

## Kutatási cikk

## Nemzetközi kutatási folyóirat a fizikai orvoslás és rehabilitáció területén

## Az egyensúly és a stabilitás javítása egy új érzékszervi alkalmazás segítségével: Haptikus vibrációs-érintéses kiváltó technológia

John Haddad<sup>1</sup>, Baldeep S. Dhaliwal<sup>2</sup>, Manny S. Dhaliwal<sup>3</sup> és Peter Hurwitz<sup>4\*\*</sup><sup>1</sup>Amerikai Egyetem, Bejrút, Libanon.<sup>2</sup>Toronto, Ontario, Kanada.<sup>3</sup>Toronto, Ontario, Kanada.<sup>4</sup>Clarity Science LLC, Narragansett, Rhode Island, USA.**\*Levelezés:**

Peter Hurwitz, Clarity Science LLC, 750 Boston Neck Road, Suite 11, Narragansett, RI 02882, Tel +1917 757 0521.

**Megérkezett: Elfogadva:** 29 Nov 2022; **Elfogadva:** 29 Nov 2022; **Elfogadva:** 29 Nov 2022; **Megjelent:** 2022. dec. 19.**Idézet:** Haddad J, Dhaliwal BS, Dhaliwal MS, et al: Haptikus vibrációs-érintéses kiváltó technológia. Int J Res Phys Med Rehabil. 2022; 1(1): 1-7.

## ABSZTRAKT

**Bevezetés:** A testtartást és az egyensúlyt túlnyomórészt a gerincvelőben, az agytörzsben és a kisagyban található szenzoros és motoros modulok között ingadozó bonyolult mechanizmusok szabályozzák. Ezek az érzékszervek (pl. vestibuláris, vizuális, szomatoszenzoros), a kognitív rendszer (központi idegrendszer) és a mozgásszervi rendszer folyamatos szinkronizációs ciklusán alapulnak. Az életkor előrehaladtával fiziológiai változások következnek be az egyes érzékszervi rendszerekben, ami elsősorban a testtartás-szabályozás és az egyensúly fenntartásának nehézségei miatt megnövekedett esésveszélyt eredményez.

A perifériás és központi idegrendszeri (PNS/CNS) kommunikáció döntő fontosságú a különböző külső és belső ingerekre adott szenzoros bemenet és motoros kimenet meghatározásában. Az egyensúlyszabályozáshoz kapcsolódó neuronális pályák és hálózatok megértése kulcsfontosságú a neuropathológiában, valamint annak megértése, hogy ezeket hogyan befolyásolják a külső ingerek és hogyan reagálnak rájuk.

Számos terápiás megközelítést azonosítottak és bizonyítottan hatásosnak bizonyultak az egyensúly és a stabilitás javítására, valamint a gyengeség megelőzésére, késleltetésére és visszafordítására. E megközelítések némelyike nem biztos, hogy reális lehetőség, mivel nagyfokú mobilitást igényel. Az alternatív stratégiák, beleértve az egyensúly és a stabilitás javítására összpontosító új technológiákat, ígéretesek lehetnek a csökkentett vagy korlátozott mobilitásúak számára.

A neuromuszkuláris rendszer és az idegpályák folyamatosan igénybe vannak véve, mivel a testnek folyamatosan alkalmazkodnia kell a folyamatos környezeti ingerekhez a sikeres mozgás és az esések megelőzése érdekében. A vizuális, vestibuláris és taktilis érzékszervek szinkronizálásának együtt kell működnie a neuromuszkuláris rendszerrel a test beállításának ellenőrzése és a megfelelő motoros teljesítmény elősegítése érdekében.

A haptikus vibrációs-taktilis kiváltó technológia (VTT) az idegpályákat célozza meg, és úgy tervezték és fejlesztették ki, hogy segítse az egyensúly, a stabilitás, a fájdalom, az alvás, valamint az egészség és a wellness egyéb területeinek javítását. A technológiát ruházatba és más nem invazív szállítási módokba, például nem farmakológiai tapasztokba, merevítőkbé, csuklópántokba és kompressziós ujjakba építették be.

Ennek a minimális kockázatú vizsgálatnak a célja a haptikus vibrációs-taktilis kiváltó technológia (VTT) továbbfejlesztett zoknik hatásának, valamint az egyensúlyra és a stabilitásra gyakorolt hatásának feltárása volt azokkal a páciensekkel, akik hagyományos szövetzoknit viseltek, amelybe nem volt beágyazva a technológia.

**Módszerek:** Ez az intézményi felülvizsgálati bizottság által jóváhagyott vizsgálat összehasonlította a haptikus vibrációs érintés kiváltó technológia (Superneuro VTT Enhanced Socks (Srysty Holding Co., Toronto, Kanada)) hatékonyságát és annak az egyensúlyra és stabilitásra gyakorolt hatását azokkal az alanyokkal, akik normál szövetzoknit viseltek, amelybe nem volt beágyazva a technológia. Hatvankilenc (69) alany (n=44 férfi, 25 nő) vett részt a vizsgálatban, miután beleegyezésüket adták. Minden alanyon elvégeztek egy Sway Medical egyensúlyi mérést a VTT Enhanced Socks és a VTT technológiával nem ellátott normál zokni viselése közben. A Sway Medical Balance Assessment összpontszámát minden egyes alany esetében megkapták, kiértékeltek és összehasonlították. Egyirányú ANOVA F-tesztet végeztünk a VTT továbbfejlesztett zoknik és a hagyományos zoknik esetében az átlagok változásának összehasonlítására és azonosítására.

**Eredmények:** Az eredmények egyértelmű és statisztikailag szignifikáns különbséget mutattak a Sway Medical Balance Assessment Scores értékelésekben a normál zoknit és a haptikus vibrációs érintéses trigger technológiával (VTT) továbbfejlesztett zoknit viselő alanyok között. A Sway Medical Balance Assessment Scores átlagos különbsége a normál zoknik és a VTT-vel továbbfejlesztett zoknik között 31% volt, a VTT-vel továbbfejlesztett zoknikra adott növekedés és pozitív alanyi válasz szignifikánsan magasabb volt, mint a normál zoknik esetében.

