflexióban, nemkívánatos mellékhatások előfordulása nélkül.

A FAAM teszt eredményei alapján megállapítható, hogy amellet, hogy a biomechanikai és funkcionális paraméterekben pozitív változásokat sikerült kimutatni, a vizsgálati személyek mindennapi életéhez és sporthoz köthető tevékenységeinek teljesítményszintjében is pozitív változást eredményez.

A homokon végzett testmozgás DPN betegek alsó végtagi funkcióinak javításában a gyógyszeres terápia alternatívája lehet, nemcsak a költségek csökkentése miatt, hanem a lehetséges mellékhatások elkerülése miatt is. Különleges terápiás helyzet a diabéteszes neuropátia, mivel míg a funkcionális mozgásképeség romlását a korrallal előre haladva is nagy valószínűséggel lassítani lehet instabil felületen való gyakorlatozással, diabéteszes neuropátia esetében a puha felület biztosítja a

sérülésmentes gyakorlatozást, a felület sajátosságaiból adódóan pedig lehetővé teszi az egyidejű sokrétű foglalkoztatást, lehetővé téve a rövid idejű edzésegyeségeket. A homokedzés olyan alacsony költségű, szórakoztató, viszonylag gyorsan ható alternatíva lehet a terápiás eszközök között, amelybe sok idős embert lehetne bevonni, nem csak a cukorbeteg populációból. Mivel az instabil felületen végzett mozgás pont azért jótékony, mert a lokális izomfunkciókon kívül az egész mozgáskoordinációra hathat, így fokozza a szubjektív mozgásbiztonság érzést, ami nagyban elősegíti a DPN betegek mindennapi életének fizikai funkció szintjeinek javulását.

10. 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.

11. Irodalomjegyzék

1. Ahmad, I., Verma, S., Noohu M. M., Shareef, M. Y., and Hussain, M. E. (2020) Sensorimotor and Gait Training Improves Proprioception, Nerve Function, and Muscular Activation in Patients with Diabetic Peripheral Neuropathy: A Randomized Control Trial. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions* 20 (2): 234–48.
2. Ahn, S. and Rhayun, S. (2012) Effects of Tai Chi Exercise on Glucose Control, Neuropathy Scores, Balance, and Quality of Life in Patients with Type 2 Diabetes and Neuropathy. *Journal of Alternative and Complementary Medicine (New York, N.Y.)* 18 (12): 1172–78.
3. Albers, J.W. and Pop-Busui R. (2014) Diabetic Neuropathy: Mechanisms, Emerging Treatments, and Subtypes. *Current Neurology and Neuroscience Reports* 14 (8): 473.
4. Allen, M. D., In Choi, H., Kimpinski, K., Doherty, T. J. and Rice, C. L. (2013) Motor Unit Loss and Weakness in Association with Diabetic Neuropathy in Humans. *Muscle & Nerve* 48 (2): 298–300.
5. Allen, M. D., Major, B., Kimpinski, K., Doherty, T. J. and Rice, C. L. (2014). Skeletal Muscle Morphology and Contractile Function in Relation to Muscle Denervation in Diabetic Neuropathy. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 116 (5): 545–52.
6. Allet, L., Armand, S., Aminian, K., Pataky, Z., Golay, A., de Bie, R.A., and de Bruin, E. D. (2010) An Exercise Intervention to Improve Diabetic Patients' Gait in a Real-Life Environment. *Gait & Posture* 32 (2): 185–90.
7. Allet, L., Armand, S., de Bie, R. A., Golay, A., Monnin, D., Aminian, K., Staal, J. B., and de Bruin, E. D. (2010) The Gait and Balance of Patients with Diabetes Can Be Improved: A Randomised Controlled Trial. *Diabetologia* 53 (3): 458–66.
8. Allet, L., Armand, S., de Bie, R. A., Pataky, Z., Aminian, K., Herrmann, F. R. and de Bruin, E. D. (2009) Gait Alterations of Diabetic Patients While Walking on Different Surfaces. *Gait & Posture* 29 (3): 488–93.
9. Alter, M.J. (1996). *Science of Flexibility*. Human Kinetics, USA, Champaign.
10. 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>.
11. Amorizzo, E., De Sanctis, F. and Baldeschi, G. C. (2023) Fast-Acting Sub-Perception Spinal Cord Stimulation for a Case of Painful Diabetic

- Polyneuropathy. Just an Antalgic Treatment or Even a Therapy. *Anesthesiology and Pain Medicine* 13 (2): e134901.
12. Andersen, H. (1999) Motor Function in Diabetic Neuropathy. *Acta Neurologica Scandinavica* 100 (4): 211–20.
 13. Andersen, H., Nielsen, S., Mogensen, C. E. and Jakobsen J. (2004) Muscle Strength in Type 2 Diabetes. *Diabetes* 53 (6): 1543–48.
 14. Andersen, S, T., Witte, D. R., Dalsgaard, E., Andersen, H., Nawroth, P., Fleming, T. and Jensen, T. M. (2018) Risk Factors for Incident Diabetic Polyneuropathy in a Cohort with Screen-Detected Type 2 Diabetes Followed for 13 Years: ADDITION-Denmark. *Diabetes Care* 41 (5): 1068–75.
 15. Andreassen, C. S., Jakobsen, J., Ringgaard, S., Ejksjaer, N. and Andersen, H. (2009) Accelerated Atrophy of Lower Leg and Foot Muscles—a Follow-up Study of Long-Term Diabetic Polyneuropathy Using Magnetic Resonance Imaging (MRI). *Diabetologia* 52 (6): 1182–91.
 16. Andreassen, C. S., Jakobsen, J. and Andersen, H. (2006). Muscle Weakness: A Progressive Late Complication in Diabetic Distal Symmetric Polyneuropathy. *Diabetes* 55 (3): 806–12.
 17. Androne, L. N., Gavan, A., Veresiu, I. A. and Orasan, R. (2000) In Vivo Effect of Lipoic Acid on Lipid Peroxidation in Patients with Diabetic Neuropathy. *In Vivo (Athens, Greece)* 14 (2): 327–30.
 18. Arazi, H., Mohammadi, M. and Asadi, A. (2014) Muscular Adaptations to Depth Jump Plyometric Training: Comparison of Sand vs. Land Surface. *Interventional Medicine & Applied Science* 6 (3): 125–30.
 19. Ardeleanu, V., Toma, A., Pafili, K., Papanas, N., Motofei, I., Diaconu, C. C., Rizzo, M. and Stoian, A. P. (2020) Current Pharmacological Treatment of Painful Diabetic Neuropathy: A Narrative Review. *Medicina* 56 (1): 25.
 20. Armstrong, D. G, Lavery, L. A., Holtz-Neiderer, K., Mohler, M. J., Wendel, C. S., Nixon, B. P. and Boulton A. J. M. (2004) Variability in Activity May Precede Diabetic Foot Ulceration. *Diabetes Care* 27 (8). 1980-4.
 21. Bajaj, S. and Sumeet G. (2023) Nutraceuticals: A Promising Approach Towards Diabetic Neuropathy. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders Drug Targets* 23 (5): 581–95.
 22. Balducci, S., Sacchetti, M., Orlando, G., Salvi, L., Pugliese, L., Salerno, G., D’Errico, V. (2014) Correlates of Muscle Strength in Diabetes. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* 24 (1): 18–26.

