

Artrogena mišična inhibicija pri akutnem zvinu in kronični nestabilnosti gležnja

Arthrogenic muscle inhibition in acute ankle sprain and chronic ankle instability

Jana Hočevar¹, Renata Vauhnik¹

IZVLEČEK

Uvod: Zvin gležnja je najpogostejša poškodba pri športnikih in v splošni populaciji. Predhodni zvin je glavni dejavnik tveganja za ponovno poškodbo oziroma razvoj nestabilnosti. Nestabilnost je povezana z živčno-mišičnimi spremembami po poškodbi. Med njimi je tudi artrogena mišična inhibicija (AMI), ki vpliva na zmanjšano sposobnost aktivacije mišic po poškodbi. **Namen:** S pregledom literature želimo ugotoviti, ali je AMI prisotna pri osebah po akutnem zvinu gležnja oziroma osebah z nestabilnostjo gležnja. **Metode dela:** Iskanje literature je potekalo s pregledom podatkovnih zbirk PubMed, Cochrane Library, EMBASE (Ovid) in Medline. Zadetke smo pregledali z upoštevanjem vključitvenih in izključitvenih kriterijev. Dodatno so bili pregledani sezname literatur vključenih raziskav. **Rezultati:** V končni pregled je bilo vključenih pet raziskav, ki so proučevale prisotnost AMI pri osebah po akutnem zvinu oz. s prisotno kronično nestabilnostjo gležnja. Zmanjšano aktivacijo m. soleus ($p < 0,05$) so poročali v štirih raziskavah, zmanjšano aktivacijo m. peroneus longus ($p < 0,05$) pa v dveh raziskavah in le pri osebah z nestabilnostjo gležnja. **Zaključki:** Pri osebah po zvinu oz. z nestabilnostjo gležnja je prisotna AMI, ki se kaže kot zmanjšana aktivacija m. soleus in m. peroneus longus. Inhibicija je v akutni fazi prisotna bilateralno, mehanizmi AMI pa so najverjetneje pod spinalnim in supraspinalnim nadzorom.

Ključne besede: zvin gležnja, nestabilnost gležnja, artrogena mišična inhibicija.

ABSTRACT

Introduction: Ankle sprain is the most common injury in athletes and in the general population. A history of ankle sprain is a major risk factor for re-injury or the development of instability. Instability may be related to neuromuscular changes following injury. These include arthrogenic muscle inhibition (AMI), which leads to a reduced ability to activate muscles after injury. **Aim:** To determine whether AMI is present in subjects after acute ankle sprain or in subjects with ankle instability. **Methods:** A literature search was performed using PubMed, Cochrane Library, EMBASE (Ovid) and Medline databases. A combination of English key words was used. In addition, the literature lists of included studies were reviewed. Studies were screened for inclusion and exclusion criteria. **Results:** We included five studies that investigated the presence of AMI in subjects with acute ankle sprain or chronic ankle instability. Reduced activation of m. soleus ($p < 0,05$) was reported in four studies. As well as reduced activation of m. peroneus longus ($p < 0,05$) in two studies, but only in subjects with ankle instability. **Conclusions:** We found that AMI, manifested as reduced activation of m. soleus and m. peroneus longus, is present in subjects with acute ankle sprain or instability. Inhibition is bilateral in the acute phase, and the mechanisms of AMI are most likely under spinal and supraspinal control.

Key words: ankle sprain, ankle instability, arthrogenic muscle inhibition.

¹ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: izr. prof. dr. Renata Vauhnik, dipl. fiziot.; e-pošta: renata.vauhnik@zf.uni-lj.si