**Következtetések:** A vizsgálat eredményei azt mutatják, hogy a haptikus vibrációs-taktilis kiváltó technológiával (VTT) ellátott zoknit viselő alanyok javulást

mutattak az általános egyensúlyi és stabilitási pontszámokban. Úgy tűnt, hogy a VTT-vel továbbfejlesztett zoknik befolyásolják a neuromuszkuláris egyensúly- és stabilitásszabályozó központokat, valamint az agy szenzoros, kognitív és mozgásszervi területeit. Lehetőség van arra, hogy játékos kezelési lehetőséggé és megoldássá váljon a klinikusok, betegek és a különböző betegségekben szenvedők számára, miközben korlátozza a hagyományos kezelésekkal járó kockázatokat. Az eredmények támogatják a haptikus vibrációs-taktilis kiváltó technológia (VTT) használatának további kutatását az egyensúlyra és stabilitásra, a mindennapi életvitelhez szükséges tevékenységekre (ADL) és az életminőség (QoL) összetevőire gyakorolt hatás megerősítése érdekében.

---

## Kulcsszavak

Haptikus vibrotapintásos kiváltó technológia, Egyensúly és stabilitás, Neuromatrix, Superneuro, VTT továbbfejlesztett zokni.

## Bevezetés

A bőrrel való érzékelés és tapintás az emberi túlélés veleszületett mechanizmusa, amely a kifejlődött és adaptív szomatoszenzoros képességünket képviseli, hogy haptikusan - a tárgyak felismerését és érzékelését szolgáló aktív érintéssel - az agy magasabb központjai által felfogjuk az információt [1,2]. A szomatoszenzáció, amelyet a különböző ingerekre (termikus, taktilis és mechanikus) érzékeny molekuláris receptorok halmaza határoz meg, kritikus fontosságú a túléléshez, az egyensúlyszabályozáshoz és a fájdalom modulációjához.

A perifériás és központi idegrendszeri (PNS/CNS) kommunikáció döntő fontosságú a különböző külső és belső ingerekre adott szenzoros bemenet és motoros kimenet meghatározásában [3]. Az agykéreg, valamint különösen az agytörzs és a kisagy kritikus szerepet játszik az érzékszervi, motoros és asszociációs mechanizmusokban, beleértve az emberi egyensúlyszabályozást is.

Az idősebb felnőtteknél megnövekedett az elesés kockázata, elsősorban a testtartás és az egyensúly fenntartásának nehézségei miatt, a mindennapi életvitellel kapcsolatos tevékenységek végzése közben [4,5]. A poszturális kontroll és az egyensúly több rendszer folyamatos szinkronizációs ciklusán alapul: az érzékszervi (azaz a vestibuláris, vizuális, szomatoszenzoros), a kognitív (központi idegrendszer) és a mozgásszervi rendszer. Az életkor előrehaladtával fiziológiai változások következnek be az egyes érzékszervi rendszerekben [4,6,7].

Számos terápiás megközelítést azonosítottak és bizonyítottan hatásosnak bizonyultak az idősebb felnőttek eséseinek megelőzésére. A bizonyítékok között szerepelnek az aerob és rezisztencia gyakorlatokat is tartalmazó fizikai edzésprogramok, amelyek segítik a funkciók helyreállítását, fenntartását, valamint a törekenység esetleges megelőzését, késleltetését és visszafordítását [8,9]. Mivel e megközelítések némelyike megköveteli a résztvevők nagyfokú mobilitását, az alacsony mozgásképességűek csak korlátozottan részesülhetnek e kezelések előnyeiből. Így a mozgás alternatívái az alacsony mobilitásúak számára, beleértve az egyensúly- vagy koordinációs gyakorlatokat, vagy az újonnan azonosított technológiák beépítését, hasonló előnyökkel járhatnak [10,11].

A kutatások megerősítették, hogy a mozgási problémákkal küszködőknél a mozgással kapcsolatos életvitel javítása közvetlen kapcsolatban áll a magas életminőséggel (QoL) [12]. A különböző rendszerek (szenzoros, kognitív és mozgásszervi) megértése, valamint az, hogy ezek hogyan befolyásolhatják az ADL és a QoL komponenseket, segíteni fogja a kutatókat az alternatív stratégiák és megközelítések meghatározásában az egyensúly és stabilitás, valamint más mobilitási kihívásokkal küzdők javítására.

Ahogy az emberek a szokásos napi tevékenységeiket végzik, mind a dinamikus, mind a statikus egyensúlyban bekövetkező változásokra érzékenyek. A testtartás stabilitását fenntartó automatikus testtartási válaszok és az egyensúlyszabályozás, akár statikus, akár dinamikus, mint alapvető fiziológiai motoros tevékenységek, amelyek vagy a poliszinaptikus gerincvelői, vagy a transzkortikális gerincvelőből erednek.

---

hurkokat neurobiológiailag mechanizmusok bonyolult hálózata szabályozza [13]. Ezeknek a változásoknak a szabályozása kihívást jelent a neuromuszkuláris rendszer számára, mivel a testnek folyamatosan alkalmazkodnia kell a folyamatos környezeti ingerekhez a sikeres mozgás és az esések megelőzése érdekében. A vizuális, vestibuláris és taktilis érzékszervek szinkronizálásának együtt kell működnie a neuromuszkuláris rendszerrel a test beállításának szabályozása és a megfelelő motoros teljesítmény elősegítése érdekében [6,14,15]. Ahogy az emberek öregednek, egyensúlyuk és stabilitásuk a fent említett fiziológiai és kognitív változások miatt romlik. A kutatók továbbra is dolgoznak az egyensúly és stabilitás szabályozására irányuló megközelítések azonosításán az ilyen kihívásokkal küzdők számára [16].