23. Bandyk, D. F. (2018) The Diabetic Foot: Pathophysiology, Evaluation, and Treatment. *Seminars in Vascular Surgery, Fighting Diabetic Foot Ulcers*, 31 (2): 43–8.
24. Bogey, R. A., Gitter, A. J. and Barnes, L. A. (2010) Determination of Ankle Muscle Power in Normal Gait Using an EMG-to-Force Processing Approach. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 20 (1): 46–54.
25. Bommer, C., Sagalova, V., Heesemann, E., Manne-Goehler, J., Atun, R., Bärnighausen, T., Davies, J. and Vollmer, S. (2018) Global Economic Burden of Diabetes in Adults: Projections From 2015 to 2030. *Diabetes Care* 41 (5): 963–70.
26. Boulton, A. J. (2004) The Diabetic Foot: From Art to Science. The 18th Camillo Golgi Lecture. *Diabetologia* 47 (8): 1343–53.
27. Boulton, A. J. (2014) Diabetic Neuropathy and Foot Complications. *Handbook of Clinical Neurology* 126: 97–107.
28. Cabezas-Cerrato, J. (1998) The Prevalence of Clinical Diabetic Polyneuropathy in Spain: A Study in Primary Care and Hospital Clinic Groups. Neuropathy Spanish Study Group of the Spanish Diabetes Society (SDS). *Diabetologia* 41 (11): 1263–9.
29. Callaghan, B. C., Cheng, H., Stables, C. L., Smith, A. L. and Feldman, E. L. (2012) Diabetic Neuropathy: Clinical Manifestations and Current Treatments. *The Lancet. Neurology* 11 (6): 521–34.
30. Callaghan, B. C., Gallagher, G., Fridman, V. and Feldman, E. L. (2020) Diabetic Neuropathy: What Does the Future Hold? *Diabetologia* 63 (5): 891–97.
31. Callaghan, B. C., Gao, L., Li, C., Zhou, X., Reynolds, E., Banerjee, M., Pop-Busui, R., Feldman, E. L. and Ji, L. (2018) Diabetes and Obesity Are the Main Metabolic Drivers of Peripheral Neuropathy. *Annals of Clinical and Translational Neurology* 5 (4): 397–405.
32. Callaghan, B. C., Price, R. S. and Feldman, E. L. (2015) Diagnostic and Therapeutic Advances: Distal Symmetric Polyneuropathy. *JAMA* 314 (20): 2172–81.
33. Callaghan, B. C., Xia, R., Reynolds, E., Banerjee, M., Rothberg, A. E., Burant, C. F., Villegas-Umana, E., Pop-Busui, R. and Feldman, E. L. (2016) Exploring the Association between Metabolic Syndrome Components and Polyneuropathy in an Obese Population. *JAMA Neurology* 73 (12): 1468–76.

34. Cameron, N. E., Eaton, S. E. M., Cotter, M. A. and Tesfaye, S. (2001) Vascular Factors and Metabolic Interactions in the Pathogenesis of Diabetic Neuropathy. *Diabetologia* 44 (11): 1973–88.
35. Colberg, S. R., Sigal, R. J., Yardley, J. E., Riddell, M. C., Dunstan, D. W., Dempsey, P. S., Horton, E. S., Castorino, K. and Tate, D. F. (2016) Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care* 39 (11): 2065–79.
36. Coppini, D. V., Bowtell, P. A., Weng, C., Young, P. J. and Sönksen P. H. (2000) Showing Neuropathy Is Related to Increased Mortality in Diabetic Patients - a Survival Analysis Using an Accelerated Failure Time Model. *Journal of Clinical Epidemiology* 53 (5): 519–23.
37. Deng, Y., Luo, L., Hu, Y., Fang, K. and Liu, J. (2016) Clinical Practice Guidelines for the Management of Neuropathic Pain: A Systematic Review. *BMC Anesthesiology* 16: 12.
38. Diabetes Control and Complications Trial Research Group, Nathan, D. M., Genuth, S., Lachin, J., Cleary, P., Crofford, O., Davis, M., Rand, L. and Siebert, C. (1993) The Effect of Intensive Treatment of Diabetes on the Development and Progression of Long-Term Complications in Insulin-Dependent Diabetes Mellitus. *The New England Journal of Medicine* 329 (14): 977–86.
39. Dimitrova, A., Murchison, C. and Oken, B. (2017) Acupuncture for the Treatment of Peripheral Neuropathy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Alternative and Complementary Medicine* 23 (3): 164–79.
40. Dubinsky, R. M., and Miyasaki, J. (2010) Assessment: Efficacy of Transcutaneous Electric Nerve Stimulation in the Treatment of Pain in Neurologic Disorders (an Evidence-Based Review): Report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology* 74 (2): 173–6.
41. Dunnigan, S. K., Ebadi, H., Breiner, A., Katzberg, H. D., Lovblom, L. E., Perkins, B. A. and Brill, V. (2013) Conduction Slowing in Diabetic Sensorimotor Polyneuropathy. *Diabetes Care* 36 (11): 3684–90.
42. Dyck, P. J., Kratz, K. M., Karnes, J. L., Litchy, W. J., Klein, R., Pach, J. M., Wilson, D. M., O'Brien, P. C., Melton, L. J. 3rd. and Service, F. J. (1993) The Prevalence by Staged Severity of Various Types of Diabetic Neuropathy, Retinopathy, and Nephropathy in a Population-Based Cohort: The Rochester Diabetic Neuropathy Study. *Neurology* 43 (4): 817–24.
43. Eechaute, C., Vaes, P., Van Aerschot, L., Asman, S. and Duquet, W. (2007) The Clinimetric Qualities of Patient-Assessed Instruments for Measuring

Chronic Ankle Instability: A Systematic Review. *BMC Musculoskeletal Disorders* 8: 6.

