

AZ EGÉSZTEST VIBRÁCIÓ, MINT REHABILITÁCIÓS MÓDSZER AZ ELÜLSŐ KERESZTSZALAG REKONSTRUKCIÓ UTÁN. SZISZTEMATIKUS IRODALOM ÁTTEKINTÉS

Nagy Helga^{1*}, Jánkné Bacskai Katalin¹, Tihanyi József^{1,2}

¹ Országos Sportegészségügyi Intézet

² Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem



DOI: 10.17489/biohun/2024/1/602

Absztrakt

Az egésztest vibráció az elülső keresztszalag (ACL) rekonstrukciós műtétek után, mint rehabilitációs intervenció az utóbbi húsz évben terjedt el viszonylag korlátozott számban. Vizsgálatunk célja az volt, hogy megvizsgáljuk a különböző vibrációs intervenciók programok hogyan befolyásolják a műtött térd helyreállítódási folyamatát és emeli-e a hagyományos terápia (HTP) hatékonyságát. Az irodalomkutatást a PRISMA útmutatásának megfelelően végeztük 1966-2023 időszakban a következő adatbázisokban: PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, SportDiscuss, Science Direct. A beválasztási kritériumok a következők voltak: kutatáson alapuló teljes szövegű cikk, randomizált személy kiválasztás, akiket vizsgálati és kontroll csoportba osztottak, a kiválasztott személyek elülső keresztszalag műtéten estek át, a teljestest vibráció (WBV) krónikus hatását vizsgálták (a WBV alkalmazása több mint egy hétig tartott), a WBV hatását hagyományos rehabilitációs intervenció hatásával hasonlították össze, a cikk angol nyelven került publikálásra. Négy felelt meg a beválogatási kritériumoknak. Összehasonlításra kerültek a WBV intervenciók programok, továbbá hatásuk az állásstabilitásra, a térdfeszítő izmok izometriás erejére, a térdízület stabilitására.

Három vizsgálatban a WBV-t kombinálták a hagyományos fizioterápiával, egy esetben csak a WBV-t alkalmazták. A WBV protokoll és a vibrációs paraméterek nem voltak egységesek. A vibrációs frekvencia 05-50 Hz, a sorozatok időtartama 30-60 mp, az amplitúdó 2-9 mm között változott. Az intervenció ideje 1 és 3 hónap közötti volt. Mind a négy vizsgálatban meghatározták a testlengés mértékét stabilometriával, háromban a térdfeszítő és hajlító izom maximális izometriás vagy izokinetikus erejét, kettőben az térdízület stabilitását, mozgásterjedelmét, neuromuszkuláris kontrollját vizsgálták.

A vizsgálatunkba bevont kutatások összehasonlításakor a WBV-nek elsődlegesen az állásstabilitásra volt jelentős befolyása. A WBV alkalmazása együtt a hagyományos terápiával és külön is jelentősebben javította a testlengés különböző paramétereit, mint a hagyományos terápia, illetve a javulás

***Levelező szerző elérhetősége:** Országos Sportegészségügyi Intézet, H-1113 Budapest, Diószegi út 64. **E-mail:** helganagy74@gmail.com **Tel.:** +36 20 431-4689

Citáció: Nagy H, Jánkné Bacskai K, Tihanyi J. Az egésztest vibráció, mint rehabilitációs módszer az elülső keresztszalag rekonstrukció után. Szisztematikus irodalom áttekintés. *Biomech Hung.* 2024;17(1):34-49.

Beérkezés ideje: 2024.03.24. **Elfogadás ideje:** 2024.09.12.

ideje is rövidebb volt. A térdfeszítő és hajlító izmok ereje is jelentősebben növekedett a WBV csoportokban, mint a HTP csoportban, de az eredmények nem voltak egységesek.

Kulcsszavak: ACL rekonstrukciós műtét, rehabilitáció, WBV intervenció, állásstabilitás, izomerő

WHOLE BODY VIBRATION AS A REHABILITATION METHOD AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION. SYSTEMATIC REVIEW

Abstract

The whole body vibration (WBV) after ACL reconstruction surgery as a rehabilitation intervention has spread in a relatively limited number, during the last twenty years. The purpose of our study was to examine the effect the various vibration intervention programs on the process of recovery of the knee following ACL reconstruction and does it increase the effectiveness of traditional therapy (HTP). Literature research was carried out according to the guidance of PRISMA in the following databases: PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, SportDiscuss, Science Direct. The inclusion criteria were the followings, research -based full text paper, randomized patients selection that were divided into an examination and control group, Selected persons have undergone ACL reconstruction, tested the chronic effect of WBV, the WBV intervention took more than a week, The effect of WBV has been compared with conventional rehabilitation intervention effect, the paper was published in English. Four met the inclusion criteria and were reviewed. WBV intervention programs have been compared, and their effect on standing stability, strength of knee extensors and flexors, on the stability of the knee joint

In three studies, WBV was combined with conventional physiotherapy, in one case only WBV was used. The WBV protocol and vibration parameters were not uniform. The vibration frequency is 5-50 Hz, the series duration is 30-60 seconds, the amplitude varied between 2-9 mm. The intervention time was between 1 and 3 months. In all four studies, to measure body sway variables similar stableometers were applied, in three, the maximum isometric or isokinetic strength of the knee extensor and flexor muscles and in two studies knee joint stability was tested.

When comparing the researches involved in our study, the WBV affected the the standing stability predominantly. WBV intervention in combination with conventional therapy and separately, significantly reduced the body sway values, better than conventional therapy and the recovery time was shorter. The strength of knee extensors and flexors also increased more significantly in the WBV groups than in the HTP group but the results were not uniform.

Keywords: ACL reconstruction, rehabilitation, WBV intervention, standing stability, muscle strength

BEVEZETÉS

Az egésztest vibráció (whole-body vibration, WBV) a tónusos vibrációs reflex^{1,2} előidézése révén közvetve és közvetlenül hat a mozgatórendszer egészére és egyes elemeire, úgymint a vázizmokra, a csontozatra, az ízületekre, a

neuromuszkuláris kontrollra. Annak ellenére, hogy a vibrációt, mint terápiás eszközt, módszert már a 19. század végén néhány esetben alkalmazták a gyógyításban, a vibráció hatásának tudományos vizsgálata az 1990-es évek derekán került a kutatók, a sportszakemberek érdeklődésének előterébe. Azóta több ezer

cikket közöltek a nemzetközi irodalomban a WBV hatásmechanizmusáról gyakorlati hasznosításáról.

Kezdetben a WVB-t elsősorban a sportolók edzésmódszereinek, kiemelten az erőedzés kiegészítésére használták. A kutatási eredmények ellentmondásosak voltak, amiből a kutatók azt a következtetést vonták le, hogy a rendszeres, nagy intenzitású és terhelésű edzéseket folytató sportolók izomerejének fejlesztésére csak kismértékben vagy egyáltalán nincs hatása az egész test vibrációnak. Ugyanakkor kimutatták, hogy azok a vizsgálati személyek, akik nem vettek részt rendszeres fizikailag terhelésben, vagy a tartósan immobilizált alsóvégtagok esetében a WBV jelentős erőnövekedést és állásstabilitás javulást eredményezett. Ennek hatására egyre több kutatás kezdte vizsgálni a WBV hatását idős embereken feltételezve^{3,4}, hogy a WBV jelentős javulást eredményezhet a romló mozgatórendszeri mutatók javításában⁵, az elesési előfordulások számának csökkentésében^{6,7}, a neuromuszkuláris koordináció, az állásstabilizáció javulása által, továbbá a csontsűrűség csökkenési ütemének lassításával. Meg kell azonban jegyezni, hogy nem minden esetben eredményezett javulást a WBV alkalmazása.