A testtartást és az egyensúlyt alapvetően a gerincvelőben, az agytörzsben és a kisagyban található szenzoros és motoros modulok között ingadozó bonyolult mechanizmusok szabályozzák [7]. (A közelmúltban bizonyítékok mutattak rá, hogy az agykéreg döntő szerepet játszik az egyensúly és a testtartás szempontjából fontos idegpályák szabályozásában, például a fronto-centrális és centro-parietális agykérgi régiókban. Ez a későbbiekben hozzájárul az egyensúlyt szabályozó mechanizmusok optimalizálásához az időben változó, irányított funkcionális konnektivitáson keresztül [7].

Az egyensúlyszabályozásban részt vevő neuronális pályák és hálózatok feltárása kulcsfontosságú a neuropathológiában [2]. Ezenkívül a külső ingerek vagy kísérleti beavatkozások hatása valószínűleg módosítja ezeket a pályahálózatokat [11].

A neuroimaging és a fejlett jelfeldolgozási technológiák segítségével az egyensúlyszabályozás optimalizálásához topográfiailag elhelyezkedő, időben változó, hullámforma-frekvencia szelektív és irányított funkcionális kapcsolati modulokra van szükség, amelyek az elektroencefalogram (EEG) segítségével mérhetők [17]. A statikus vagy dinamikus egyensúlyszabályozással kapcsolatos mechanikai, kognitív és szenzoros mechanizmusok miatt az EEG-vel történő agyi aktivitás rögzítése bonyolult pályákat és agykérgi hálózatokat bontott ki, amelyek időbeli és térbeli paradigmákkal korrelálnak [13,18].

Lehetséges összefüggés áll fenn az EEG-modulációk és a neuronális tevékenységek későbbi zavarása között, amelyek valószínűleg részt vesznek az emberi egyensúlyszabályozásban, mivel ennek neuropathológiai dimenziói lehetnek a neurodegeneratív betegségek és legyengítő állapotok kezelésében [7].

A kutatók kimutatták, hogy a külső ingerek és az EEG-ingadozások közötti interferencia valószínűleg részt vesz az emberi egyensúlyszabályozással kapcsolatos neuronális tevékenységekben, és azon a tényen alapul, hogy az exogén neuronális ingerek befolyásolhatják és megváltoztathatják az EEG hullámformák mintáit, amelyek ingadozásokat és

válaszokat hoznak létre, amelyek valószínűleg mechanikusan, szenzorikusan és kognitívan koordináltak a statikus és dinamikus egyensúlyszabályozás fenntartásában [7,11].

A haptikus vibrációs-taktilis kiváltó technológia (VTT) az idegpályákat célozza meg, és az elmélet szerint megzavarja a neuromatrixot. A technológiát beépítették a ruházatba és más nem

---

invazív beviteli módok, például nem farmakológiai tapaszok, merevítők, csuklópántok és kompressziós ujjak [19].

Dhaliwal és munkatársai (2022) kifejezetten a lábstimuláció EEG-mintákra gyakorolt hatásával kapcsolatos neurális mechanizmusokat vizsgálták a VTT értékelésével, valamint azt, hogy az hogyan hathat és befolyásolhatja a neuromátrixot. Mivel ezek a minták szorosan kapcsolódnak az emberi egyensúlyszabályozáshoz, meggyőző bizonyítékok utalnak arra, hogy a neurális áramkörök manipulálása befolyásolhatja az EEG hullámformák oszcillációit, és ezt követően a motorfüggő egyensúlyszabályozást [11]. Továbbá, elméletileg, ha a lábfej lábközépcsont régiójában szomatoszenzoros ingerlési mintázatot alkalmaznak a haptikus vibrációs-taktilis trigger technológia beépítésével, akkor javulhat az egyensúly és a mozgáskoordináció azáltal, hogy ez az ingerlés hatással van az érzékszervi, kognitív és mozgásszervi rendszerekre [11]. Ennek következtében a szomatoszenzoros ingerlési mintát (haptikus vibrotaktilis triggertechnológia) szőtték és építették be a zoknikba, és viselték a lábon, hogy megkönnyítsék a talp talpának metatarsalis régiójának szomatoszenzoros ingerlésének a perifériás és központi idegrendszerre gyakorolt hatását. Ennek a minimális kockázatú vizsgálatnak a célja az volt, hogy feltárja a haptikus vibrotaktilis triggertechnológiával kiegészített zoknik hatását és annak az egyensúlyra és a stabilitásra gyakorolt hatását azokkal a betegekkel összehasonlítva, akik a technológiával be nem ágyazott, hagyományos szövetzoknit viseltek.

## Módszerek

### Tanulmánytervezés

Ez a vizsgálat egy intézményi felülvizsgálati bizottság által jóváhagyott vizsgálat volt, amelynek célja a haptikus vibrációs érintés kiváltó technológia (Superneuro VTT Enhanced Socks (Srysty Holding Co., Toronto, Kanada) hatékonyságának, valamint az egyensúlyra és stabilitásra gyakorolt hatásának összehasonlítása azokkal a betegekkel, akik a technológiával nem ellátott, hagyományos szövetzoknit viseltek. (Lásd az 1. és 2. képet) Az előzetes mintanagyság-becslés szerint a 0,25-ös hatásmérethez 36 fős populációra volt szükség. Hatvankilenc (69) alany (n=44 férfi, 25 nő) vett részt a vizsgálatban, miután beleegyezésüket adták. A felvételi kritériumok a következők voltak:

(a) nincs jelenlegi mozgáskorlátozó fájdalom, és (b) nincs olyan láb- vagy térdprobléma, amely korlátozná a zokni viselésének képességét, a Sway Medical Balance Assessment elvégzése normál zoknival, majd a vizsgálati személy a normál zoknit a VTT továbbfejlesztett zoknival cseréli le, és újra elvégzi a Sway Medical Balance Assessmentet.