Prispelo: 07.03.2023

Sprejeto: 18.06.2023

UVOD

Poškodbe gležnja spadajo med najpogostejše poškodbe tako med športniki kot v splošni populaciji (1). Zvin gležnja je pomemben dejavnik tveganja za ponovni zvin (2, 3), poleg tega od 15 do 64 % oseb po zvinu gležnja razvije kronično ali funkcionalno nestabilnost (4). Vzrok za to bi lahko bila mehanska ali funkcionalna insuficienca struktur poškodovanega sklepa, vendar so raziskave pokazale, da mehanska laksnost sklepa ni nujno prisotna pri osebah s kronično nestabilnostjo (5, 6). Zato se predvideva, da imajo pomembno vlogo pri nastanku kronične nestabilnosti gležnja živčno-mišične spremembe, ki nastanejo ob poškodbah oziroma po njej (7), med njimi predvsem spremenjen aferentni priliv iz sklepa v osrednje živčevje, ki se zgodi zaradi poškodbe sklepa in obklesanih struktur (8). Med živčno-mišične spremembe spada tudi tako imenovana artrogena mišična inhibicija (AMI), ki je pogosto spregledana posledica poškodbe sklepa, in je definirana kot refleksna inhibicija nepoškodovanih mišic v okolici poškodovanega sklepa. Predvideva se, da je AMI neke vrste zaščitni mehanizem, ki poškodovani sklep štiti pred večjimi obremenitvami sklepa po poškodbi, vendar pa tudi otežuje rehabilitacijo (9). Pri AMI ne gre le za atrofijo in zmanjšano mišično zmogljivost, temveč za zmanjšano aktivacijo oziroma sposobnost aktivacije mišic. V kolenskem sklepu je tako dokazano, da se AMI po poškodbi ali operaciji kaže kot zmanjšana zmožnost (hotene) aktivacije m. quadriceps femoris (10, 11), nedavni pregled literature pa je pokazal, da je mišična inhibicija na ravni hrbtenjače prisotna tudi pri osebah s kronično nestabilnostjo gležnja (7).

Za ugotavljanje prisotnosti oziroma odsotnosti AMI se uporabljajo EMG-meritve. Med njimi se opazuje H-refleks, ki predstavlja oceno vzdražnosti α -motoričnega nevrona (kot odziv na stimulus). Sprememba maksimalne amplitude H-refleksa ($H_{maks.}$) predstavlja spremembo v sposobnosti aktivacije motonevrona (12). Manjša vrednost $H_{maks.}$ predstavlja manjšo aktivacijo mišice in posledično kaže na prisotnost AMI. Višja vrednost $H_{maks.}$ pa predstavlja povečano aktivacijo oziroma ekscitacijo. Navadno se vrednost H-refleksa normalizira z amplitudo $M_{maks.}$, ki predstavlja največjo možno aktivacijo celotnega motoričnega nevrona (neposredno draženje α -motoričnega

nevrona). Tako se med rezultati poroča vrednost razmerja $H_{maks.} : M_{maks.}$ (13).

Kim in sodelavci (7) so v pregledu ugotovili, da je pri osebah s kronično nestabilnostjo gležnja prisotna artrogena mišična inhibicija, ki se kaže predvsem z zmanjšano vzdražnostjo m. soleus in m. peroneus longus, vendar pa v pregled niso zajeli raziskav, opravljenih na populaciji oseb po akutnem zvinu gležnja. Naš pregled bo torej slednjega nadgradil z vključitvijo morebitnih pozneje objavljenih raziskav in razširitvijo na populacijo oseb z akutnim zvinom gležnja.

Namen pregleda literature je ugotoviti, ali je artrogena mišična inhibicija prisotna pri osebah po akutnem zvinu gležnja oziroma osebah z nestabilnostjo gležnja.