A sportolókon, egészséges felnőtt embereken, valamint az időseken végzett vizsgálatok pozitív eredményei látván és az egésztest vibráció hatásmechanizmusát megismerve, a 2000-es évek elejétől kezdve egyre gyakrabban kezdték alkalmazni a WBV-t a gyógyászatban, a rehabilitációban és jelentős számú vizsgálatról számoltak be tanulmányokban a kutatók. A WBV hatását vizsgálták Parkinson⁸ és multiplex sclerosis⁹ betegségben szenvedőkön, stroke-on átesett embereken^{10,11}, továbbá gerincvelő sérültek esetében.¹² Az utóbbi években több cikk is megjelent a WBV használatáról az ízületi, zömében térdízületi gyulladással szenvedő emberek kezelésében.¹³ Az irodalomban vi-

szonylag kevés olyan cikk található, amely a mozgatórendszer posztoperatív kezelésében használt WBV terápiáról tudósít. Leggyakrabban a térdízületet éri sérülés, amelyek közül a meniscus és az elülső keresztszalag sérülése a leggyakoribb. Az elülső keresztszalag sérülését (szakadása) követő rekonstrukciós műtétek ma már rutin eljárásnak tekinthetők és megfelelő rehabilitációt alkalmazva a térd visszanyeri eredeti működési állapotát, azaz jól terhelhető lesz. A teljes térdízületi funkció visszanyerésének időtartama azonban széles határok között mozog.¹⁴

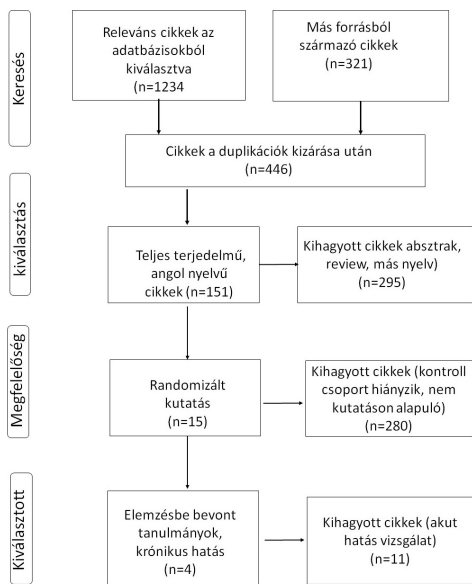
Vizsgálatunkban arra a kérdésre kerestünk választ, hogy az egésztest vibráció krónikus hatását milyen gyakorisággal használják terápiás célból és alkalmazása milyen mértékben járul hozzá a térdízület gyorsabb és hatékonyabb funkcionális helyreállításához, továbbá a WBV alkalmazása előnyökkel jár-e a hagyományos fizioterápiával szemben.

MÓDSZER

Irodalomkutatási stratégia

Elektronikus irodalomkutatást végeztünk hat adatbázisban (PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, SportDiscuss, Science Direct) az alábbi kulcsszavak alapján: whole body vibration, WBV, Whole body vibration therapy, anterior crutiate ligament reconstruction, ACL reconstruction és végül whole boby vibration and ACL reconstruction. Az adatbázisokból első kiválasztási körben 746 cikk felelt meg az általános a tág kritériumoknak (WBV rehabilitation és ACL reconstruction). A duplikációkat kiszűrve, majd a kiválasztott cikkek áttekintése után 15 cikk maradt, amely megfelelt a beválasztási kritériumoknak. A megmaradt cikkeket további elemzésnek vetettük alá és ennek eredményeképp négy felelt meg annak a kritériumnak, hogy a WBV krónikus hatását vizsgálták, valamint a WBV és a hagyomá-

nyos terápiás hatás került összehasonlításra (1. ábra).



1. ábra. Folyamatábra az irodalomkutatás lépéseinek bemutatására

Beválasztási kritériumok: kutatáson alapuló teljes szövegű cikk, randomizált személy kiválasztás, akiket vizsgálati és kontroll csoportba osztottak, a kiválasztott személyek első keresztszalag műtéten estek át, a WBV krónikus hatását vizsgálták (a WBV alkalmazása mini-

mum 1 hónapig tartott), a WBV hatását hagyományos rehabilitációs intervenció hatásával hasonlították össze, angol nyelvű cikk. Legalább két cikkben alkalmazzanak azonos tesztet.

Kizárási kritériumok: WBV akut hatásvizsgálata, helyi vibrációs kezelés, absztrakt, irodalmi összefoglalók, szerkesztői cikkek.

EREDMÉNYEK

A kiválasztási feltételeknek megfelelt négy cikk¹⁵⁻¹⁸ vizsgálataiban olyan személyeket választottak ki, akik különböző ACL rekonstrukciós műtéten estek át (1. táblázat). Két esetben a patella ín, két esetben hamstring graftot alkalmaztak. A legkevesebb személy 10 volt egy csoportban, a legtöbb 24 fő. Csak két esetben szolgáltatott adatokat a szerzők a nemre. Egy esetben vizsgáltak sportolókat. Az életkor 22,7 és 29 éves kor közötti volt. A vizsgálatba bevont személyeket randomizáltan vizsgálati és kontroll csoportba osztották.

A csoportbeosztást tekintve két vizsgálatban a vibrációt a hagyományos terápiás gyakorlatokkal kombináltan használták és hasonlították össze a csak hagyományos terápiát folytató csoporttal. Két esetben alkalmaztak csak WBV-t az egyik csoportban és hasonlították össze a hagyományos terápiával rehabilitált csoporttal.

1. táblázat. Műtéti eljárás, intervenció típus, vizsgált személyek

Szerzők	Műtéti eljárás	Csoport	n	Nem	Életkor (év)
Moezy et al, 2008. ¹⁵	Patella ín (artr)	WBV+HTP	10	10 ffi sportoló	24,5
			10		22,7
Fu et al. 2013. ¹⁶	Hamstring ACLR	WBV+HTP	24	18 ffi, 6 nő	25,2
		HTP	24	14 ffi, 10 nő	23,3
Berschlin et al. 2014. ¹⁷	Patella ín csont csont	WBV	20	14 ffi, 6 nő	na
		HTP	20	15 ffi, 5 nő	na
Pistone et al. 2016. ¹⁸	semt. graft	WBV+HTP	17	n/a	27-29
		HTP	17	n/a	27-29