A beiratkozott alanyok 2 pár zoknit kaptak (VTT-javított zokni és normál zokni), és arra utasították őket, hogy először válasszanak egy párat valamelyik zoknitípusból. Nem kaptak utasítást arra, hogy az első értékelésnél az egyiket válasszák a másik közül. Miután az egyik párat a lábukra húzták, az alanyok elvégezték a Sway Medical Balance értékelést. Ez a felmérés körülbelül 15 percet vesz igénybe. Az első értékelés elvégzése után az alanyok

5-10 perces szünetet tartottak, amikor pihentek, levették az első pár zoknit, majd a második pár zoknit a lábukra húzták. Ezután ismét elvégezték a Sway Medical Balance Assessment felmérést. Mindegyik értékelés során adatokat gyűjtöttek és rögzítettek.

A Sway Balance System egy FDA által jóváhagyott mobil egyensúlyi rendszer. tesztrendszer, amely méri és pontozza az egyén egyensúlyérzékét

és a stabilitást, és felhasználható az egyensúlyi zavarok jeleinek megfigyelésére [20].

A Sway Medical Balance System a stabilitást bármely iOS mobilkészíték beépített mozgásérzékelőinek segítségével méri a testtartás ingadozásának számszerűsítésére. Miközben a készüléket a mellkashoz nyomják, egy saját mozgáselemző algoritmus kiszámítja a stabilitást, és egy könnyen érthető értéket ad egy 100 pontos skálán, ahol a 100 a teljesen stabil és a 0 az instabil.

Az összpontszám az összes korábbi teszteredmény statisztikai átlagából áll, és alap- vagy kontrollértékként szolgál, amelyet a legutóbbi pontszámmal lehet összehasonlítani a változás kimutatására.

A 80 és 85 közötti Sway Medical Balance Overall Score az 50. percentilisen van. A <80 közötti összesített pontszám a 25. percentilis, a >85 és 95 közötti összesített pontszám pedig a 75. percentilis.

A VTT továbbfejlesztett zoknik és a normál zoknik átlagában bekövetkezett változások összehasonlítására és azonosítására egyirányú ANOVA F-tesztet végeztünk. Általános pontszámok: (ANOVAN, Matlab, MathWorks, Inc.), poszt-hoc Tukey HSD összehasonlításokkal a 2 zoknitípus (Superneuro VTT továbbfejlesztett zoknik és normál zoknik) és az oldalak közötti különbségek azonosítására (MULTCOMPARE, Matlab, MathWorks, Inc.). Minden vizsgálatnál a priori szignifikanciaszint =0,05 volt.

A normál/szabványos zoknik és a Superneuro VTT továbbfejlesztett zoknik közötti páros t-próbákat minden egyes alanyra vonatkozóan, valamint a csoportos páros t-próbákat is kiszámítottuk.

A vizsgálati protokollt egy intézményi felülvizsgálati bizottság hagyta jóvá, és azt az 1996. évi Egészségbiztosítási Hordozhatósági és Számonkérhetőségi Törvény (HIPAA) szabályainak, valamint a Helsinki Nyilatkozat és a Nemzetközi Harmonizációs Tanács/GCP elveinek megfelelően végezték. Minden beteg tájékozott és írásbeli beleegyezését adta.

### **Haptikus vibrációs-érintéses kiváltó technológia (VTT) beavatkozás**



1. kép: A Superneuro VTT továbbfejlesztett zokni.



2. kép: A Superneuro VTT továbbfejlesztett zokni.

## Tanulmányi eljárások és értékelések

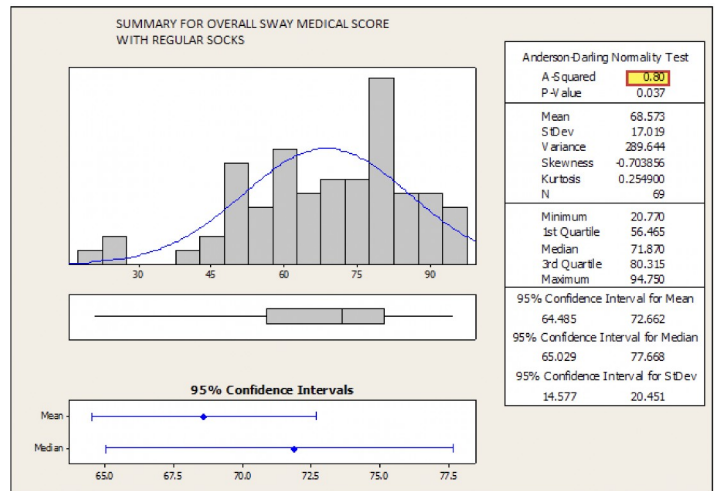
### Statisztikai elemzés

Minden változóra vonatkozóan leíró statisztikákat számoltunk, beleértve a kategorikus változók esetében a gyakoriságot és a százalékos arányokat, a folytonos változók esetében pedig az átlagokat a szórással (SD) együtt. Az egyes statisztikai elemzésekhez a rendelkezésre álló maximális mintanagyságot használták. A normál/standard zoknik és a Superneuro VTT továbbfejlesztett zoknik közötti páros t-teszteket minden egyes alanyra vonatkozóan, valamint a csoportos páros t-teszteket is kiszámították.

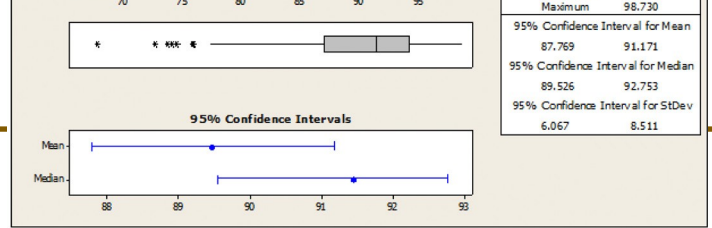
Minden statisztikai összehasonlításnál a kétpólusú alfa értékét 0,05-re állítottuk be. Minden elemzéshez az SPSS v. 27 programot használták.