44. Feldman, E. L., Callaghan, B. C., Pop-Busui, R., Zochodne, D. W., Wright, D. E., Bennett, D. L., Bril, V., Russell, J. W. and Viswanathan, V. (2019) Diabetic Neuropathy. *Nature Reviews. Disease Primers* 5 (1): 42.
45. Forbes, J. M. and Cooper, M. E. (2013) Mechanisms of Diabetic Complications. *Physiological Reviews* 93 (1): 137–88.
46. Gadia, M. T., Natori, N., Ramos, L. B., Ayyar, D. R., Skyler, J. S. and Sosenko, J. M. (1987) Influence of Height on Quantitative Sensory, Nerve-Conduction, and Clinical Indices of Diabetic Peripheral Neuropathy. *Diabetes Care* 10 (5): 613–6.
47. Gao, Y., Guo, X., Han, P., Li, Q., Yang, G., Qu, S., Yue, L. (2015) Treatment of Patients with Diabetic Peripheral Neuropathic Pain in China: A Double-Blind Randomised Trial of Duloxetine vs. Placebo. *International Journal of Clinical Practice* 69 (9): 957–66.
48. Ghanavati, T., Yazdi, M. J. S., Goharpey, S. and Arastoo, A. (2012) Functional Balance in Elderly with Diabetic Neuropathy. *Diabetes Research and Clinical Practice* 96 (1): 24–8.
49. Goldsmith, J. R., Lidtke, R. H. and Shott, S. (2002) The Effects of Range-of-Motion Therapy on the Plantar Pressures of Patients with Diabetes Mellitus. *Journal of the American Podiatric Medical Association* 92 (9): 483–90.
50. Gravesande, J. and Richardson J. (2017) Identifying Non-Pharmacological Risk Factors for Falling in Older Adults with Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review. *Disability and Rehabilitation* 39 (15): 1459–65.
51. Gu, Y. and Dennis S. M. (2017) Are Falls Prevention Programs Effective at Reducing the Risk Factors for Falls in People with Type-2 Diabetes Mellitus and Peripheral Neuropathy: A Systematic Review with Narrative Synthesis. *Journal of Diabetes and Its Complications* 31 (2): 504–16.
52. Gummy, L. F., Bampton, E. T. W. and Tolkovsky, A. M. (2008) Hyperglycemia Inhibits Schwann Cell Proliferation and Migration and Restricts Regeneration of Axons and Schwann Cells from Adult Murine DRG. *Molecular and Cellular Neurosciences* 37 (2): 298–311.
53. Hanewinkel, R., Drenthen, J., Ligthart, S., Dehghan, A., Franco, O. H., Hofman, A., Ikram, M. A. and van Doorn, P. A. (2016) Metabolic Syndrome Is Related to Polyneuropathy and Impaired Peripheral Nerve Function: A Prospective Population-Based Cohort Study. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* 87 (12): 1336–42.

54. Hashem, M. M., Esmael, A., Nassar, A. K. and El-Sherif, M. (2021) The Relationship between Exacerbated Diabetic Peripheral Neuropathy and Metformin Treatment in Type 2 Diabetes Mellitus. *Scientific Reports* 11: 1940.
55. Hewston, P. and Deshpande, N. (2016) Falls and Balance Impairments in Older Adults with Type 2 Diabetes: Thinking Beyond Diabetic Peripheral Neuropathy. *Canadian Journal of Diabetes* 40 (1): 6–9.
56. Hewston, P., and Deshpande, N. (2018) Head and Trunk Control While Walking in Older Adults with Diabetes: Effects of Balance Confidence. *Journal of Motor Behavior* 50 (1): 65–72.
57. Hirase, T., Inokuchi, S., Matsusaka, N. and Okita, M. (2015) Effects of a Balance Training Program Using a Foam Rubber Pad in Community-Based Older Adults: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Geriatric Physical Therapy* 38 (2): 62–70.
58. Hounsom, L., Corder, R., Patel, J. and Tomlinson, D. R. (2001) Oxidative Stress Participates in the Breakdown of Neuronal Phenotype in Experimental Diabetic Neuropathy. *Diabetologia* 44 (4): 424–8.
59. Ijzerman, T. H., Schaper, N. C., Melai, T., Blijham, P., Meijer, K., Willems, P. J. B. and Savelberg, H. H. (2011) Motor Nerve Decline Does Not Underlie Muscle Weakness in Type 2 Diabetic Neuropathy. *Muscle & Nerve* 44 (2): 241–5.
60. Ijzerman, T. H., Schaper, N. C., Melai, T., Blijham, P., Meijer, K., Willems, P. J. B. and Savelberg, H. H. (2012) Lower Extremity Muscle Strength Is Reduced in People with Type 2 Diabetes, with and without Polyneuropathy, and Is Associated with Impaired Mobility and Reduced Quality of Life. *Diabetes Research and Clinical Practice* 95 (3): 345–51.
61. Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Castagna, C., Martino, F., Fiorini, S. and Wisloff U. (2008) Effect of Plyometric Training on Sand versus Grass on Muscle Soreness and Jumping and Sprinting Ability in Soccer Players. *British Journal of Sports Medicine* 42 (1): 42–6.
62. Javed, S., Petropoulos, I. N., Alam, U. and Malik R. A. (2015) Treatment of Painful Diabetic Neuropathy. *Therapeutic Advances in Chronic Disease* 6 (1): 15–28.
63. Javorek, I. (1991) Sand Boxes (Sand Stairs) and Their Use in Developing Explosive Response. *Strength & Conditioning Journal* 13 (5): 84–7.
64. Jeon, E., Kwon, H., Shin, I., Kang, S. and Shon, H. (2014) Effect of Acupuncture on Diabetic Peripheral Neuropathy: An Uncontrolled Preliminary

Study from Korea. *Acupuncture in Medicine: Journal of the British Medical Acupuncture Society* 32 (4): 350–2.