Vizsgálati protokoll

Minden vizsgálatban minimálisan egy alap (a terápiás program megkezdése előtti) és egy intervenció utáni vizsgálatot végeztek (2. ábra). Az alap és utómérések során stabilometriai, térdfeszítő és hajlító izomerő, ízületi szögbeállítás pontosság, térdízületi laxity és ízületi mozgékonyosság teszteket alkalmaztak, de nem egységesen. A műtét utáni első képességszint mérés két esetben a műtétet követő negyedik hét után^{16,18}, egy esetben a műtétet követő második héten¹⁷ és egy esetben a műtét után három hónappal¹⁵ történt. Egy esetben műtét előtt két héttel is felvették a vizsgálandó képességek adatait.¹⁶ Két esetben a terápiás program befejezése után, nyomon követéses vizsgálatról is beszámoltak a kutatók. Fu et al.¹⁶ a programot követő harmadik hónap végén ismételte meg a méréseket, amely a műtét utáni hatodik hónap vége volt. Pistone et al.¹⁸ a program befejezés után egy hónappal végezte el újból a korábban végzett méréseket, amely a műtét utáni harmadik hónap végére esett. Minden esetben a műtétet posztoperatív terápia követte mielőtt a terápiás programok megkezdődtek volna. Moezyn et al.¹⁵ három hónapos hagyományos rehabilitációs program után vizsgálta

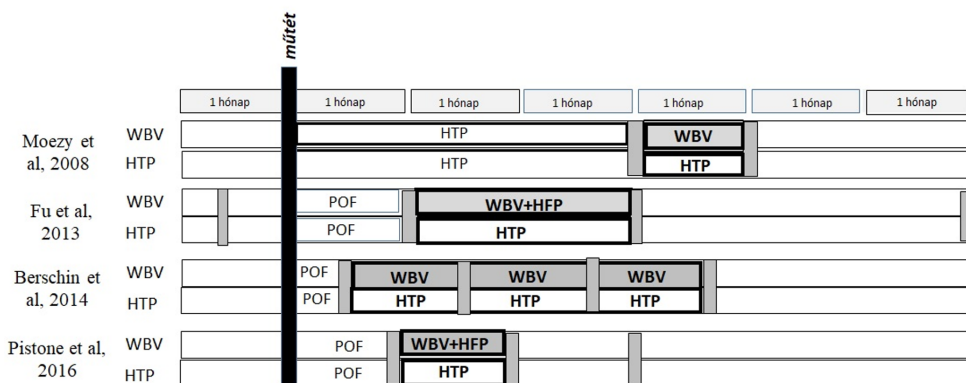
a WBV hatását, folytatva a korábbi hagyományos rehabilitációs programot.

A vizsgálatokban alkalmazott beavatkozások időtartama is különbözött egymástól. Két esetben egy hónapos intervenció programot alkalmaztak.^{15,18} Fu et al.¹⁶ kéthónapos, Berschin et al.¹⁷ háromhónapos rehabilitációs program hatását vizsgálta. Az utóbbi vizsgálatban minden hónapban, a négyhetes intervenció végén elvégezték a releváns méréseket (2. ábra).

Inertenciós protokollok Teljestest vibráció (WBV)

Három esetben olyan vibrációs eszközt használtak, amelyeknél a platform rezgése függőleges irányú volt és mindkét alsó végtagot azonos időben érte a vibrációs hatás.^{15,16,18} Egy esetben a vibráció úgynevezett alternáló rezgésű volt¹⁷, amely azt jelenti, hogy a platform a középvonaltól jobbra, balra billeg a kiválasztott frekvenciának megfelelően.

WBV paraméterek bemutatása (2. táblázat)
A vibráció két fontos jellemzőjében is jelentős különbségek voltak. Berchin et al.¹⁷ alacsony



2. ábra. A Vizsgálati protokollok időbeli lefolyása

POF – posztoperatív fizioterápia, HTP – hagyományos terápiás program, WBV – egésztest vibrációs program, WBV+HTP – egésztest vibráció és a HTP együttes alkalmazása. A függőleges szürke hasábok a teszt időpontokat jelzik. Az első szürke oszlop az első (alap) mérés időpontját jelzi.

frekvenciájú és relatíve nagy amplitúdójú, míg Moezy et al.¹⁵ nagy frekvenciájú és kis amplitúdójú vibrációt alkalmazott. Fu et al.¹⁶ alacsony és nagy frekvenciával, valamint kis amplitúdóval terhelte a vizsgálatban részt vett személyeket. Pistone et al.¹⁸ egyénre szabott frekvenciát és kis amplitúdót választottak a vizsgálatában, amelyet úgy állapítottak meg, hogy addig emelték a vibrációs frekvenciát, amíg a térdfeszítő izom elektromos aktivitása (EMG) el nem érte a maximumot.^{19,20}

Valamennyi esetben a vibráció alkalmazása állásban, guggoló helyzetben történt, ami a térdízület kis- vagy nagyobb mérvű (30-45°, illetve 90-120°) behajlítását jelentette. Két vizsgálatban csak páros lábon állásban^{17,18}, másik kettőben^{15,16} jobb és bal lábon, állásban külön-külön is alkalmazták a WBV-t. Moezy et al.¹⁵ és Pistone et al.¹⁸ csak statikus helyzetben, Berschin et al.¹⁷ és Fu et al.¹⁶ a személyek a WBV alatt ízületi hajlítást és nyújtást is végeztek. Egy esetben¹⁶ egy lábas állásban, továbbá alacsony guggoló helyzetben (a térdízület 90-120°-os behajlítása) is alkalmaztak WBV-t. Pistone et al.¹⁸ vizsgálatában a személyek sarka nem érintette a platformot, amely során elsősorban a plantár flexor izmokat éri a vibrációs hatás.²¹ A vibráció időtartama 30 és 120 mp között változott a négy vizsgálatban. Egy esetben a WBV frekvencia állandó, 60 mp volt¹⁸, ahol a vibrációs terhelést a sorozatok számával növelték. A másik három vizsgálatban egy sorozat időtartama 30 és 120 mp között változott és hetente növelték az időtarta-

mot. A pihenő idők hosszát a sorozatok között két cikkben közölték^{15,18}, ami 30 és 60 mp volt. A WBV alkalmazása heti rendszerességgel történt, amely kettő¹⁶, három^{15,18} és öt¹⁷ volt. Berschin et al.¹⁷ az utolsó héten úgy növelte a vibrációs terhelést, hogy az ízületi hajlítás és nyújtást vállra tett súlyzóval növelte a vibráció alatt. A legpontosabban Moezy et al.¹⁵ írta le a WBV protokollt, amely egyben a legösszetettebb volt. Négy hét alatt 12 WBV edzés tartottak. Az egy edzésen adagolt sorozatok száma fokozatosan növekedett a vibrációs frekvencia növekedésével és a pihenőidők csökkenésével. Az első edzésen a WBV időtartama 4 perc volt, ami a 12. hétre 16 percre növekedett. A másik három vizsgálatban fokozatosan növekedett a WBV terhelés, de nem közölték a szerzők az egy edzésen a WBV-re fordított idő nagyságát. A vibrációs edzések előtt 10-15 perc bemelegítést (kerékpározás vagy lassú futás, sztreccsing) tartottak mindegyik intervencióban (3. táblázat).