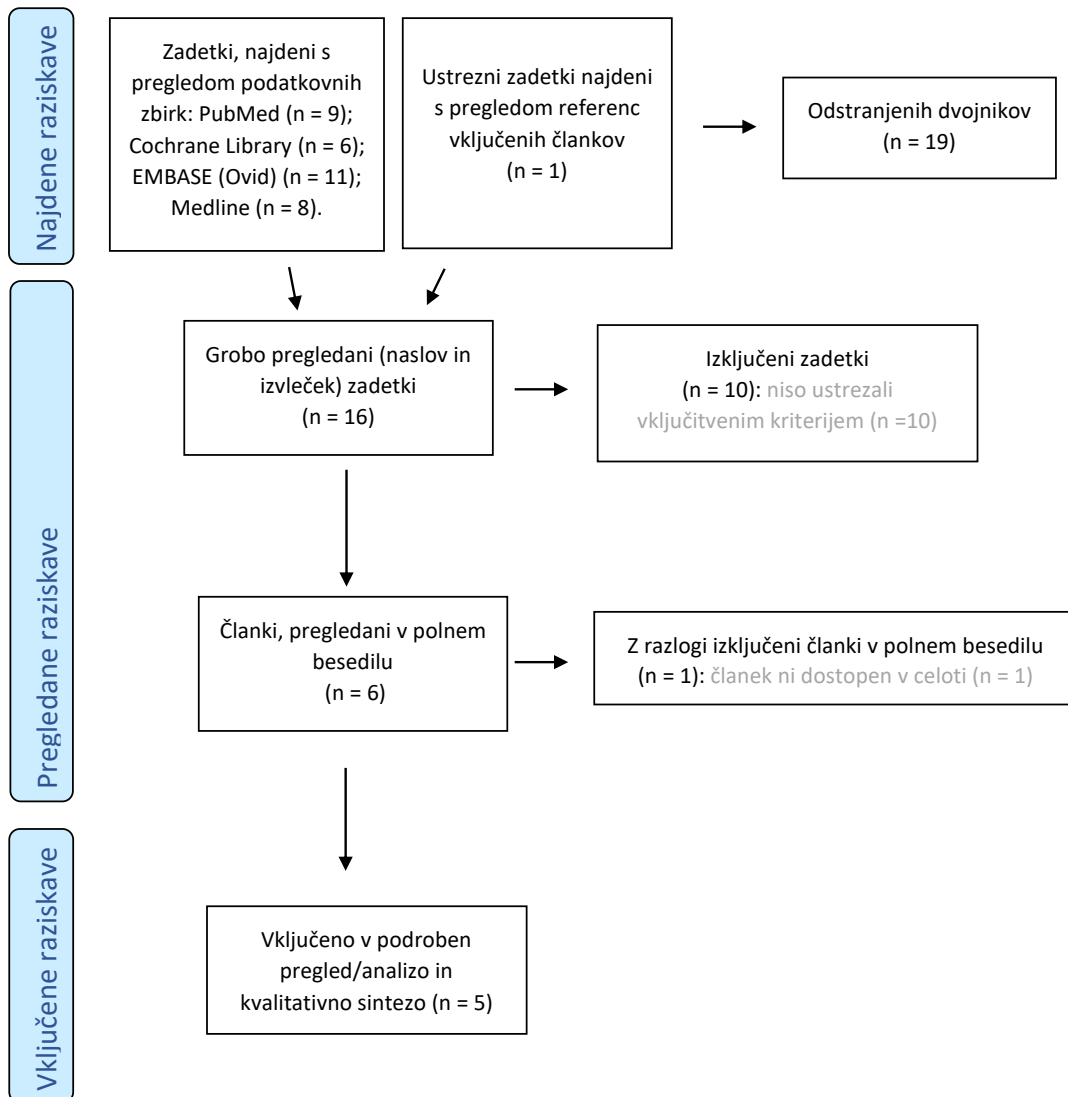
METODE

Iskanje literature je potekalo z iskanjem v podatkovnih zbirkah PubMed, Cochrane Library, EMBASE (Ovid) in Medline. Zadnji pregled je bil opravljen 7. decembra 2022. Uporabili smo naslednje angleške ključne besede: ankle AND arthrogenic muscle inhibition. Ključne besede je moral vsebovati naslov, izvleček ali seznam ključnih besed posameznega članka. Dodatno smo pregledali sezname literature vključenih člankov. Pregledali smo ustreznost vsebine glede na naslov in izvleček. Vključitvena merila so bila: članki v angleškem jeziku, populacija oseb po akutnem zvinu gležnja ali z nestabilnostjo gležnja, med izidi pa so morali poročati o mišični aktivnosti, merjeni z EMG. Izključene so bile raziskave, ki niso bile v celoti dostopne, raziskave, v katerih so simulirali oteklino sklepa, in raziskave, ki niso opazovale mišic okoli gležnja.

REZULTATI

Izbor literature je predstavljen z diagramom poteka PRISMA na sliki 1. Po izključitvi dvojnikov je bilo skupno najdenih 16 različnih raziskav. Po pregledu in preverjanju ustreznosti glede na vključitvena in izključitvena merila je bilo v pregled vključenih pet raziskav, objavljenih med letoma 2004 in 2022 (13–17).