65. Jingxuan, L., Litian, M. and Jianfang, F. (2021) Different Drugs for the Treatment of Painful Diabetic Peripheral Neuropathy: A Meta-Analysis. *Frontiers in Neurology* 12: 682244.
66. Judge, J. O., Davis, R. B. and Ounpuu, S. (1996) Step Length Reductions in Advanced Age: The Role of Ankle and Hip Kinetics. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 51 (6): M303-12.
67. Jung, J., Kim, M., Kang, Y., Min, K., Han, K. and Choi, H. (2021) Vibration Perception Threshold and Related Factors for Balance Assessment in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (11): 6046.
68. Katics, L. (2015) *Kondicionális és koordinációs képességek fejlesztése (a testnevelésben, szabadidő- és versenysportban)*. PTE TTK, Pécs.
69. Kelly, C., Fleischer, A., Yalla, S., Grewal, G.S., Albright, R., Berns, D., Crews, R. and Najafi, B. (2013) Fear of Falling Is Prevalent in Older Adults with Diabetes Mellitus but Is Unrelated to Level of Neuropathy. *Journal of the American Podiatric Medical Association* 103 (6): 480–8.
70. Khalid, M., Petroianu, G. and Adem, A. (2022) Advanced Glycation End Products and Diabetes Mellitus: Mechanisms and Perspectives. *Biomolecules* 12 (4): 542.
71. Khdour, M. R. (2020) Treatment of Diabetic Peripheral Neuropathy: A Review. *The Journal of Pharmacy and Pharmacology* 72 (7): 863–72.
72. Kilo, S., Berghoff, M., Hilz, M. and Freeman, R. (2000) Neural and Endothelial Control of the Microcirculation in Diabetic Peripheral Neuropathy. *Neurology* 54 (6): 1246–52.
73. Kruse, R. L., Lemaster, J. W. and Madsen R. W. (2010) Fall and Balance Outcomes after an Intervention to Promote Leg Strength, Balance, and Walking in People with Diabetic Peripheral Neuropathy: “Feet First” Randomized Controlled Trial. *Physical Therapy* 90 (11): 1568–79.
74. Kumar, S., Ashe, H. A., Parnell, L. N., Fernando, D. J., Tsigos, C., Young, R. J., Ward, J. D. and Boulton, A. J. (1994) The Prevalence of Foot Ulceration and Its Correlates in Type 2 Diabetic Patients: A Population-Based Study. *Diabetic Medicine: A Journal of the British Diabetic Association* 11 (5): 480–4.

75. Kwon, O., Minor, S. D., Maluf, K. S. and Mueller, M. J. (2003) Comparison of Muscle Activity during Walking in Subjects with and without Diabetic Neuropathy. *Gait & Posture* 18 (1): 105–13.
76. Lee, K., Lee, S. and Song, C. (2013) Whole-Body Vibration Training Improves Balance, Muscle Strength and Glycosylated Hemoglobin in Elderly Patients with Diabetic Neuropathy. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine* 231 (4): 305–14.
77. Lee, S. and So, Y. (2019) The Effects of Sand Exercise Program on Balance Capability, Extremity Muscle Activity, and Inflammatory Markers in Older Women. *Exercise Science* 28 (May): 131–40.
78. LeMaster, J. W., Mueller, M. J., Reiber, G. E., Mehr, D. R., Madsen, R. W. and Conn, V. S. (2008) Effect of Weight-Bearing Activity on Foot Ulcer Incidence in People With Diabetic Peripheral Neuropathy: Feet First Randomized Controlled Trial. *Physical Therapy* 88 (11): 1385–98.
79. Macaulay, T. R., Hegarty, A., Yan, L., Duncan, D., Pa, J., Kutch, J. J., Rocca, M. L., Lane, C. J. and Schroeder, E. T. (2022) Effects of a 12-Week Periodized Resistance Training Program on Resting Brain Activity and Cerebrovascular Function: A Nonrandomized Pilot Trial. *Neuroscience Insights* 17 (August): 38-41.
80. Markowicz-Piasecka, M., Sikora, J., Szydłowska, A., Skupień, A., Mikiciuk-Olasik, E. and Huttunen, K. M. (2017) Metformin - a Future Therapy for Neurodegenerative Diseases: Theme: Drug Discovery, Development and Delivery in Alzheimer's Disease Guest Editor: Davide Brambilla. *Pharmaceutical Research* 34 (12): 2614–27.
81. 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.
82. 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.
83. Melzer, I., Benjuya, N., Kaplanski, J. and Alexander, N. (2009) Association between Ankle Muscle Strength and Limit of Stability in Older Adults. *Age and Ageing* 38 (1): 119–23.
84. Menz, H. B., Lord, S. R., St George, R. and Fitzpatrick, R. C. (2004) Walking Stability and Sensorimotor Function in Older People with Diabetic Peripheral neuropathy Commercial Party Having a Direct Financial Interest in the Results of the Research Supporting This Article Has or Will Confer a Benefit upon the

Authors(s) or upon Any Organization with Which the Author(s) Is/Are Associated. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 85 (2): 245–52.