Vizsgált fizikai képességek és tesztek (4. táblázat)

Mind a négy esetben alkalmaztak stabilometriát, amely segítségével megállapították a vizsgált személyek állásbiztonságát (egyensúlyozási képességét). Három esetben végezték el a térdfeszítő és térdhajlító izmok erő kifejtő képességének vizsgálatát.¹⁶⁻¹⁸ Két vizsgálatban mérték az ízületi szög beállításának pontosságát (kinesztézia).^{15,16} Ugyancsak két kutatócsoport vizsgálta a térdízületi pasz-

2. táblázat. WBV paraméterek

Szerzők	Eszköz	Alkalmazott frekvencia	Amplitúdó
Moezy et al. 2008. ¹⁵	Powerplate, USA	30-50 Hz	2-5mm
Fu et al. 2013. ¹⁶	Fitvibe Excel Pro (model 332015)	20-60 Hz 5 Hz-ként növelve	2-4mm
Berschin et al. 2014. ¹⁷	Galileo 2000	5-30 Hz	5-9mm
Pistone et al. 2016. ¹⁸	Nemes Double Vibe Bosco System	Személyre kiválasztott: 30-40 Hz	2 mm

szív translációs mozgás mértékét (laxáció) és a térdízületi mozgásterjedelmet (ROM).^{16,17} Fu et al.¹⁶ funkcionális képesség teszteket is alkalmazott. A vizsgálati eredmények összehasonlításában csak azokat a változókat vizsgáltuk, ahol legalább két vizsgálatban szerepeltek.

Vizsgált képességek mutatóinak mérése és eredményei.

Állásbiztonság (stabilometria)

A négy kutató csoport közül három a Biodex cég stabilométerét használta.¹⁵⁻¹⁷ Három vizsgálatban csak dinamikus¹⁵⁻¹⁷, egy vizsgálatban statikus stabilometriát¹⁸ alkalmaztak. Mind a négy vizsgálatban nyitott és csukott szemmel is elvégeztették a tesztet. Berschin et al.¹⁷ egy lábon állás alatt állapították meg a testlengés mértékét (5. táblázat)

A dinamikus stabilometriánál az alkalmazott berendezés alkalmas arra, hogy a platform

3. táblázat. WBV intervenció protokoll

Szerzők	Testhelyzet	n	t (mp)	Pihenő- idő (mp)	Gyakori- ság	Intervenció időtartam	Edzés- szám	Összes sorozat
Moezy et al, 2008. ¹⁵	magasguggoló helyzet, páros és egy láb	növekvő: 8-20	30-60	csökkenő, 60-30	heti 3 alkalom	4 hét	12	187
Fu et al. 2013. ¹⁶	statikus és dinamikus guggolás páros és egy lábon magas és alacsony guggoló helyzetben	n/a	n/a	n/a	heti 2	8 hét	16	n/a
Berschin et al. 2014. ¹⁷	Páros láb kis ízületi hajlítás, statikus Páros láb kis ízületi hajlítás, statikus lassú ízületi hajlítás, nyújtás	2 hét: 2-6 3 hét: 5 3 hét: 5-7	60 90-120 120		heti 5	8 hét	40	
Pistone et al. 2016. ¹⁸	Magasguggolás, sarok nem érintette a platformot	1. hét: 3 2. hét: 5 3. hét: 7 4. hét: 10	60 60 60 60	60 60 60 60	3 3 3 3	4 hét	12	75

4. táblázat. A vizsgált képességek és az alkalmazott tesztek

Állásbiztonság vizsgálata statikus és dinamikus stabilometriával. A térdfesztítő és hajlító izmok maximális izometriás és izokinetikus erejének mérése, ízületi szögbállítás pontossága, laxáció a térd passzív translációs mozgása előre-hátra, ROM a mozgásterjedelem nagysága.

Szerzők	Stabilometria	Erő	Ízületi szögbéállítás	Laxity	ROM
Moezy et al, 2008. ¹⁵	x		x		
Fu et al. 2013. ¹⁶	x	x	x	x	x
Berschin et al. 2014. ¹⁷	x	x		x	x
Pistone et al. 2016. ¹⁸	x	x			

stabilitását változtassák, 0 és 8 szint között. A személy statikus helyzetben áll a platformon, de amikor a plató egyre instabilabb lesz, akkor a nyomásközéppont (COP) kis elmozdulása a plató elmozdulását eredményezi. Az eredeti pozíció visszaállításának útját regisztrálják és egy indexet számolnak. OSI – a COP elmozdulás útjának indexe, APSI – a COP előre-hátra mozdulásának, a MLI – az oldalirányú elmozdulásának indexe. A Zebris stabilométer annak az ellipszis területnek a nagyságát számolja ki, amelybe a COP elmozdulásának 95%-a esik.

A WBV hatása (az alap és az intervention előtti és utáni változások összevetése)

Az állásstabilitás szignifikánsan javult a WBV csoportban (56-90%-os javulás nyitott szemmel, 45-52% csukott szemmel) a javulás mértéke szignifikánsan nagyobb volt, mint a HTP csoportban (nyitott szem: 0,4-5,9%, csukott szem: 1-16%). Ez vonatkozott mindkét lábra, valamennyi testlengés paraméterre (teljes lengés, előre-hátra és oldalra lengés hosszúságra).¹⁵

Nyitott szemmel nem volt különbség a két csoport között sem az előre-hátra, sem az oldalirányú, sem a teljes testlengés útja között. Csukott szemmel a WBV csoport testlengése szignifikánsan kisebb volt minden irányban, mint a kontroll csoporté.¹⁶

Az állásstabilitási index mindkét csoportban csökkent (javult az állásstabilitás), de a WBV csoportban jelentősebb volt a változás és a két csoport közötti különbség szignifikáns.¹⁷

Állásbiztonság mértékét jelző ellipszis területe (amelyben az összes testlengés 95 százaléka tartozik) az egésztest vibrációs intervenció végére csak kis mértékben csökkent. Az ezt követő négy hét végére a HTP csoport nyitott szemmel szignifikánsan rosszabb eredményt ért el (növekedett az ellipszis területe). Csukott szemmel is nőtt a terület, de a változás nem volt szignifikáns. A WBV csoport nyitott szemmel csökkentette a testlengés területet, de a változás nem volt szignifikáns. Az utolsó teszt során azonban az ellipszis területe szignifikánsan csökkent, vagyis az állásstabilitás növekedett.¹⁸

Izomerő mérése

(6. táblázat)

A négy cikk közül csak három vizsgálta a térdízület és hajlítók forgatónyomatékának változását a rehabilitációs programok hatására különböző dinamométer típusokat és módszereket alkalmazva. Csak Berschin et al.¹⁷ mérte az izmok statikus és dinamikus erejét is. Fu et al.¹⁶ csak dinamikus (izokinetikussal), míg Pistone et al.¹⁸ csak statikus (izometriás) erőt mért. Mindkét statikus erőmérésnél sz-

5. táblázat. Stabilometria protokoll

Szerzők	Eszköz	Statikus	Dinamikus	Isméltés	Változók
Moezy et al. 2008. ¹⁵	Biodex Stability System		nyitott és csukott szem, páros lábbal	3x, pihenő 3perc	OSI, APSI, MLI
Fu et al. 2013. ¹⁶	Biodex Stability System		nyitott és csukott szem, páros lábbal	3x25mp, pihenő 10mp	OSI, APSI, MLI
Berschin et al. 2014. ¹⁷	Biodex Stability System		nyitott szem, jobb és bal lábon	3x	OSI, APSI, MLI
Pistone et al. 2016. ¹⁸	ZEBRIS, modell FDM	nyitott és csukott szem, páros lábbal		3x20mp, pihenő 60mp	COP ellipszis terület

OSI- nyomásközéppont összes mozgásának indexe, APSI- nyomásközéppont előre-hátra mozgásának indexe, MLI- a nyomásközéppont oldalirányú mozgásának indexe

repelt a 90°-os ízületi szögben a maximális izometriás erő megállapítása. A dinamikus erőmérésnél az ízületi szögtartomány mindkét vizsgálatban 90° (90° és 0° között) volt és mindkettő esetében 60 % sebességgel is történt ízületi nyújtás és hajlítás. Berschin et al.¹⁷ koncentrikus és excentrikus kontrakciók alatt is mérte az izmok izokinetikus erejét.