Značilnosti preiskovancev v vključenih raziskavah so predstavljene v preglednici 1. V štirih vključenih raziskavah so bili preiskovanci razdeljeni v dve



Slika 1: Diagram poteka PRISMA (18)

skupini: osebe po akutnem zvinu (15, 17) oziroma osebe s kronično nestabilnostjo gležnja (13, 14) (ES) in osebe brez prisotnega zvina oziroma nestabilnosti gležnja (KS) (13, 14, 15, 17). V eni raziskavi pa so imeli tri skupine: osebe z zgodovino poškodbe gležnja z nestabilnostjo (ES1), osebe z zgodovino poškodbe gležnja brez nestabilnosti (ES2) in osebe brez zgodovine poškodbe gležnja (KS) (16). V raziskavah na populaciji oseb z akutnim zvinom gležnja so bili preiskovanci vključeni od 24 do 72 ur po poškodbi (15, 17). V raziskavah na populaciji oseb z nestabilnostjo pa so to definirali oziroma ugotavljali z modificiranim vprašalnikom Ankle instability instrument (AII) (13, 14, 16), vprašalnikom o funkcionalni nestabilnosti gležnja (FAIQ) (14), vprašalnikom

Identification of Functional Ankle Instability (IdFAI) Instrument (16) in poročanjem preiskovancev o zgodovini zvina gležnja s prisotno bolečino, oteklino in začasno izgubo funkcije; občutkom nestabilnosti in slabšo funkcijo pri vsakodnevnih dejavnostih (16).

V raziskavah z dvema skupinama so v obeh skupinah meritve $H_{maks.}$ in $M_{maks.}$ izvedli na obeh spodnjih udih (SU) (13, 14, 15, 17). V raziskavi s tremi skupinami pa so meritve v vsaki ES opravili le na poškodovanem SU, v KS pa na naključno izbranem SU (16). V raziskavah so opazovali m. soleus (13, 15, 16, 17), m. peroneus longus (13, 14, 15, 17) in m. tibialis anterior (13, 15, 17). Pri primerjavah znotraj posamezne skupine so v

Preglednica 1: Značilnosti preiskovancev v vključenih raziskavah

Raziskava	Patologija proučevane populacije	Značilnosti ES	Značilnosti KS
Kim et al. (17)	Akutni zvin gležnja	n = 30 (M: 17, Ž: 13), povprečna starost: 22,1 leta	n = 30 (M: 17, Ž: 13), povprečna starost: 22,1 leta
Klykken et al. (15)	Akutni zvin gležnja	n = 10 (M: 4, Ž: 6), povp. starost: 19,2 leta	n = 10 (M: 4, Ž: 6), povp. starost: 20,6 leta
McVey et al. (13)	Kronična (funkcionalna) nestabilnost	n = 15 (M: 7, Ž: 8), povp. starost: 26,5 leta	n = 14 (M: 1, Ž: 13), povp. starost: 21,3 leta
Palmieri-Smith et al. (14)	Kronična (funkcionalna) nestabilnost	n = 21 (M: 3, Ž: 18), povp. starost: 21 let	n = 21 (M: 3, Ž: 18), povp. starost: 21 leta
Bowker et al. (16)	Kronična nestabilnost	ES1: n = 37 (M: 18, Ž: 19), povp. starost: 21,95 leta ES2: n = 30 (M: 13, Ž: 17), povp. starost: 21,86 leta	n = 26 (M: 9, Ž: 17), povp. starost: 21,56 leta

ES – eksperimentalna skupina, KS – kontrolna skupina, M – moški, Ž – ženske.

raziskavah primerjali vrednosti H_{maks}/M_{maks} med obema SU (13, 14, 15, 17). Pri primerjavah med skupinami pa so med skupinama primerjali skupni rezultat H_{maks}/M_{maks} obeh SU (17), razlike v vrednosti H_{maks}/M_{maks} med obema SU v eni in v drugi skupini (15) in vrednosti H_{maks}/M_{maks} med skupinami (16).