### Eredmények

Az eredmények egyértelmű és statisztikailag szignifikáns különbséget mutattak a Sway Medical Balance Assessment Scores értékelésekben a normál zoknit és a VTT továbbfejlesztett zoknit viselő alanyok között. Az adatok elemzése azt mutatta, hogy a VTT továbbfejlesztett zokni esetében az általános Sway Medical Balance Assessment Score szignifikánsan magasabb volt (átlag = 89,470;  $p < 0,005$ ) 95%-os konfidenciaintervallummal (CI) [87,769,91,171], mint a hagyományos zokni esetében (átlag = 68,573) (1-3. ábra).



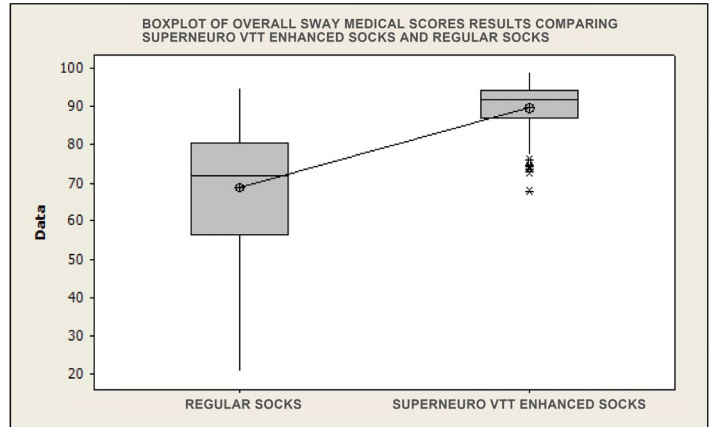
1. ábra



2.  
 ábra

3.  
 ábra

Úgy tűnt, hogy a VTT Enhanced Socks befolyásolja a neuromuskuláris egyensúlyt és a stabilitás ellenőrzését a Sway Medical Balance teszt során, növelve az összpontszámot a normál zoknikhoz (RS) képest. A Sway Medical Balance Assessment pontszámának átlagos különbsége a normál zoknik és a VTT továbbfejlesztett zoknik között 31% volt, a növekedés szignifikánsan nagyobb volt a továbbfejlesztett zoknitípus esetében, ami a VTT továbbfejlesztett zoknit viselők magasabb szintű egyensúlyi és stabilitási szintjét eredményezte.

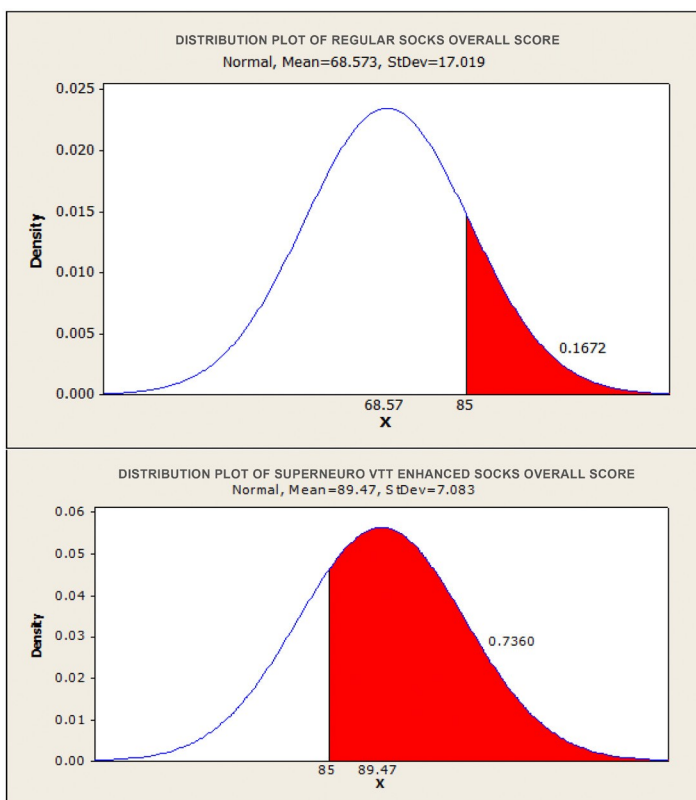


Azt is megállapították, hogy a zokni típusa jelentős különbséget mutatott az Általános ingadozás orvosi egyensúlyértékelési pontszám eloszlásában. Míg a normál zokni (RS) feltétel csak olyan alanyok adathalmazát eredményezte, amelyek 16,72%-ának 85%-nál magasabb volt a Sway orvosi egyensúlyértékelési pontszáma. A VTT-vel továbbfejlesztett zoknik ezzel szemben sokkal nagyobb Sway Medical Balance Assessment Score eloszlást mutattak, az alanyok 73,6%-a 85%-nál nagyobb pontszámot ért el (lásd a 4. és 5. ábrát).

**Biztonság**

A betegek nem számoltak be nemkívánatos bőrreakciókról, nemkívánatos vagy súlyos nemkívánatos eseményekről a haptikus vibrációs érintés kiváltó technológiával ellátott zoknik vagy a hagyományos zoknik viselése során.





4. és 5. ábra

## Megbeszélés

Egyre több bizonyíték van arra, hogy az innovatív technológia-alapú terápiák, mint például a haptikus vibrációs-taktilis kiváltó technológia (VTT) támogatja a fokozott agyi aktivációs mechanizmusokat az "egyensúly-szabályozási feladatokban", függetlenül az érzékszervi, kognitív vagy mechanikai eseményektől [21,22]. E vizsgálat eredményei azt mutatják, hogy a VTT technológia növeli az egyensúlyt és a stabilitást azoknál a vizsgálati személyeknél, akik VTT-vel megerősített zoknit viselnek, azokhoz képest, akik nem viselik a technológiával beágyazott zoknit. Ezek az "egyensúlyszabályozási feladatok" kettős jellegűek, tekintettel arra, hogy mind szenzoros (vizuális, szomatoszenzoros és vestibuláris), mind mechanikus (támaszfelület-áthelyezések) perturbációkat jelentenek, amelyek korrelatív módon megkerülik az egyensúlyhiányból eredő motoros válaszokat. Egy másik kulcsfontosságú felfedezés a hátsó szomatoszenzoros asszociációs kéreg (SAC) középvonalában lévő neurális hálózatokat azonosította, amely a parietális kéregben helyezkedik el, amely a pre-motoros kéreggel van kapcsolatban. A SAC a szomatoszenzoros integrációban vesz részt a theta hullámformákon keresztül. Különösen az EEG-térképezés mutatott ki elkötelezett theta-aktivitást a SAC-on belül, ami megerősíti azt a hipotézist, hogy a magasabb kognitív központok részt vesznek az egyensúlyszabályozásban [2,3,7,23]. A Stryt Holdings (Toronto, Kanada) által kifejlesztett és a VTT