Izomerő változás

A három vizsgálatban a maximális izometriás és izokinetikus erő változása különböző módon került meghatározásra. Berschin et al.¹⁷ a műtött térd feszítőinek és hajlítóinak maximális izometriás és izokinetikus erejének változását az ép térd erőértékeihez viszonyítva határozta meg és bilaterális deficit százalékában határozta meg. Az erődeficit szignifikánsan csökkent mindkét kontrakció típusnál mind az érintett mind az egészséges térdet tekintve mind a WBV mind a HTP csoportban a három hónapos intervenció során. Fu et al.¹⁶ két hónapos WBV+HTP, illetve HTP intervenciót alkalmazva azt találta, hogy a személyek a műtött térdük feszítő izmával szignifikánsan nagyobb izokinetikus (60, 180, 300 %/s) forgatónyomatékot fejtek ki hat hónappal a rekonstrukció után. A hajlító izmokkal csak 60 és 300

% szögsebességnél volt a különbség a két csoport között. A rehabilitáció megkezdése utáni harmadik hónapban, közvetlenül az intervenció befejezése után, csak a WBV csoport mutatott szignifikáns javulást mindkét izomcsoport tekintve 300 % szögsebességnél. Pistone et al.¹⁸ csak izometriás kontrakció során mérte a térdhajlító és térdfeszítő erejét három alkalommal. A mért adatokból végtag szimmetria indexet számolt és ennek változásából határozta meg a változás irányát és mértékét. Az index mind a WBV+HTP, mind a HTP csoportban megközelítőleg azonos mértékben csökkent a térdfeszítő esetében. A térdhajlító erődeficitje jelentősebben csökkent a WBV+HTP csoportban, mint a HTP csoportban.

Ízületi kinesztézia

A kiválasztott és érzékelt ízületi szöghelyzet újbóli beállítása vizuális kontroll nélkül. Moezy et al.¹⁵ és Fu et al.¹⁶ alkalmazták ezt a tesztet. Mindkét kutatócsoport a Biodex Dynamometert (Biodex Medical Systems, Shirley, NY, USA with software Version 3.27) használta. A személyek feladata az volt, hogy a dinamométeren ülve a műtött térdüket 90°-os behajlításból nyújtsák ki. A szervomotor 60 fokos helyzetben megállította a térdkinyújtá-

6. táblázat. Stabilometria protokoll

Szerzők	Eszköz	izometriás		izokinetikus	
		TF	TH	TF	TH
Moezy et al, 2008. ¹⁵					
Fu et al. 2013. ¹⁶	Cyberx NORM			jobb, bal láb; v: 60, 180, 300 %/s; ROM: 90°	jobb, bal láb; v: 60, 180, 300 %/s; ROM: 90°
Berschin et al. 2014. ¹⁷	Biodex System 3	60°, 75°, 90°	60, 75, 90 fokban	bal, jobb láb; v: 60 %/s; CC és EC; ROM: 90°	bal, jobb láb; v: 60 %/s; CC és EC; ROM: 90°
Pistone et al. 2016. ¹⁸	saját készítésű	Jobb, bal. 90° 3x 3' pihenő	Jobb, bal. 90° 3x 3' pihenő		

TF – térdfeszítő; TH – térdhajlító; CC- koncentrikus kontrakció; EC – excentrikus kontrakció; ROM – a térdízület mozgásterjedelme a kontrakciók alatt

sát 5 mp-re. Ezt követően a térdízület ismét kinyújtásra került és amikor a személyek úgy érzékelték, hogy a térd 60 fokos helyzetben van, akkor meg kellett nyomniuk egy gombot. A következő feladat ugyanez volt, de a cél szög harminc fok volt. A valós és az érzékelt szög különbsége adta a hiba nagyságát.

Moezy et al.¹⁵ szignifikáns javulást mutatott ki a WBV csoportban a térdízületi szög beállításának pontosságában mind az ép, mind a műtött térdnél 60 fokos szöghelyzetben. A 30 fokos szögnél csak a műtött térd esetében volt jelentős javulás. A HTP csoportban nem volt jelentős különbség az alpmérés és a terápia utáni mérés eredményei között. Ugyanakkor Fu et al.¹⁶ nem talált szignifikáns különbséget a WBV+HTP és a HTP csoport között egyetlen időpontban sem.

Transzlációs mozgásterjedelem

A térdízület stabilitását, mozgékonyágát vizsgáló módszer, amely a térdízületben létrejövő előre-hátra irányuló transzlációs mozgás mértékét mutatja. Két kutatócsoport alkalmazta ezt a tesztet.^{16,17} Mindkét csoport azonos vizsgálati eszközt használt a javasolt protokoll szerint (The KT-1000 arthrometer (MEDmetric Corp, San Diego, California). Berschin et al.¹⁷ 90 és 130 N húzóerőt alkalmaztak a tibia előre irányuló transzlációs mozgásnak megállapítására. Fu et al.¹⁶ csak 130 N erőt használt. Berschin et al.¹⁷ a műtött térd előre-hátra irányuló transzlációs mozgás mértékét az ép térdéhez viszonyítva, azt találta, hogy mindkét intervenciós program megközelítőleg azonos mértékű változást okozott. Hasonlóan, Fu et al.¹⁶ sem tudott kimutatni szignifikáns hatáskülönbséget a két intervenciós program között.

Aktív ízületi mozgásterjedelem (térdhajlítás)

A személyek feladata az volt, hogy amennyire csak tudják, hajlítsák be térdízületüket.

Az ízületi mozgásterjedelmet goniométerrel mérték. A WBV és HTP intervenciós program hatását a térdízület mozgásterjedelmére két kutatásban vizsgálták. Berschin et al.¹⁷ mindkét csoportban azonos mértékű mozgásterjedelem növekedést mutatott ki. Mindkét csoport a 11. hétre érte el a maximális értéket. Fu et al.¹⁶ hasonló eredményről számolt be. Esetükben mindkét csoport az operáció utáni hat hónap végére egyaránt maximális térdízületi mozgásterjedelmet mutatott.