85. Miyama, M. and Nosaka, K. (2004) Influence of Surface on Muscle Damage and Soreness Induced by Consecutive Drop Jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18 (2): 206–11.
86. Mohseni, M., Hosseinzadeh, P., Civitelli, R. and Eisen, S. (2021) Effect of Peripheral Neuropathy on Bone Mineral Density in Adults with Diabetes: A Systematic Review of the Literature and Meta-Analysis. *Bone* 147 (6): 115932.
87. 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. N. (2022) Foot-Ankle Therapeutic Exercise Program Can Improve Gait Speed in People with Diabetic Neuropathy: A Randomized Controlled Trial. *Scientific Reports* 12 (1): 7561.
88. Mu, Y., Liu, X., Li, Q., Chen, K., Liu, Y., Lv, X., Xu, X. Fan, D., Shang, N., Yang, R., Pauer, L. and Pan, C. (2018) Efficacy and Safety of Pregabalin for Painful Diabetic Peripheral Neuropathy in a Population of Chinese Patients: A Randomized Placebo-Controlled Trial. *Journal of Diabetes* 10 (3): 256–65.
89. Muehlbauer, T., Gollhofer, A. and Granacher, U. (2015) Associations Between Measures of Balance and Lower-Extremity Muscle Strength/Power in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.z.)* 45 (12): 1671–92.
90. Mueller, M. J., Tuttle, L. J., Lemaster, J. W., Strube, M. J., McGill, J. B., Hastings, M. K. and Sinacore, D. R. (2013) Weight-Bearing versus Nonweight-Bearing Exercise for Persons with Diabetes and Peripheral Neuropathy: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 94 (5): 829–38.
91. Nardone, A., Grasso, M. and Schieppati, M. (2006) Balance Control in Peripheral Neuropathy: Are Patients Equally Unstable under Static and Dynamic Conditions? *Gait & Posture* 23 (3): 364–73.
92. Pirart, J. (1978) Diabetes Mellitus and Its Degenerative Complications: A Prospective Study of 4400 Patients Observed between 1947 and 1973. 168–188: 253–63.
93. Praet, S. F. E. R., Jonkers, M., Schep, G., Stehouwer, C. D. A., Kuipers, H., Keizer, H. A. and van Loon, L. J. (2008) Long-Standing, Insulin-Treated Type 2 Diabetes Patients with Complications Respond Well to Short-Term Resistance and Interval Exercise Training. *European Journal of Endocrinology* 158 (2): 163–72.

94. Prókai, J., Geszler, C., Lukácsi, B. and Váczi, M. (2016) Rövidtávú TRX edzés izommechanikai és funkcionális hatása edzetlen személyeknél. *Magyar Sporttudományi Szemle* 17 (68): 17–22.
95. 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.
96. Rao, S., Saltzman, C. L. and Yack, H. J. (2010) Relationships between Segmental Foot Mobility and Plantar Loading in Individuals with and without Diabetes and Neuropathy. *Gait & Posture* 31 (2): 251–5.
97. Rastogi, A., Goyal, G., Kesavan, R., Bal, A., Kumar, H., Mangalanadanam, N., Kamath, P., Jude, E. B., Armstrong, D. G. and Bhansali, A. (2020) Long Term Outcomes after Incident Diabetic Foot Ulcer: Multicenter Large Cohort Prospective Study (EDI-FOCUS Investigators) Epidemiology of Diabetic Foot Complications Study: Epidemiology of Diabetic Foot Complications Study. *Diabetes Research and Clinical Practice* 162: 108113.
98. Reeves, N. D., Orlando, G. and Brown, S. J. (2021) Sensory-Motor Mechanisms Increasing Falls Risk in Diabetic Peripheral Neuropathy. *Medicina* 57 (5): 457.
99. Riandini, T., Wee, H. L., Khoo, E. Y. H., Tai, B. C., Wang, W., Koh, G. C. H., and 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.
100. Richardson, J. K. (2002) Factors Associated with Falls in Older Patients with Diffuse Polyneuropathy. *Journal of the American Geriatrics Society* 50 (11): 1767–73.
101. Rodella, L., Rezzani, R., Corsetti, G. and Bianchi, R. (2000) Nitric Oxide Involvement in the Trigeminal Hyperalgesia in Diabetic Rats. *Brain Research* 865 (1): 112–5.
102. 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: S29–32.
103. Rubenstein, L. Z. (2006) Falls in Older People: Epidemiology, Risk Factors and Strategies for Prevention. *Age and Ageing* 35 Suppl 2: ii37–41.

104. Said, G. (2007) Diabetic Neuropathy—a Review. *Nature Clinical Practice Neurology* 3 (6): 331–40.
105. Salsich, G. B., Mueller, M. J. and Sahrman, 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.
106. 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: 137.
107. Sartor, C. D., Watari, R., Pássaro, A. C., Picon, A. P., Hasue, R. H. and Sacco, I. C. N. (2012) Effects of a Combined Strengthening, Stretching and Functional Training Program versus Usual-Care on Gait Biomechanics and Foot Function for Diabetic Neuropathy: A Randomized Controlled Trial. *BMC Musculoskeletal Disorders* 13: 36.
108. Savelberg, H. H. C. M., Ilgin, D., Angin, S., Willems, P. J. B., Schaper, N. C. and Meijer, K. (2010) Prolonged Activity of Knee Extensors and Dorsal Flexors Is Associated with Adaptations in Gait in Diabetes and Diabetic Polyneuropathy. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)* 25 (5): 468–75.
109. Sawacha, Z., Cristoferi, G., Guarneri, G., Corazza, S., Donà, G., Denti, P., Facchinetti, A., Avogaro, A. and Cobelli, C. (2009) Characterizing Multisegment Foot Kinematics during Gait in Diabetic Foot Patients. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation* 6: 37.
110. Sawacha, Z., Spolaor, F., Guarneri, G., Contessa, P., Carraro, E., Venturin, A., Avogaro, A. and Cobelli, C. (2012) Abnormal Muscle Activation during Gait in Diabetes Patients with and without Neuropathy. *Gait & Posture* 35 (1): 101–5.
111. Schie, C. H. M. (2008) Neuropathy: Mobility and Quality of Life. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews* 24 (S1): S45–51.
112. Schwartz, A. V., Vittinghoff, E., Sellmeyer, D. E., Feingold, K. R., de Rekeneire, N., Strotmeyer, E. S. and Shorr, R. I. (2008) Diabetes-Related Complications, Glycemic Control, and Falls in Older Adults. *Diabetes Care* 31 (3): 391–6.
113. Selvarajah, D., Kar, D., Khunti, K., Davies, M. J., Scott, A. R., Walker, J. and Tesfaye, S. (2019) Diabetic Peripheral Neuropathy: Advances in Diagnosis and Strategies for Screening and Early Intervention. *The Lancet. Diabetes & Endocrinology* 7 (12): 938–48.