V vseh štirih raziskavah, v katerih so poročali o razlikah med obema SU znotraj KS, ni bilo statistično značilne razlike v razmerju H_{maks}/M_{maks} (13–15, 17). V dveh raziskavah je bilo v ES

H_{maks}/M_{maks} razmerje pri m. soleus statistično značilno nižje ($p < 0,05$) na poškodovanem SU kot na nepoškodovanem SU (13, 15), v eni pa tega niso opazili (17). V dveh izmed štirih raziskav so v ES opazili statistično značilno nižje H_{maks}/M_{maks} razmerje pri m. peroneus longus na poškodovanem SU v primerjavi z nepoškodovanim SU (13, 14). Rezultati primerjave med SU znotraj posameznih skupin so povzeti v preglednici 2.

Razliko med skupinami so opazovali v treh raziskavah (15–17). O statistično značilno nižjih

Preglednica 2: Primerjava med spodnjima udoma znotraj posameznih skupin

Raziskava	m. soleus	m. peroneus longus	m. tibialis ant.
Kim et al. (17)	ES: / KS: /	ES: / KS: /	ES: / KS: /
Klykken et al. (15)	ES: ↓ H_{maks}/M_{maks} razmerje na poškodovanem SU kot na nepoškodovanem SU ($p = 0,01$) KS: /	ES: / KS: /	ES: / KS: /
McVey et al. (13)	ES: ↓ H_{maks}/M_{maks} razmerje na poškodovanem SU kot na nepoškodovanem SU ($p = 0,035$) KS: /	ES: ↓ H_{maks}/M_{maks} razmerje na poškodovanem SU kot na nepoškodovanem SU ($p = 0,041$) KS: /	ES: / KS: /
Palmieri-Smith et al. (14)	Niso opazovali.	ES: ↓ H_{maks}/M_{maks} razmerje na poškodovanem SU kot na nepoškodovanem SU ($p = 0,003$) KS: /	Niso opazovali.

ES – eksperimentalna skupina, KS – kontrolna skupina, ↓ – manjše, ↑ – večje, SU – spodnji ud, / – ni bilo statistično značilne razlike.

Preglednica 3: Primerjava med skupinami

Raziskava	m. soleus	m. peroneus longus	m. tibialis ant.
Kim et al. (17)	↓ $H_{maks.}/M_{maks.}$ razmerje v ES kot v KS (oba SU proti obema SU) ($p = 0,013$)	/	/
Klykken et al. (15)	/	/	↑ razlika med obema SU znotraj ES kot znotraj KS ($p = 0,04$)
Bowker et al. (16)	↓ $H_{maks.}/M_{maks.}$ razmerje v ES1 v primerjavi z ES2 ($p = 0,01$) in s KS ($p = 0,04$) Med ES2 in KS ni bilo SZ razlike ($p > 0,05$).	Niso opazovali.	Niso opazovali.

↓ – manjše, ↑ – večje, ES – eksperimentalna skupina, KS – kontrolna skupina, SU – spodnji ud, / – ni bilo statistično značilne razlike, ES1 – preiskovanci z zgodovino poškodbe in nestabilnostjo, ES2 – preiskovanci z zgodovino poškodbe in brez nestabilnosti (angl. copers).

razmerjih $H_{maks.}/M_{maks.}$ pri m. soleus v ES so poročali v dveh raziskavah (16, 17). Bowker in sodelavci (16) so statistično značilno razliko v aktivaciji m. soleus ugotovili tako pri primerjavi ES1 z ES2 kot tudi v primerjavi s pravo KS (brez zgodovine poškodbe). Med ES2 in KS pa statistično pomembne razlike v aktivaciji m. soleus ni bilo (16). V eni raziskavi razlike med ES in KS pri m. soleus ni bilo (15). Prav tako v nobeni izmed dveh raziskav, v katerih so opazovali m. peroneus longus in primerjali rezultate med skupinama, razlike med ES in KS ni bilo (15, 17). V eni izmed dveh raziskav, v katerih so primerjali aktivnost m. tibialis anterior med skupinama (razlika med obema SU), so poročali o statistično značilno večji razliki med v ES kot v KS (15). V drugi raziskavi o taki razliki niso poročali (17). Rezultati primerjave med skupinami so povzeti v preglednici 3.

RAZPRAVA

Rezultati v pregled vključenih raziskav nakazujejo na to, da je po zvinu gležnja oziroma pri nestabilnosti gležnja zmanjšano z EMG merjeno razmerje $H_{maks.}/M_{maks.}$ pri m. soleus in m. peroneus longus, kar kaže na prisotnost artrogene mišične inhibicije.