MEGBESZÉLÉS

Irodalomkutatásunk célja annak megállapítása volt, hogy a WBV rehabilitációs intervenció milyen hatással van a térdízületi funkciók, és az állásstabilizáció helyreállítására elülső keresztszalag rekonstrukciós műtéten átesett emberek esetében. Az irodalmi kutatás során csak olyan vizsgálatokat tartottunk relevánsnak, amelyekben a személyek kiválasztása és csoportba osztása randomizált módon történt és a WBV krónikus hatását vizsgálták. Négy olyan cikket találtunk, amely megfelelt a beválogatási kritériumnak és az utóbbi 15 évben kerültek publikálásra a kutatási eredmények. Mind négy kutatásban figyelembe vették azokat a WBV hatását leíró elméleti és módszertani kutatási eredményeket, amelyeket korábban egészséges fiatal és idős felnőtt személyeken szereztek.¹⁹⁻²¹

A fő érv a WBV alkalmazására az volt, hogy az ACL rekonstrukciós műtött egyéneken végzett vizsgálatok azt erősítik meg, hogy a hagyományos rehabilitációs programok bár hozzá segítenek a térd fizikai állapotának javításához és ezen keresztül az egyensúlyozóképesség növeléséhez, a járás normalizálódásához, jelentős deficit mutatható ki 6-12 hónap után is a térdízület propriocepciójában^{22,23}, az erő kifejtő képességben²⁴⁻²⁶, az állásstabilitásban^{27,28} és járás szimmetriában.²⁹

A beválogatott cikkekben a kutatók arra alapozták hipotézisüket, hogy a talpon keresztül, az egész testre ható mechanikai vibráció kiváltja a vibrációs tónusos reflexet és a központi, valamint perifériás idegrendszeren keresztül közvetlenül, illetve közvetve hat a hormonális rendszere.^{30,31} Feltételezték, hogy a WBV idegrendszerre gyakorolt hatásán keresztül növeli vázizmok erejét és ezáltal javítja a poszturális kontrollt és a kinesztetikus érzékelést.^{32,33}

WBV jellemzők

A négy vizsgálatból kettőben^{16,18} a WBV-t kombinálták a HTP-vel, kettőben az egyik csoport csak WBV edzést folytatott^{15,17} és így a WBV szeparált hatása is megítélhető. A WBV intervenció paraméterei (frekvencia, amplitúdó, időtartam, terhelési idő, testhelyzet (a vibráció alatt) is nagyon különbözők voltak és csak egy vizsgálatban volt a vibrációs frekvencia személyre szabott.¹⁸

A WBV szeparált hatása az állásstabilitásra és az izomerőre

A két vizsgálatban^{15,17} a WBV intervenció időtartama különböző volt (4, illetve 12 hét), továbbá a WBV edzés a műtét után nagyon különböző időpontban kezdődött. Moezyn et al.¹⁵ a műtét után 12 héttel kezdte a WBV-t, ami négy hétig tartott, amit megelőzőt 12 hetes posztoperatív fizioterápia, illetve ezt követően a hagyományos rehabilitációs intervenció. Ezzel szemben Berschin et al.¹⁷ két héttel a műtét után kezdte a WBV programot, ami 12 hétig tartott. A rehabilitációs programok különbségének ellenére, mindkét esetben a WBV intervenció jelentősebb hatással volt az állásstabilitásra, mint a HTP. A négy hetes WBV intervenció, ami 12 héttel a műtét után kezdődött jelentős javulást eredményezett a stabilometriás mutatókban. A változás mértéke szintén szignifikánsan nagyobb volt, mint a

HTP csoportban. Hasonló fejlődést mutattak ki mutattak ki a 2 héttel műtét után kezdődött és 12 hétig tartó WBV intervenció hatására, a stabilizációs index 4,7-ről 3,1-re csökkent. A HTP csoportban az index 5,4-ről csak 4,7-re csökkent. A két csoport közötti különbség az állásstabilitás javulásában a 8. és 11. héten végzett tesztnél volt szignifikáns. Ezek a vizsgálati eredmények azt az elképzelést erősítik, hogy a WBV neuromuszkuláris rendszerre gyakorolt hatásának révén befolyásolja a testtartás kontrollját, továbbá az izmok tónusának, erejének növekedése is hatással van az állásstabilitásra is.^{25,36} Az utóbbi állítást az Berschin et al.¹⁷ eredményei nem támasztják alá, minthogy mindkét csoportnál csaknem azonos mértékben csökkent a bilaterális erődeficit mind izometriás, mind dinamikus erő kifejtések során. Moezyn et al.¹⁵ nem végzett erőmérést.

A WBV és a HTP kombinált hatása az állásstabilitásra és az izomerőre

Két vizsgálatban^{16,18} tesztelték az alkalmazott intervenciók hatását az állás stabilitásra. Fu et al.¹⁶ a kombinált fizioterápiás program előnyét csak a csukott szemmel végrehajtott stabilometriánál tudta kimutatni nyolchetes intervenció után. Pistone et al.¹⁸ szintén javulást mutatott ki a testlengés változóiban, de csak négy héttel a négyhetes intervenció befejezése után. Érdekes, hogy a jelentős különbséget a két csoport között mindkét esetben a műtét utáni 12. héten tudták kimutatni. Felvetődik a kérdés, hogy a WBV mennyivel járult hozzá az állásstabilitás javulásához. Feltételezhetően a vibráció a propriocepció javításán keresztül, amit Fu et al.¹⁶ eredménye alátámaszt. További kérdés, hogy a WBV-nek az erőnövekedésben játszott szerepe is hozzájárult-e a testlengés mértékének csökkenéséhez. Fu et al.¹⁶ szignifikánsan nagyobb erőnövekedést mért a műtött térd feszítőinél és hajlítóinál mindhárom kontrakció sebes-

ségnél. Ezért feltételezhető, hogy a műtött térd propriocepciójának javítása mellett a feszítő és hajlító izmok erőnövekedése is hozzájárult az állásstabilitás javulásához. Pistone et al.¹⁸ a térdfeszítőknél nem talált különbséget a bilaterális deficit index csökkenésében a két csoport között, ami talán annak tulajdonítható, hogy a 30-40 Hz vibrációs frekvencia nem volt elég stimuláló hatású. Ugyanakkor a térdhajlítóknál a WBV+HTP csoport jelentősebb mértékben csökkentette az erődeficitet, mint a HTP csoport. Az irodalomban nem találtunk olyan cikket, amely bizonyította volna, hogy a hajlító és feszítő más vibrációs frekvenciára lennének érzékenyek.

A műtött térd normál stabilizációjának visszanyeréséhez elengedhetetlen a térdfeszítő és hajlító izmok erejének növelése. A térdhajlító izmok arányos növelése a feszítőkhöz viszonyítva (H/Q arány) fontos, mivel a gyenge térdhajlító izmok növelik a terhelést az elülső keresztszalagra a különböző helyváltoztató mozgások során.³⁴ Minthogy az ACL rekonstrukció műtétek után kerülni kell az ACL nagy terhelését, ezért különös gondot kell fordítani a térdhajlító izmok erejének növelésére is. Bár a WBV elsősorban a térdfeszítő izmokra hat, nagy frekvenciájú vibráció alatt mindkét izomcsoport tónusa növekszik és a vibrációs edzést követően bizonyos ideig (10-60 perc) fennmarad.^{21,20} Vizsgálati eredmények bizonyítják, hogy idős embereknél az erő növelése nagyobb hatással van az állásbiztonságra, mint az egyensúlyozó gyakorlatoknak.^{25,35}

Kinesztézia (ízületi szögérzékelés)

Az ízületi szög érzékelésének jelentős szerepe van a mozgások pontos kivitelezésében, amelyet a térdízületben található mechanoreceptorok és a Golgi szerv által is szabályozott. Az ACL-ben is található mechanoreceptorok³⁶, amelyek az ín cseréjével kiesnek a propriocepcióból.^{37,38} A rekon-

strukció során használt graftok propriocepcióban való részvétele egyrészt kérdéses, másrészt időfüggő. Feltételezések szerint a csökkent kinesztézis akár 24 hónapig is eltarthat a műtét után.³⁹