114. Shin, H., Kim, S., Jeon, E., Lee, M., Lee, S. and Cho, H. (2019) Effects of Therapeutic Exercise on Sea Sand on Pain, Fatigue, and Balance in Patients with Chronic Ankle Instability: A Feasibility Study. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 59 (7): 1200–05.
115. Shin, S., Valentine, R. J., Evans, E. M. and Sosnoff, J. J. (2012) Lower Extremity Muscle Quality and Gait Variability in Older Adults. *Age and Ageing* 41 (5): 595–99.
116. Sigal, R. J., Kenny, G. P., Wasserman, D. H., Castaneda-Sceppa, C. and White, R. D. (2006) Physical Activity/Exercise and Type 2 Diabetes. *Diabetes Care* 29 (6): 1433–38.
117. Simoneau, G. G., Ulbrecht, J. S., Derr, J. A., Becker, M. B. and Cavanagh, P. R. (1994) Postural Instability in Patients with Diabetic Sensory Neuropathy. *Diabetes Care* 17 (12): 1411–21.
118. Singh, R., Kaur, N., Kishore, L. and Gupta, G. K. (2013) Management of Diabetic Complications: A Chemical Constituents Based Approach. *Journal of Ethnopharmacology* 150 (1): 51–70.
119. Singh, V. P., Bali, A., Singh, N. and Jaggi, A. S. (2014) Advanced Glycation End Products and Diabetic Complications. *The Korean Journal of Physiology & Pharmacology: Official Journal of the Korean Physiological Society and the Korean Society of Pharmacology* 18 (1): 1–14.
120. Skljarevski, V. and Lledo, A. (2006) Diabetic Neuropathies. *Archives of Neurology* 63 (10): 1502–4.
121. Song, C. H., Petrofsky, J. S., Lee, S. W., Lee, K. J. and Yim, J. E. (2011) Effects of an Exercise Program on Balance and Trunk Proprioception in Older Adults with Diabetic Neuropathies. *Diabetes Technology & Therapeutics* 13 (8): 803–11.
122. Sosenko, J. M. (2009) The Prevalence of Diabetic Neuropathy According to Ethnicity. *Current Diabetes Reports* 9 (6): 435–9.
123. Sun, H., Saeedi, P., Karuranga, S., Pinkepank, M., Ogurtsova, K., Duncan, B. B. and Stein, C. (2022) IDF Diabetes Atlas: Global, Regional and Country-Level Diabetes Prevalence Estimates for 2021 and Projections for 2045. *Diabetes Research and Clinical Practice* 183: 109119.
124. Tesfaye, S. and Boulton A. (2009) *Diabetic Neuropathy*. Oriold & Társai Kiadó, Budapest.

125. Tesfaye, S., Chaturvedi, N., Eaton, S. E. M., Ward J. D., Manes, C., Ionescu-Tirgoviste, C., Witte, D. R. and Fuller, J. H. (2005) Vascular Risk Factors and Diabetic Neuropathy. *New England Journal of Medicine* 352 (4): 341–50.
126. 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.
127. Van Acker, K., Bouhassira, D., De Bacquer, D., Weiss, S., Matthys, K.H., Mathieu, C. R. and Colin, I. M. (2009) Prevalence and Impact on Quality of Life of Peripheral Neuropathy with or without Neuropathic Pain in Type 1 and Type 2 Diabetic Patients Attending Hospital Outpatients Clinics. *Diabetes & Metabolism* 35 (3): 206–13.
128. Van Deursen, R. (2004) Mechanical Loading and Off-Loading of the Plantar Surface of the Diabetic Foot. *Clinical Infectious Diseases* 39 (Supplement_2): S87–91.
129. Venkataraman, K., Tai, B. C., Khoo, E. Y. H., Tavintharan, S., Chandran, K., Hwang, S. W., Phua, M. S. L. A., Wee, H. L., Koh, G. C. H. and Tai, E. S. (2019) Short-Term Strength and Balance Training Does Not Improve Quality of Life but Improves Functional Status in Individuals with Diabetic Peripheral Neuropathy: A Randomised Controlled Trial. *Diabetologia* 62 (12): 2200–2210.
130. Viader, A., Sasaki, Y., Kim, S., Strickland, A., Workman, C. S., Yang, K., Gross, R. W. and Milbrandt, J. (2011) Aberrant Schwann Cell Lipid Metabolism Linked to Mitochondrial Deficits Leads to Axon Degeneration and Neuropathy. *Neuron* 77 (5): 886–98.
131. Vinik, A. I., Perrot, S., Vinik, E. J., Pazdera, L., Jacobs, H., Stoker, M. and Long, S. K. (2016) Capsaicin 8% Patch Repeat Treatment plus Standard of Care (SOC) versus SOC Alone in Painful Diabetic Peripheral Neuropathy: A Randomised, 52-Week, Open-Label, Safety Study. *BMC Neurology* 16: 251.
132. Volpato, S., Bianchi, L., Lauretani, F., Lauretani, F., Bandinelli, S., Guralnik, J. M., Zuliani, G. and Ferrucci, L. (2012) Role of Muscle Mass and Muscle Quality in the Association Between Diabetes and Gait Speed. *Diabetes Care* 35 (8): 1672–79.
133. Wang, X., Xu, G., Liu, H., Chen, Z., Huang, S., Yuan, J., Xie, C. and Du, L. (2023) Inhibiting Apoptosis of Schwann Cell under the High-Glucose Condition: A Promising Approach to Treat Diabetic Peripheral Neuropathy Using Chinese Herbal Medicine. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 157: 114059.