V dveh vključenih raziskavah so opazovali spremembo v aktivaciji mišic po akutnem zvinu gležnja (15, 17). V obeh raziskavah so ugotovili inhibicijo m. soleus (15, 17), v eni pa so poleg tega poročali tudi o povečani aktivaciji m. tibialis anterior (15). Avtorji te raziskave povečano aktivacijo dorzalnih fleksorjev in zmanjšano plantarnih fleksorjev razlagajo kot refleksni zaščitni

mehanizem, ki zmanjša obremenitev na (ob)sklepne strukture, saj zagotovi udoben položaj sklepa v mirovanju (15). AMI kot zaščitni mehanizem razlagajo tudi drugi avtorji (9).

Predvideva se, da pojav AMI ni povezan z akutnimi simptomi oziroma specifičnimi spremembami na lokalni ravni, temveč gre za centralne mehanizme na ravni hrbtenjače ali celo supraspinalno. Tako se ujemajo ugotovitve, da inhibicija m. soleus v vključenih raziskavi ni bila povezana z jakostjo kateregakoli akutnega simptoma po poškodbi (bolečina, oteklina, samo poročana zmanjšana funkcija) (17). Dodatno to potrjujejo Palmieri in sodelavci (19), ki po simulirani oteklini zdravega gležnja niso ugotovili inhibicije, temveč facilitacije mišic okoli sklepa (19).

Poleg tega na centralne mehanizme, ki sodelujejo pri pojavu AMI (20), kaže tudi prisotnost bilateralne inhibicije m. soleus, o kateri so po akutnem zvinu poročali v eni vključenih raziskavi (17). Nasprotno bilateralne inhibicije v drugi vključenih raziskavi niso potrdili, saj so poročali o mišični inhibiciji le na poškodovanem SU (15). Razlika med raziskavama je v številu preiskovancev, saj je prva v vsaki skupini vključevala 30 preiskovancev (17), druga pa le 10 (15). Izračunana potrebna velikost vzorca se je v obeh raziskavah gibala med 9 in 15, vendar so, da bi oblikovali trdnejše zaključke, Kim in sodelavci (17) velikost vzorca podvojili. Verodostojnost njihove raziskave je tako večja, prav tako pa se njihovi rezultati ujemajo tudi s predhodnimi raziskavami, v katerih so ugotovili bilateralno poslabšanje ravnotežja po akutnem

zvinu gležnja (21), in raziskavami, v katerih so bilateralno zmanjšanje hotene aktivacije m. quadriceps femoris ugotovili po poškodbi kolenskega sklepa (22, 23, 10).

Videti je, da je bilateralna inhibicija prisotna samo po akutnem zvinu gležnja. Naši rezultati namreč kažejo, da je pri osebah s kroničnimi težavami po zvinu gležnja prisotna le unilateralna inhibicija m. peroneus longus (13, 14) in m. soleus (13, 16). Ti dve mišici imata pomembno vlogo tudi pri dinamični stabilizaciji gležnja. Zmanjšana ekscentrična moč oziroma aktivacija m. peroneus longus je povezana z večjim tveganjem za (ponovni) zvin gležnja (24). Rezultati o unilateralni inhibiciji m. peroneus longus in m. soleus se ujemajo tudi z rezultati predhodno opravljene metaanalize, ki prav tako potrjuje prisotnost unilateralne mišične inhibicije teh dveh mišic pri osebah s kronično nestabilnostjo (7). Rezultati ene vključene raziskave se ujemajo s teorijo, da so pri AMI tudi pri osebah s kronično nestabilnostjo verjetno bolj prisotni centralni kot lokalni mehanizmi uravnavanja mišične aktivacije. Poročajo namreč, da je bila aktivacija m. soleus zmanjšana le pri osebah z zgodovino zvina gležnja in prisotno nestabilnostjo, ne pa tudi pri osebah z zgodovino zvina gležnja in brez prisotne nestabilnosti (16). To se prav tako ujema z ugotovitvami, da nestabilnost gležnja ni nujno povezana z mehansko nestabilnostjo oziroma povečano laksnostjo sklepa, temveč gre bolj za živčno-mišične spremembe, ki so prisotne dalj časa po poškodbi (5–7). Pri osebah s kronično nestabilnostjo so zaznali tudi ipsilateralno inhibicijo pri m. quadriceps femoris in mišični skupini fleksorjev kolena, torej v proksimalnih mišičnih skupinah (25).