A vizsgálatunkba bevont két kutatás a WBV, illetve a WBV+HTP hatását tanulmányozta a térízületi szöghelyzet érzékelésre, minthogy feltételezhető, hogy a mechanikai vibráció a tónusos vibrációs reflexen keresztül befolyással van a mechanoreceptorokra. Fu et al.¹⁶ két hónapos intervenció után nem tudott kimutatni különbséget a vizsgálati és kontroll csoport között, noha a WBV csoport a műtött térdnél 60 fokos szögnél 24%-al, 30 fokos szögnél 33%-al csökkentette a beállítási hibát, míg HTP csoport csak 16%-al csökkentette, illetve 2%-al növelte a beállítási hibát. Ezzel szemben, Moezy et al.¹⁵ jelentős javulásról számolt be a WBV hatására a kinesztetikus érzékelésben. A WBV csoport mind a műtött térdnél, mind az ép térdnél átlagosan 58%-al csökkentette a kezdeti beállítási hibát, ami jelentősen nagyobb volt, mint a HTP-ben. A különböző hatás annak ellenére jött létre, hogy mindkét kutatócsoport megközelítőleg ugyanazon vibrációs paramétereket használt az intervenció során. Elképzelhető, hogy Moezy et al.¹⁵ esetében a nagyobb akut vibrációs terhelés okozhatta a szignifikáns javulást a WBV csoportban. Továbbá az is befolyásolhatta az eltérő eredményt, hogy Moezyn et al.¹⁵ a műtét után három hónappal kezdte meg az intervenciót, amit hagyományos ACL rehabilitáció előzött meg.

A WBV és a WBV+HTP hatása a térdízületi translációs mozgásra (laxáció)

A WBV, illetve a WBV és a HTP kombinált hatását a térdízületi laxációra két kutatásban vizsgálták.^{16,17} A beválasztott vizsgálatokban zömében kis térdízületi guggolásban kapták a vibrációs terhelést a személyek, ennek követ-

keztében elhanyagolható a translációs mozgás és a nyíróerő az intervenció során. Ebből a szempontból a WBV előnyös a rehabilitáció kezdetén, mert kismértékben terheli az elülső keresztszalagot, de stimulálja a receptorokat. Ugyanakkor kisebb a hatása a normál translációs mozgásterjedelmre. Úgy tűnik, hogy a normál translációs mozgás eléréséhez a legjobb módszer a WBV és a hagyományos fizioterápiás módszerek együttes alkalmazása. Feltételezhetően a hagyományos rehabilitációs intervenciók önmagukban is hatékonyak lehetnek. Megjegyzendő, hogy a térdízületi stabilitás létrehozásában nem csak az ACL-nek, de más képleteknek is jelentős befolyása van⁴⁰, amelyekre a WBV-nek nem ismert a hatása.

A WBV és a WBV+HTP hatása a térdízületi mozgásterjedelmére

Sem Fu et al.¹⁶, sem Berschin et al.¹⁷ nem talált különbséget két intervenció hatása között. Mindkét esetben a rehabilitációs program végére a műtött térd elérte a teljes aktív mozgásterjedelmet. A vibrációs protokoll sem befolyásolta az eredményt, minthogy Fu et al. 20-60 Hz frekvenciát és 2-4 mm amplitúdójú vibrációt, Berschin et al.¹⁷ pedig 10-30 Hz frek-

venciát és 5-9 mm amplitúdót használt, amely értékek azon határok közé esik, amelyek legalmasabbak a flexibilitás növelésére.⁴¹

KÖVETKEZTETÉSEK

A minimálisan egy hétig tartó WBV intervenció elsősorban az ACL rekonstrukció során lecsökkent vagy eltűnt propiocepció javulását, újra indulását eredményezheti, amely jelentősen javítja az állásstabilitást és a kinesztézist, vagyis az ízületi szöghelyzet érzékelését. Az eredmények azonban nem minden esetben voltak azonos irányultságúak az ízületi kinesztézist tekintve. A WBV önmagában is képes volt az izomerő növelésére, az erődeficit csökkentésére, de a hatás nem volt minden kutatásban egyértelmű. Az erő növekedése együtt járt az állásstabilitás javulásával, amely azt jelzi, hogy neuromuszkuláris adaptáció révén a térdfeszítők és hajlítók erőnövekedése is, hozzájárul az egyensúlyozó képesség javulásához. Úgy tűnik, hogy a WBV önmagában nem javítja az ízületi stabilitást és nem járul hozzá a hagyományos rehabilitáció hatásának növeléséhez. Mindazonáltal további vizsgálatokra van szükség, hogy a fenti megállapítások megerősítést nyerjenek.

A szerzők részvétele: N.H.: kéziratkészítés, koncepció, J.B.K: kéziratkészítés, T.J.: szakmai vezető, kéziratkészítés, koncepció, szervezés, szakirodalom

Köszönetnyilvánítás: -

Támogatás: -

Összeférhetetlenség: Nincs.

IRODALOM

1. De Gail P, Lance JW, Neilson PD. Differential effects on tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1966;29(1):1-II. DOI
2. Eklund G, Hagbarth KE. Normal variability of tonic vibration reflexes in man. *Exp Neurol*. 1966;16(1):80-92. DOI
3. Merriman H, Jackson K. The effects of whole-body vibration training in aging adults: a systematic review. *J Geriatr Phys Ther*. 2009;32(3):134-45. DOI