134. World Health Organization (2013) *Global Action Plan for the Prevention and Control of Noncommunicable Diseases 2013-2020*. Geneva: World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/94384>.
135. World Health Organization (2018) *Global Action Plan on Physical Activity 2018–2030: More Active People for a Healthier World*. Geneva: World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/272722>.
136. Xu, H., Jiang, R., Chen, X. and Li, L. (2012) Chinese Herbal Medicine in Treatment of Diabetic Peripheral Neuropathy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Ethnopharmacology* 143 (2): 701–8.
137. Xue, T., Zhang, X., Xing, Y., Liu, S., Zhang, L., Wang, X. and Yu, M. (2021) Advances About Immunoinflammatory Pathogenesis and Treatment in Diabetic Peripheral Neuropathy. *Frontiers in Pharmacology* 12 (October): 748193.
138. Yang, K., Wang, Y., Li, Y., Chen, Y., Xing, N., Lin, H., Zhou, P. and Yu, X. (2022) Progress in the Treatment of Diabetic Peripheral Neuropathy. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 148: 112717.
139. Young, M. J., Boulton, A. J., MacLeod, A. F., Williams, D. R. and Sonksen, P. H. (1993) A Multicentre Study of the Prevalence of Diabetic Peripheral Neuropathy in the United Kingdom Hospital Clinic Population. *Diabetologia* 36 (2): 150–54.
140. Zimny, S., Schatz, H. and Pfohl, M. (2004) The Role of Limited Joint Mobility in Diabetic Patients with an At-Risk Foot. *Diabetes Care* 27 (4): 942–46.

Publikációk jegyzéke

Az értekezés alapjául szolgáló publikációk

- **Prókai J.**, Atlasz T., Váczi 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., Kőszegi 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 - Závarecná 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 životny styl v mal ych obciach - Závarecná 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

- Bánhidi M., Lacza Gy., Bagó I., Bognár J., Fehérvári D., Milassin Á., Müller A., **Prókai J.**, Szalóki R. (2023): Egy nemzetközi tesztbatteria kutatómódszertani tapasztalatai a Covid-19 járvány hatásainak megismerésére felnőtt lakosok körében. *Magyar Sporttudományi Szemle*, 24 2(102) pp 42-43.
- Bánhidi M., Lacza Gy., Bagó I., Bognár J., Fehérvári D., Milassin Á., Müller A., **Prókai J.**, Szalóki R. (2023): Egy nemzetközi tesztbatteria kutatómódszertani tapasztalatai a Covid-19 járvány hatásainak megismerésére felnőtt lakosok körében. *"Sporttudomány az egészség és a teljesítmény szolgálatában" XX. Országos Sporttudományi Kongresszus. Pannon Egyetem, Veszprém.*
- **Prókai J.** (2022): "Dancelebration"- egy nemzetközi kezdeményezés tapasztalatai = Experiences of the WLO international celebration. *Fitness, tánc és Életminőség Nemzetközi Konferencia, és Workshop/ Fitness Dance, Quality of Life International Conference and Workshop*, PTE TTK, Pécs.
- 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.

- Biczó P., Schmeizl A., Schmidt E., Szabó B., **Prókai J.**, (2021): Investigating the stress situation related to sports among university students. In: Bánhidi M., - Prókai J. (szerk) *II. International Youth Scientific Conference on Recreation and Leisure. Booklet of Abstracts*. Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar, Pécs: pp 10.
 - **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.
-

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek, Dr. Váczi Márk egyetemi docensnek és Dr. Atlasz Tamás egyetemi docensnek munkájukért és iránymutatásukért, melyet számomra nyújtottak. Köszönettel tartozom Dr. Molnár Gergő egyetemi tanárnak, a PTE KK 2. számú Belgyógyászati Klinika és Nefrológiai Központ klinikai igazgatóhelyettesének, aki lehetővé tette a betegekkel való kapcsolatfelvételt. Köszönöm Dr. Gábrriel Róbert egyetemi tanár és Zag Gábor támogatását, hogy a kutatásunkban alkalmazott edzéshez szükséges infrastruktúrát számomra a PTE TTK A épületében biztosították és így létrejöhett a Mozgásterápiás Labor. Köszönöm Gréczi Viktóriának az edzésterv elkészítéséhez nélkülözhetetlen segítségét. Köszönöm Dr. Csóka László egyetemi adjunktusnak és Sebesi Balázs egyetemi tanársegédnek, hogy segítőkészen, számtalan jó tanáccsal elláttak és nagyban segítettek munkám előrehaladását. Szeretném különösen megköszönni annak a 11 embernek, Acsádi Sándornak, Bogár Katának, Boris Zoltánnának, Elek Lászlónak, Kisfali Sándorné Ilonának, Kis Károly Sándornak, Koch Lajosnak, Kubiczki Jánosnak, Öhlmüller Józsefnének, Szakállas Lászlóné Máriának és Zahradnyik Gyulának, akik a vizsgálatunkban lelkesen, engem mindenben támogatóan részt vettek. Köszönöm a barátaimnak és a családomnak, hogy a tőlük telhető módon mindig segítettek engem.

Melléletek

1. Melléklet: FAAM teszt

Foot and Ankle Ability Measure (FAAM) Activities of Daily Living Subscale

Kérem minden lehetőségnél csak azt az egy válaszlehetőséget jelölje meg, amely a leginkább leírja az elmúlt egy hétre vonatkozó állapotát!

Ha a kérdésben szereplő fizikai aktivitás végrehajtása az alsó végtag állapotától eltérő okból korlátozott, a "nem releváns" (NR)lehetőséget kérem megjelölni.

	Nem okoz problémát	Kissé nehéz	Közepesen nehéz	Nagyon nehéz	Nem tudja végrehajtani	NR
Állás	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Séta stabil felületen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Séta stabil felületen cipő nélkül	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Séta emelkedőn felfelé	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Séta emelkedőn lefelé	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lépcsőn felmenni	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lépcsőn lemenni	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Séta instabil felületen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Járdaszegélyről történő fel- és lelépés	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Guggolás	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lábujjhegyre emelkedés	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Járás megindítása	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 perc, vagy annál kevesebb ideig tartó séta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kb. 10 perces séta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15 perc, vagy annál hosszabb ideig tartó séta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Foot and Ankle Ability Measure (FAAM)
Activities of Daily Living Subscale
Page 2

Az alsó végtag állapotából kifolyólag, mennyire találja megterhelőnek az alábbi fizikai aktivitásokat:

	Nem okoz problémát	Kissé nehéz	Közepesen nehéz	Nagyon nehéz	Nem tudja végrehajtani	NR
Otthoni háztartási munkák	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Otthonról kívül eső teendők	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Önmaga ellátása	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Könnyű fizikai munka (állás, séta)	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Nehéz fizikai munka (tolni, húzni, felmászni)	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Rekreációs tevékenységek	↔	↔	↔	↔	↔	↔

Hogyan értékeli a jelenlegi fizikai állapotának teljesítményét (alsó végtag szempontjából) a mindennapi fizikai aktivitásokhoz kapcsolódó tevékenységekben 0 és 100 között? 100 amikor mindent probléma nélkül elvégez, a 0 amikor nem képes elvégezni a napi tevékenységeket.