Rezultati našega pregleda kažejo, da je pri osebah po akutnem zvinu oziroma s kronično nestabilnostjo prisotna inhibicija m. soleus in m. peroneus longus. Zato je pri rehabilitaciji pomembno ustrezno obravnavati tudi AMI. Z obravnavo in odpravo AMI bi lahko izboljšali živčno-mišični nadzor oziroma dinamično nestabilnost, kar bi lahko vplivalo na manjšo incidenco ponovnih poškodb. Dokazano učinkoviti disinhibitorni tehniki sta pri osebah po rekonstrukciji sprednje križne vezi krioterapija in terapevtska vadba (26), pri osebah s kronično nestabilnostjo gležnja pa sta prav tako učinkoviti

krioterapija ter transkranijska magnetna stimulacija (27). Te tehnike bi bilo v prihodnje smiselno preveriti tudi pri osebah z akutnim zvinom gležnja, pri osebah s kronično nestabilnostjo pa bi bilo smiselno preveriti učinek terapevtske vadbe kot disinhibitorne tehnike.

Omejitvi našega pregleda literature sta majhno število vključenih raziskav in nehomogena populacija. Zaradi raznolikosti metodologije (opazovane mišice in poročani izidi) v vključenih raziskavah je oblikovanje trdnih zaključkov težko.

ZAKLJUČEK

Na podlagi pregleda literature smo ugotovili, da je pri osebah po zvinu gležnja oziroma z nestabilnostjo gležnja prisotna AMI, ki se kaže predvsem kot zmanjšana aktivacija m. soleus in m. peroneus longus. Inhibicija je v akutni fazi prisotna bilateralno, mehanizmi AMI pa najverjetneje niso pod lokalnim nadzorom, temveč spinalnim in supraspinalnim (20). Za oblikovanje trdnih zaključkov o prisotnosti AMI pri patologijah gležnja so potrebne dodatne raziskave, v katerih naj se osredotočijo tudi na možnosti odprave AMI po poškodbah oziroma pri nestabilnosti gležnja.

LITERATURA

1. Doherty C, Delahunt E, Caulfield B, Hertel J, Ryan J, Bleakley C (2014). The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. *Sports Med* 44(1): 123–40.
2. Hertel J (2002). Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *J Athl Train* 37(4): 364–75.
3. McKay GD, Goldie PA, Payne WR, Oakes BW (2001). Ankle injuries in basketball: injury rate and risk factors. *Br J Sports Med* 35(2): 103–8.
4. van Rijn RM, van Os AG, Bernsen RM, Luijsterburg PA, Koes BW, Bierma-Zeinstra SM (2008). What is the clinical course of acute ankle sprains? A systematic literature review. *Am J Med* 121(4): 324–31.
5. Gribble PA, Bleakley CM, Caulfield BM, Docherty CL, Fouchet F, Fong DT, Hertel J, Hiller CE, Kaminski TW, McKeon PO, Refshauge KM, Verhagen EA, Vicenzino BT, Wikstrom EA, Delahunt E (2016). Evidence review for the 2016 International Ankle Consortium consensus statement on the prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains. *Br J Sports Med* 50(24): 1496–505.