a SAC-ból ered, és ezáltal a statikus és dinamikus egyensúlyi helyzetek szomatotopikus kontrollját képviseli. Ez a leképezés a mozgásindítás és -gátlás mellett a motoros szekvencia és tervezés dimenzióját is azonosította [18,24,25]. Érdekes módon mindkét mechanizmus alfa-hullámokat implikált a gátolt agykérgi területeken, ami arra utal, hogy ez a csökkenés a gátlás elvesztése, amely szükséges a kognitív döntések elősegítéséhez az egyensúlyi kontroll és stabilitás fenntartásában. A haptikus vibrotaktilis kiváltó ingerlés korrelál ezzel az érveléssel, tekintettel arra a megfigyelésre, hogy statisztikailag szignifikánsan gátolták az EEG-koherenciát, ami a résztvevők fokozott neuronális hálózati komplexitását és potenciális kognitív képességét jelzi [11]. Kimutatták, hogy ez a technológia különböző neurális útvonalak modulálásával befolyásolja az agy azon területeit, amelyek az egyensúlyhoz és a mobilitáshoz, az energiához és a fájdalomhoz kapcsolódnak.

A VTT technológia elméletileg megkönnyíti a szomatoszenzoros információfeldolgozást az egyensúlyszabályozás során, a motoros válaszok integrálása, tervezése és végrehajtása mellett [11,21,26,27]. Másrészt az alfa-hálózat, amely feltehetően ventrális és dorzális pályákat foglal magában, elősegíti az optimális stabilitás fenntartásához szükséges vizuális feldolgozást [21,28].

## Az EEG hullámformák anatómiája statikus és dinamikus egyensúlyszabályozási paradigmákban - A neuronális hálózatok EEG-rejtélyének megoldása

Az EEG-hálózati szekvencia olyan modulok halmazának tekinthető, amelyek időbeli és térbeli hálózatokból állnak, amelyek a frontális, központi és parietális agykérgi területeket fedik le. A statikus és továbbfejlesztett zoknikba beépített feltérképezési technológia feltárta a neuropathways mintázatainak befolyásolását, amelyek kritikusak a jelenlegi megközelítések kihívásainak és korlátainak azonosításában a testtartással, egyensúlyozással és mobilitással kapcsolatos állapotok kezelésében.

Az agykérgi hálózatok további kutatása kimutatta, hogy a az elsődleges motoros kéreg régiójának egy olyan hálózatából álló hálózat, amely

---

a mechanikus, kognitív és szenzoros modulok dinamikus kontrollparadigmáinak vizsgálata döntő fontosságú az EEG dinamizmusának meghatározásában az egyensúlyi kontrollhálózatok értékelésében [7,26].

A vizsgálat eredményei alátámasztják a szomatoszenzoros ingerlési minták szerepét az emberi egyensúlyszabályozásban. A szomatoszenzoros aktiváció emberi egyensúlyszabályozásra gyakorolt következményeinek ellenőrzésére a szomatoszenzoros aktivációra hasonlító mintát szőttek és építettek be zoknikba (VTT-erősített zoknik), és viselték a lábon, hogy jobban elősegítsék a lábfej metatarsalis régiójának szomatoszenzoros ingerlésének a PNS és CNS rendszerekre gyakorolt hatását, megerősítve a korábbi megfigyeléseket [7,23,29].

A VTT-vel megerősített zoknik által aktivált idegpályák azonosítása kritikus fontosságú az egyensúly és a testtartás szabályozásának megértéséhez. Itt ennek a dimenzióknak az anatómiáját mutatjuk be a testtartással és egyensúlyozással kapcsolatos neurális áramkörök fokozásának potenciálisan ígéretes vetületeinek alátámasztására, amelyet a tudományosan releváns területeken közzétett tanulmányok által szolgáltatott bizonyítékok támasztanak alá [7].

A VTT-vel felerősített zoknik szomatoszenzoros komponense olyan mintázatokat mutatott, amelyek összhangban vannak a haptikus érzékelés és a taktilis észlelés elméletével [1,2]. Röviden Reed és Ziat (2018) a következőket állapítja meg: "A haptikus rendszer a tárgyak és felületek anyagi tulajdonságainak feldolgozására szolgál a kútan és kinezetikus afferens alrendszerek közvetítésével. A passzív aspektus

---

A haptikus érzékelést gyakran nevezik tapintásos érzékelésnek, és a külvilágban lévő tárgyak érintéséből származó érzésekre utal. A bőrben található mechanoreceptorok és termoreceptorok (pl. a kután bemenetek) nagymértékben hozzájárulnak a haptikus érzékelés e taktilis aspektusához. A haptikus érzékelés azonban magában foglalja az aktív érintést és az izmokban, inakban és ízületekben lévő receptorok ingerléséből származó érzéseket is (pl. propioceptív és kinezetikus bemenetek). A haptikus érzékelés neurális alapjainak megértése a bőrtől az agyig a perceptuális és neurofiziológiai válaszok tanulmányozásán alapul állapotokban és embereknél. Nyilvánvaló, hogy a haptikus érzékelésnek vannak olyan összetevői, amelyek erősen kapcsolódnak az érzékszervi, térbeli, propioceptív és motoros elemekhez [2], amelyek mindegyike a haptikus vibrotaktilis kiváltó technológia (VTT) szerves összetevője, ezáltal potenciális előnye van a haptikus/taktikus érzékelés fogalmának alkalmazásához az emberi egyensúlyszabályozásban részt vevő neuronális fejlődésre, plaszticitásra és áramkörökre, és talán más mechanizmusokra is [30,31].