4. *Sitjà-Rabert M, Rigau D, Fort Vanmeerghaeghe A, Romero-Rodríguez D, Bonastre Subirana M, Bonfill X.* Efficacy of whole body vibration exercise in older people: a systematic review. *Disabil Rehabil.* 2012;34(11):883-93. [DOI](#)
5. *Jo N-G, Kang S-R, Ko M-H, Yoon J-Y, Kim H-S, Han K-S, Kim G-W.* Effectiveness of whole-body vibration training to improve muscle strength and physical performance in older adults: prospective, single-blinded, randomized controlled trial. *Healthcare.* 2021; 9(6):652. [DOI](#)
6. *Jepsen DB, Thomsen K, Hansen S, Jørgensen NR, Masud T, Ryg J.* Effect of whole-body vibration exercise in preventing falls and fractures: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open.* 2017;7(12):e018342. Published 2017 Dec 29. [DOI](#)
7. *Bemben D, Starck C, Taiar R, Bernardo-Filho M.* Relevance of whole-body vibration exercises on muscle strength/power and bone of elderly individuals. *Dose-Response.* October 2018. [DOI](#)
8. *Dincher A, Schwarz M, Wydra G.* Analysis of the effects of whole-body vibration in parkinson disease - systematic review and meta-analysis. *PM R.* 2019;11(6):640-653. [DOI](#)
9. *Kang H, Lu J, Xu G.* The effects of whole body vibration on muscle strength and functional mobility in persons with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Mult Scler Relat Disord.* 2016;7:1-7. [DOI](#)
10. *Tihanyi TK, Horváth M, Fazekas G, Hortobágyi T, Tihanyi J.* One session of whole body vibration increases voluntary muscle strength transiently in patients with stroke. *Clin Rehabil.* 2007;21(9):782-93. [DOI](#)
11. *Yang X, Wang P, Liu C, He C, Reinhardt JD.* The effect of whole body vibration on balance, gait performance and mobility in people with stroke: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2015;29(7):627-38. [DOI](#)
12. *Yasar-Fisher C, Pascoe DD, Gladden LB, Quindry JC, Hudson J, Sefton J.* Acute physiological effects of whole body vibration (WBV) on central hemodynamics, muscle oxygenation and oxygen consumption in individuals with chronic spinal cord injury. *Disabil Rehabil.* 2014;36(2):136-45. [DOI](#)
13. *Wang P, Yang X, Yang Y, Yang L, Zhou Y, Liu C, Reinhardt JD, He, C.* Effects of whole body vibration on pain, stiffness and physical functions in patients with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2015;29(10):939-51. [DOI](#)
14. *Harris JD, Abrams GD, Bach BR, Williams D, Heidloff D, Bush-Joseph CA, Verma NN, Forsythe Brian, Cole BJ.* Return to sport after ACL reconstruction. *Orthopedics.* 2014;37(2):e103-8. [DOI](#)
15. *Moezy A, Olyaci G, Hadian M, Razi M, Faghihzadeh S.* A comparative study of whole body vibration training and conventional training on knee proprioception and postural stability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med.* 2008;42(5):373-8. [DOI](#)
16. *Fu CLA, Yung SHP, Law KYB, Leung KHH, Lui PYP, Siu HK, Chan KM.* The effect of early whole-body vibration therapy on neuromuscular control after anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled trial. *The American Journal of Sports Medicine.* 2013;41(4):804-14. [DOI](#)
17. *Berschlin G, Sommer B, Behrens A, Sommer HM.* Whole body vibration exercise protocol versus a standard exercise protocol after ACL reconstruction: A clinical randomized controlled trial with short term follow-up. *J Sports Sci Med.* 2014;13(3):580-589. Published 2014 Sep 1.
18. *Pistone E, Laudani L, Camillieri G, Cagno A, Tomassi G, Macaluso A, Giombini A.* Effects of early whole-body vibration treatment on knee neuromuscular function and postural control after anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled trial. *J Rehabil Med.* 2016;48(10):880-6. [DOI](#)
19. *Cardinale M, Lim J.* Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *J Strength Cond Res.* 2003;17(3):621-4.
20. *Di Giminiani R, Masedu F, Padulo J, Tihanyi J, Valenti M.* The EMG activity-acceleration relationship to quantify the optimal vibration load when applying synchronous whole-body vibration. *J Electromyogr Kinesiol.* 2015;25(6):853-9. [DOI](#)

21. Di Giminiani R, Masedu F, Tihanyi J, Scrimaglio R, Valenti M. The interaction between body position and vibration frequency on acute response to whole body vibration. *J Electromyogr Kinesiol.* 2013;23(1):245-51. [DOI](#)
22. Roberts D, Friden T, Stomberg A, Lindstrand A, Moritz U. Bilateral proprioceptive defects in patients with a unilateral anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison between patients and healthy individuals. *J Orthop Res.* 2000;18(4):565-71.
23. Reider B, Arcand MA, Diehl LH, et al. Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2003;19(1):2-12.
24. Potter ND. Complications and treatment during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Oper Techn Sport Med.* 2006;14(1):50-8.
25. Hiemstra LA, Webber S, MacDonald PB, Kriellaars DJ. Contralateral limb strength deficits after anterior cruciate ligament construction using a hamstring tendon graft. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2007;22(5):543-55.
26. Rosenthal MD, Moore JH, Stoneman PD, DeBerardino TM. Neuromuscular excitability changes in the vastus medialis following anterior cruciate ligament reconstruction. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 2009;49(1):43-51.
27. Henriksson M, Ledin T, Good L. Postural control after anterior cruciate ligament reconstruction and functional rehabilitation. *Am J Sports Med.* 2001;29(3):359-66.
28. Hoffman M, Schrader J, Kocaja D. An investigation of postural control in postoperative anterior cruciate ligament reconstruction patients. *J Athl Train.* 1999;34(2):130-6.
29. Lewek M, Rudolph K, Axe M, Snyder-Mackler L. The effect of insufficient quadriceps strength on gait after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Biomech.* 2002;17(1):56-63.
30. Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, Cardinale M, Bonifazi M, Tihanyi J, Viru M, De Lorenzo A, Viru A. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol.* 2000;81(6):449-454. [DOI](#)
31. Di Giminiani R, Fabiani L, Baldini G, Cardelli G, Giovannelli A, Tihanyi J. Hormonal and neuromuscular responses to mechanical vibration applied to upper extremity muscles. *PLoS One.* 2014;9(11):e111521. Published 2014 Nov 4. [DOI](#)
32. Rogan S, Hilfiker R, Herren K, Radlinger L, de Bruin ED. Effects of whole-body vibration on postural control in elderly: a systematic review and meta-analysis. *BMC Geriatr.* 2011 Nov 3;11:72. PMID: 22054046; PMCID: PMC3229447. [DOI](#)
33. Tohidast SA, Bagheri R, Safavi-Farokhi Z, Khaleghi Hashemian M, Delkhash CT. The effects of acute and long-term whole-body vibration training on the postural control during cognitive task in patients with chronic ankle instability. *J Sport Rehabil.* 2021 Jul 1;30(8):1121-8. PMID: 34214989. [DOI](#)
34. Weinhandl JT, Earl-Boehm JE, Ebersole KT, Huddleston WE, Armstrong BS, O'Connor KM. Reduced hamstring strength increases anterior cruciate ligament loading during anticipated sidestep cutting. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon).* 2014 Aug;29(7):752-9. Epub 2014 Jun 11. PMID: 24970112. [DOI](#)
35. Gloeckl R, Schneeberger T, Leitl D, Reinold T, Nell C, Jarosch I, Kenn K, Koczulla AR. Whole-body vibration training versus conventional balance training in patients with severe COPD—a randomized, controlled trial. *Respir Res.* 2021;22(1):138. Published 2021 May 4. [DOI](#)
36. Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Iwasa J, Ryoike K et al. Mechanoreceptors in the anterior cruciate ligament contribute to the joint position sense. *Acta Orthopaedica Scandinavica.* 2002;73(3):330-4. [DOI](#)
37. Krafft FC, Stetter BJ, Stein T, Ellermann A, Flechtenmacher J et al. How does functionality proceed in ACL reconstructed subjects? Proceeding of functional performance from pre-to six months post-ACL reconstruction. *PLoS One.* 2017;12(5):e0178430. [DOI](#)

38. *Lee DH, Lee JH, Ahn SE, Park MJ.* Effect of time after anterior cruciate ligament tears on proprioception and postural stability. *PloS One.* 2015;10(9):e0139038. [DOI](#)
39. *Fleming, JD, Ritzmann R, Centner C.* Effect of an anterior cruciate ligament rupture on knee proprioception within 2 years after conservative and operative treatment: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med.* 2022;52:1091–102. [DOI](#)
40. *Kittel C, El-Daou H, Athwal KK, Gupte CM, Weiler A, Williams A, Amis AA.* The role of the anterolateral structures and the ACL in controlling laxity of the intact and ACL-deficient knee. *The American Journal of Sports Medicine.* 2015;0363546515614312. [DOI](#)
41. *Pollock RD, Provan S, Martin FC, Newham DJ.* The effects of whole body vibration on balance, joint position sense and cutaneous sensation. *Eur J Appl Physiol.* 2011 Dec;111(12):3069-77. [DOI](#)