6. Gribble PA, Delahunt E, Bleakley CM, Caulfield B, Docherty CL, Fong DT, Fouchet F, Hertel J, Hiller CE, Kaminski TW, McKeon PO, Refshauge KM, van der Wees P, Vicenzino W, Wikstrom EA (2014). Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium. *J Athl Train* 49(1): 121–7.
7. Kim KM, Kim JS, Cruz-Díaz D, Ryu S, Kang M, Taube W (2019). Changes in spinal and corticospinal excitability in patients with chronic ankle instability: a systematic review with meta-analysis. *J Clin Med* 8(7): 1037.
8. Freeman MA, Dean MR, Hanham IW (1965). The etiology and prevention of functional instability of the foot. *J Bone Joint Surg Br* 47(4): 678–85.
9. Hopkins JT, Ingersoll CD (2000). Arthrogenic Muscle inhibition: a limiting factor in joint rehabilitation. *J Sport Rehabil* 9(2): 135–59.
10. Urbach D, Awiszus F (2002). Impaired ability of voluntary quadriceps activation bilaterally interferes with function testing after knee injuries. A twitch interpolation study. *Int J Sports Med* 23(4): 231–6.
11. Sonnery-Cottet B, Hopper GP, Gousopoulos L, Thauinat M, Fayard JM, Freychet B, Ouanezar H, Cavaignac E, Saithna A (2022). Arthrogenic muscle inhibition following knee injury or surgery: pathophysiology, classification, and treatment. *VJSM* 2 (3).
12. Palmieri RM, Ingersoll CD, Hoffman MA (2004). The hoffmann reflex: methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research. *J Athl Train* 39(3): 268–77.
13. McVey ED, Palmieri RM, Docherty CL, Zinder SM, Ingersoll CD (2005). Arthrogenic muscle inhibition in the leg muscles of subjects exhibiting functional ankle instability. *Foot Ankle Int* 26(12): 1055–61.
14. Palmieri-Smith RM, Hopkins JT, Brown TN (2009). Peroneal activation deficits in persons with functional ankle instability. *Am J Sports Med* 37(5): 982–8.
15. Klykken LW, Pietrosimone BG, Kim KM, Ingersoll CD, Hertel J (2011). Motor-neuron pool excitability of the lower leg muscles after acute lateral ankle sprain. *J Athl Train* 2011 46(3): 263–9.
16. Bowker S, Terada M, Thomas AC, Pietrosimone BG, Hiller CE, Gribble PA (2016). Neural excitability and joint laxity in chronic ankle instability, coper, and control groups. *J Athl Train* 51(4): 336–43.
17. Kim JS, Kim KM, Chang E, Jung HC, Lee JM, Needle AR (2022). Spinal reflex excitability of lower leg muscles following acute lateral ankle sprain: bilateral inhibition of soleus spinal reflex excitability. *Healthcare (Basel)* 10(7): 1171.
18. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Med* 6(7): e1000097.
19. Palmieri RM, Ingersoll CD, Hoffman MA, Cordova ML, Porter DA, Edwards JE, Babington JP, Krause BA, Stone MB (2004). Arthrogenic muscle response to a simulated ankle joint effusion. *Br J Sports Med* 38(1): 26–30.
20. Lepley AS, Lepley LK (2021). Mechanisms of arthrogenic muscle inhibition. *J Sport Rehabil* 31(6): 707–16. doi:10.1123/jsr.2020-0479.
21. Wikstrom EA, Naik S, Lodha N, Cauraugh JH (2010). Bilateral balance impairments after lateral ankle trauma: a systematic review and meta-analysis. *Gait Posture* 31(4): 407–14.
22. Pietrosimone BG, Lepley AS, Ericksen HM, Clements A, Sohn DH, Gribble PA (2015). neural excitability alterations after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train* 50(6): 665–74.
23. Urbach D, Nebelung W, Weiler HT, Awiszus F (1999). Bilateral deficit of voluntary quadriceps muscle activation after unilateral ACL tear. *Med Sci Sports Exerc* 31(12): 1691–6.
24. Witchalls J, Blanch P, Waddington G, Adams R (2012). Intrinsic functional deficits associated with increased risk of ankle injuries: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med* 46(7): 515–23. doi:10.1136/bjsports-2011-090137.
25. Sedory EJ, McVey ED, Cross KM, Ingersoll CD, Hertel J (2007). Arthrogenic muscle response of the quadriceps and hamstrings with chronic ankle instability. *J Athl Train* 42(3): 355–60.
26. Sonnery-Cottet B, Saithna A, Quelard B, et al. (2019). Arthrogenic muscle inhibition after ACL reconstruction: a scoping review of the efficacy of interventions. *Br J Sports Med* 53(5): 289–98.
27. Kim KM, Needle AR, Kim JS, An YW, Cruz-Díaz D, Taube W (2023). What interventions can treat arthrogenic muscle inhibition in patients with chronic ankle instability? A systematic review with meta-analysis. *Disabil Rehabil*: 1–16.