Korábbi kutatások alátámasztották, hogy az EEG alfa-sávjának frekvenciája az egyensúlyozási nehézség növekedésével csökken a központi és a parietális területeken [28,32]. A közelmúltban lektorált szakirodalom [11] kimutatta, hogy a VTT-erősített zoknik analóg módon okoztak oszcillációkat az alfa frekvenciában.

A közzétett kutatások egyértelműen kimutatták, hogy a szomatoszenzoros rendszer, mint a külső vagy belső változásokra reagáló érzékelő neuronok és bonyolult idegpályák összetett rendszere, a testhelyzetről szóló információk agyba történő továbbításával részt vesz a testtartás egyensúlyának fenntartásában is, lehetővé téve a megfelelő, mozgást irányító motoros válaszok aktiválását [2,13].

A nem VTT-vel továbbfejlesztett zoknikhoz képest ez a tanulmány azt mutatja, hogy a VTT-vel továbbfejlesztett zoknik olyan választ adnak, amely a vizsgálatban részt vevő alanyoknál az egyensúly és a stabilitás javulását jelzi. Ennek a válasznak a lehetséges oka többek között az, hogy a haptikus vibrotaktilis kiváltó technológia egyfajta vagy kaszkád neuronális hálózatot indít el, amely feltételezhetően az agy szomatoszenzoros moduljához kapcsolódik, és ezért valószínűleg részt vesz a testtartás és az egyensúlyszabályozási mechanizmusok közvetítésében gondosan ellenőrzött körülmények között, összhangban a korábbi, tudományosan alátámasztott megfigyelésekkel [7,13].

Az eredmények megerősítése érdekében további kutatásokat kell végezni a haptikus vibrációs-érintéses kiváltó technológiával (VTT) kapcsolatban. Ha az e technológiára vonatkozó adatok továbbra is pozitív eredményeket mutatnak az egyensúly és a stabilitás, a fájdalomcsillapítás, az energia vagy más vizsgálati területeken, akkor ez a VTT-vel továbbfejlesztett technológia nagy hatással lehet a mindennapi életvitelre (ADL), az életminőségre (QoL) összetevőire, valamint a lakosság általános

funkcionalitására és jóllétére.

A vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a Superneuro VTT továbbfejlesztett zoknit viselő személyek Sway Medical Balance Assessment Scores értékei között jelentős különbség mutatkozott ahhoz képest, hogy ugyanezek az alanyok normál/szabványos zoknit viseltek a beágyazott technológia nélkül. Más közzétett kutatásokhoz hasonlóan a

---

a haptikus vibrációs-taktilis triggertechnológia által a szomatoszenzoros rendszerre gyakorolt pontos hatásmechanizmusok jelenleg nem ismertek. Olyan alternatív kezelési lehetőségek és megközelítések azonosítására van szükség, mint például a VTT, amelyek minimális mellékhatásokkal, csökkentett kockázatokkal, a technológiát hasznosítani képes személyek számára a hagyományos kezelési megközelítésekkel (pl. aerob/anerob testmozgást tartalmazó fizikai edzésprogramokkal) összehasonlítva korlátozások hiányával rendelkeznek, hogy jobb lehetőségeket nyújtsanak a klinikusok és a csökkent funkcionalitású, egyensúlyi és stabilitási kihívásokkal küzdő személyek számára. A neuromátrix jobb megértése, valamint az új, nem farmakológiai kezelések azonosítása és beépítése fontos, biztonságos és hatékony lehetőségekkel bővíti a klinikusok eszköztárát a betegek jobb ellátása érdekében.

4. Rubenstein LZ. Az időskori esések: epidemiológia, kockázati tényezők és megelőzési stratégiák. *Age Ageing*. 2006; 35, 37-41.
5. Kojima G. A gyengeség mint a jövőbeli esések előrejelzője a közösségben élő idősök körében: szisztematikus áttekintés és metaanalízis. *J Am Med Dir Assoc*. 2015; 16: 1027-1033.

### **Következtetés**

Ez a vizsgálat kimutatta, hogy a Superneuro VTT Enhanced zoknit viselő alanyoknál javult az általános egyensúlyi és stabilitási pontszám a normál zoknikhoz (RS) képest. Úgy tűnt, hogy a VTT Enhanced Socks befolyásolja a neuromuszkuláris egyensúly és stabilitás szabályozását. A haptikus vibrációs-taktilis kiváltó technológia beépítése a ruházatba és más nem invazív szállítási módokba potenciálisan előnyös kezelési lehetőséggé és megoldássá válhat a klinikusok, betegek és a különböző betegségekben szenvedők számára, miközben korlátozza a hagyományos kezelésekkal járó kockázatokat. Az eredmények támogatják e haptikus vibrációs-taktilis triggertechnológia (VTT) használatának további kutatását, hogy megerősítsék az egyensúlyra és stabilitásra, a mindennapi életvitelhez szükséges tevékenységekre (ADL) és az életminőség (QoL) összetevőire gyakorolt hatást.

### **Köszönetnyilvánítás**

Ezt az IRB által jóváhagyott vizsgálatot a SRYSTY Holding CO., a Superneuro VTT Enhanced Socks forgalmazója finanszírozta.

### **Közzététel**

John Haddad, PhD kompenzációt kapott a tanulmány értelmezéséért. Dr. Baldeep Dhaliwal nem kapott kompenzációt. Manny S Dhaliwal nem kapott kompenzációt. Peter L Hurwitz az adatok felülvizsgálatáért és a tanulmány értelmezéséért kapott kompenzációt.

### **Hivatkozások**

1. Fernandes AM, Albuquerque PB. Taktuális érzékelés: A kísérleti változók és eljárások áttekintése. *Cogn Process*. 2012; 13: 285-301.
2. Reed CL, Ziat M. Haptikus érzékelés: A bőrtől az agyig. In Referenciamodul az idegtudományok és a biológiai viselkedépszichológia területén. 2018.
3. Büchel D, Lehmann T, Ullrich S, et al. Stance leg and surface stability modulate cortical activity during human single leg stance. *Exp Brain Res*. 2021; 239: 1193-1202.