___ . 0 %

Martin, R; Irrgang, J; Burdett, R; Conti, S; VanSwearingen, J: Evidence of Validity for the Foot and Ankle Ability Measure. Foot and Ankle International. Vol.26, No.11: 968-983, 2005.

**Foot and Ankle Ability Measure (FAAM)
Sports Subscale**

Az alsó végtag állapotából kifolyólag, mennyire találja megterhelőnek az alábbi fizikai aktivitásokat:

	Nem okoz problémát	Kissé nehéz	Közepesen nehéz	Nagyon nehéz	Nem tudja végrehajtani	NR
Futás	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Ugrás	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Talajfogás	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Gyors indulás és megállás	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Oldalirányú mozgások	↔	↔	↔	↔	↔	↔
A különböző fizikai aktivitások normál technikával történő végrehajtásának képessége	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Részt tud venni a választott sportágban, annyi ideig ameddig csak szeretne	↔	↔	↔	↔	↔	↔

Hogyan értékeli a jelenlegi fizikai állapotának teljesítményét (alsó végtag szempontjából) a sporttevékenységekhez kapcsolódó fizikai aktivitásokban 0 és 100 között? 100 amikor mindent probléma nélkül elvégez, a 0 amikor nem képes elvégezni az adott tevékenységeket.

___ . 0%

Összességében hogyan értékeli a fizikai funkcionalitásának szintjét?

↔ Normális ↔ Közel normális ↔ Rendellenes ↔ Súlyosan rendellenes

Martin, R; Irrgang, J; Burdett, R; Conti, S; VanSwearingen, J; Evidence of Validity for the Foot and Ankle Ability Measure. Foot and Ankle International. Vol.26, No.11: 968-983, 2005.

Ábrák és táblázatok jegyzéke

Ábrák:

1. A DPN betegek vizsgálatba (1-3 tesztek) való bevonásának folyamata. (23.oldal)
2. Lábpozíció a plantar és dorsalflexió irányban végrehajtott maximális akaratlagos izometriás erő kifejtés teszteknel Multicont II számítógép vezérlésű dinamométeren. (24. oldal)
3. Reprezentatív simított EMG jelek (RMS) a TA, MG és LG izmokból nyert plantarflexió (PF) és dorsalflexió (DF) során. (26.oldal)
4. A bokaízület nyílrányú mozgásterjedelmének vizsgálata goniométerrel. (27.oldal)
5. A statikus egyensúlyozás képességének felmérése stabilometer segítségével (A) és a képernyőn megjelenő vizuális visszacsatolás képe (B). (28.oldal)
6. A homok edzés során járásban (A), állásban (B), homokellenállással (C) végzett gyakorlatok. (30.old.)

Táblázatok:

1. A 12 hetes homokedzés gyakorlatai, és az edzés periodizációja. (31.oldal)
2. A vizsgálati személyek antropometriai (AP), biomechanikai (BP) és funkcionális (FP) paraméterei. (33.oldal)
3. A vizsgálati személyek antropometriai (AP), biomechanikai (BP) és funkcionális paraméterei (FP) közötti korrelációs együtthatók (r) értékei. (35.oldal)
4. Az 1.-3. teszt során mért biomechanikai, funkcionális változók és a testösszetétel eredményei, valamint a 2.-3. teszt eredményei közötti százalékos változás a 12 hetes homokon végzett edzés hatására a vizsgált DPN betegeknél. (37.oldal)
5. A vizsgálati személyek fizikai funkcióinak szubjektív megítélés szerinti változása a FAAM teszt MÉT és ST alszállaira adott válaszok alapján. Megjegyzés: FAAM szám értékei = a FAAM alszállaira adott összesített pontértékek százalékos értékei, ahol a 100% a teljes funkcionalitás; résztvevők

saját véleménye = a mindennapos és a sporthoz köthető tevékenységek funkcióinak százalékban kifejezett szintje, ahol a 100% a teljes funkcionalitás. (39. oldal)

6. Az objektív biomechanikai és funkcionális paraméterek százalékos változása és a FAAM teszt MÉT és ST alszállására adott válaszok százalékban kifejezett teljesítményszintjeinek szubjektív megítélés szerinti változása közötti összefüggések az intervenciós időszakban. (40. oldal)

7. sz. melléklet

**DOKTORI ÉRTEKEZÉS BENYÚJTÁSA ÉS NYILATKOZAT A DOLGOZAT
EREDETISÉGÉRŐL**

Alulírott

név: Prókai Judit Andrea

születési név: Prókai Judit Andrea

anyja neve: Áts Judit

születési hely, idő: Nagykanizsa, 1981.03.04

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

című doktori értekezésemet a mai napon benyújtom a

Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Doktori Iskola

PR1/ E-62 Programjához/témacsoportjához

Témavezető(k) neve: Dr. Váczi Márk, Dr. Atlasz Tamás

Egyúttal nyilatkozom, hogy jelen eljárás során benyújtott doktori értekezésemet
- korábban más doktori iskolába (sem hazai, sem külföldi egyetemen) nem nyújtottam be,
- fokozatszerzési eljárásra jelentkezésemet két éven belül nem utasították el,
- az elmúlt két esztendőben nem volt sikertelen doktori eljárásom,
- öt éven belül doktori fokozatom visszavonására nem került sor,
- értekezésem önálló munka, más szellemi alkotását sajátomként nem mutattam be, az irodalmi hivatkozások egyértelműek és teljeseek, az értekezés elkészítésénél hamis vagy hamisított adatokat nem használtam.

Továbbá nyilatkozom, hogy hozzájárulok a doktori értekezésem DOI azonosító igényléséhez.

Dátum: Pécs, 2024.03.28

Prókai Judit
doktorvárományos aláírása

Dr. Atlasz Tamás
témavezető aláírása



Dr. Váczi Márk
társtémavezető aláírása