6. Horak FB. Poszturális orientáció és egyensúly: mit kell tudnunk az egyensúly idegi szabályozásáról az esések megelőzése érdekében? *Age Ageing*. 2006; 35: 7-11.
7. Mierau A, Pester B, Hülsdünker T, et al. Cortical correlates of human balance control. *Brain Topogr*. 2017; 30: 434-446.
8. de Vries NM, van Ravensberg CD, Hobbelen JS, et al. A mozgásterápia hatása a mobilitásra, a fizikai működésre, a fizikai aktivitásra és az életminőségre a közösségben élő, mozgáskorlátozott, fizikai fogyatékossgal és/vagy többféle betegséggel élő idősök körében: metaanalízis. *Ageing Res Rev*. 2012; 11: 136-149.
9. de Labra C, Guimaraes-Pinheiro C, Maseda A, et al. Effects of physical exercise interventions in frail older adults: a systematic review of randomized controlled trials. *BMC Geriatr*. 2015; 15: 154.
10. Kwok TC, Lam KC, Wong PS, et al. A koordinációs gyakorlatok hatékonysága az idősebb felnőttek kognitív funkcióinak javításában: prospektív vizsgálat. *Clin Interv Aging*. 2011; 6: 261-267.
11. Dhaliwal BS, Haddad J, Debrincat M, et al. Az elektroencefalogram (EEG) változásai a beágyazott haptikus vibrotactilis trigger technológiával történő lábstimuláció után: Neuromatrix és fájdalommodulációs megfontolások. *Anesth Pain Res*. 2022; 6(2): 1-11.
12. Dunsky A. Az egyensúly- és koordinációs gyakorlatok hatása az idősök életminőségére: A Mini-Review. *Front Aging Neurosci*. 2019; 11: 318.
13. Rubega M, Formaggio E, Di Marco R, et al. Az időskorúak függőleges dinamikus és statikus egyensúlyának agykérgi korrelátumai. *Sci Rep*. 2021; 11: 14132.
14. Hayes KC. A testtartás szabályozásának biomechanikája. *Exerc Sport Sci Rev*. 1982; 10: 363-391.
15. Dunsky A, Zeev A, Netz Y. Az egyensúlyi teljesítmény feladatspecifikus idősebb felnőtteknél. *Biomed Res Int*. 2017; 2017: 6987017.
16. Arampatzis A, Peper A, Bierbaum S. A dinamikus stabilitásszabályozás mechanizmusainak gyakorlása növeli a stabilitási teljesítményt időseknél. *J Biomech*. 2011; 44: 52-58.
17. Thatcher RW. Tomográfias elektroencefalográfia, magnetoencefalográfia. Az emberi ideghálózati kapcsolás dinamikája. *J Neuroimaging*. 1995; 5: 35-45.
18. Slobounov S, Hallett M, Stanhope S, et al. Az agykéreg szerepe az emberi testtartás szabályozásában: EEG-vizsgálat. *Clin Neurophysiol*. 2005; 116: 315-323.
19. Srysty Holding Co. Voxx Life Inc. Toronto, Kanada.
20. Mummareddy N, Brett BL, Yengo-Kahn AM, et al. Sway Balance Mobile Application: Megbízhatóság, akklimatizáció és alapszintű adminisztráció. *Clin J Sport Med*. 2020; 30: 451-457.
21. Slobounov S, Cao C, Jaiswal N, et al. A VTC és az EEG által azonosított testtartási instabilitás idegi alapja. *Exp Brain Res*. 2009; 199: 1-16.
22. Solis Escalante T, van der Crujjsen J, de Kam D, et al. Cortical dynamics during preparation and execution of reactive balance responses with distinct postural demands. *Neuroimage*. 2019; 188: 557-571.
23. Gebel A, Lehmann T, Granacher U. Az egyensúlyi feladat nehézsége befolyásolja a testtartás ingadozását és az agykérgi aktivitást egészséges serdülőknél. *Exp Brain Res*. 2020; 238: 1323-1333.
24. Thatcher RW, Biver CJ, North D. Tér-időbeli áramforrás-korrelációk és az agykérgi konnektivitás. *Clin EEG Neurosci*. 2007; 38: 35-48.
25. Varghese JP, Beyer KB, Williams L, et al. Standing still: Is there a role for the cortex? *Neurosci Lett*. 2015; 590: 18-23.
26. Thatcher RW, Krause PJ, Hrybyk M. Cortico-cortical associations and EEG coherence: a two-compartmental model. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1986; 64: 123-143.
27. Varghese JP, Staines WR, McIlroy WE. A funkcionális agykérgi hálózatok aktivitása a testtartás instabilitásával időbeli összefüggésben. *Neuroscience*. 2019; 401: 43-58.
28. Hülsdünker T, Mierau A, Strüder HK. A magasabb egyensúlyi feladatigény az egyéni alfa csúcsfrekvencia növekedésével jár. *Front Hum Neurosci*. 2016; 9: 695.
29. Ouchi Y, Okada H, Yoshikawa E, et al. Agyi aktiváció az álló testtartás fenntartása során embereknél. *Brain*. 1999; 122: 329-338.
30. Tien NW, Kerschensteiner D. Homeosztatisz plaszticitás az idegi fejlődésben. *Neural Dev*. 2018; 13: 9.
31. Yin J, Yuan Q. Strukturális homeosztázis az idegrendszerben: A plaszticitás és a stabilitás egyensúlyozása. *Front Cell Neurosci*. 2015; 8: 439.
32. Edwards AE, Guven O, Furman MD, et al. A növekvő nehézségű folyamatos testtartási feladatok elektroencefalográfiai korrelátumai. *Neuroscience*. 2018; 395: 35-48.

---

© 2022 Haddad J, et al. Ezt a cikket a Creative Commons Attribution 4.0 International License feltételei szerint terjesztik.