

Vpliv različnih fizioterapevtskih metod na zavestno aktivacijo mišice quadriceps femoris po pretrganju sprednje križne vezi

The influence of various methods of physiotherapy on volitional muscle activation of the quadriceps femoris muscle after anterior cruciate ligament rupture

Matic Špenko¹, Tina Žargi¹, Alan Kacin¹

IZVLEČEK

Uvod: Poškodbi in rekonstrukciji sprednje križne vezi sledi šibkost mišice quadriceps femoris, katere vzrok sta njena atrofija in zmanjšana zavestna aktivacija (centralna aktivacija), kar je zlasti posledica artrogene mišične inhibicije. Namen pregleda literature je bil ugotoviti učinek različnih fizioterapevtskih metod na spremembo centralne aktivacije mišice quadriceps femoris pri osebah po poškodbi in rekonstrukciji sprednje križne vezi. **Metode:** V pregled so bile zajete randomizirane kontrolirane raziskave in kohortne raziskave iz podatkovne zbirke PubMed. **Rezultati:** Glede na postavljena merila izbora smo v pregled vključili sedem raziskav. V treh so proučevali spremembo centralne aktivacije mišice quadriceps femoris po standardnem pooperativnem fizioterapevtskem protokolu, v štirih pa po različnih fizioterapevtskih metodah. Učinek standardnega protokola na izboljšanje centralne aktivacije ni nedvoumno dokazan, obstajajo pa dokazi o učinkovitosti ekscentrične vadbe, krioterapije in transkutane električne živčne stimulacije (TENS), aplicirane pred ali med vadbo proti upor. Slednje pomembno poveča učinek vadbe. **Zaključek:** Ekscentrična vadba ter krioterapija in TENS, aplicirana na poškodovan sklep pred ali med vadbo, lahko izboljšajo zavestno aktivacijo mišice quadriceps femoris in posledično povečajo prirast njene jakosti. Za dokončno potrditev učinkovitosti proučevanih metod so potrebne nadaljnje raziskave visoke kakovosti na večjem vzorcu.

Ključne besede: artrogena mišična inhibicija, centralna aktivacija mišic, krioterapija, TENS, ekscentrična vadba.

ABSTRACT

Background: Injury and reconstruction of anterior cruciate ligament are followed by atrophy and reduced volitional activation of neuro-motor centres, thus causing weakness of quadriceps femoris muscle. The latter is primarily due to arthrogenic muscle inhibition. The purpose of this review was to determine the effect of standard rehabilitation and specific therapeutic procedures on central activation of quadriceps femoris muscle in individuals after anterior cruciate ligament rupture. **Methods:** The review included randomized controlled trials and cohort studies from PubMed database. **Results:** Seven studies have been included in the review. Three studies measured changes in central activation ratio of the quadriceps femoris muscle after standard rehabilitation protocol and four after specific physiotherapeutic protocols. There is no direct evidence regarding efficiency of standard physiotherapeutic protocol on the improvements of central activation ratio, but evidences exist regarding beneficial effects of eccentric exercise, cryotherapy and transcutaneous electrical stimulation before and during resistance exercise. **Conclusions:** Eccentric exercise as well as cryotherapy and TENS applied to the injured joint before or during exercise can improve volitional activation of quadriceps femoris muscle, thus contributing to the increase in its strength. Further high quality studies on larger population are needed for more solid findings.

Key words: arthrogenic muscle inhibition, central activation, cryotherapy, TENS, eccentric exercise.

¹ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: asist. dr. Tina Žargi, dipl. fiziot.; e-pošta: tina.zargi@zf.uni-lj.si

Prispelo: 24.9.2018

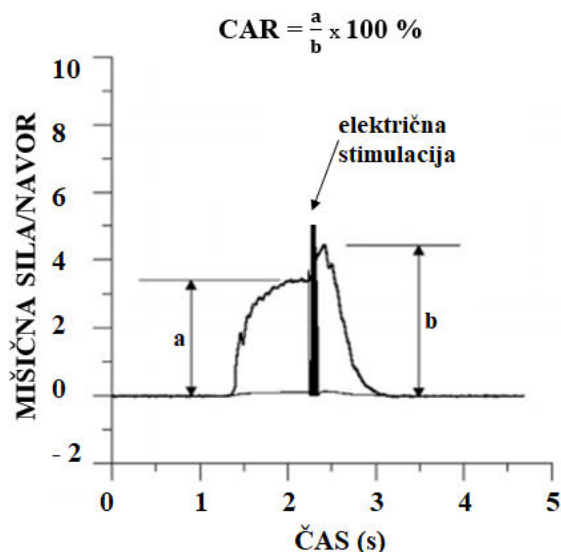
Sprejeto: 9.11.2018

UVOD

Pretrganje sprednje križne vezi (SKV) je ena izmed najpogostejših travmatskih poškodb kolenskega sklepa, ki je sicer pri človeku eden izmed najpogostejše poškodovanih sklepov (1, 2). Pretrganju navadno sledi rekonstrukcija, katere glavni namen je vzpostaviti funkcijo, čim bolj podobno nepoškodovani sprednji križni vezi (1, 3). Pretrganju in rekonstrukciji sprednje križne vezi sledi šibkost vseh stegenskih mišic operiranega uda, med katerimi je najizrazitejša in zato najpogostejše preučevana šibkost m. quadriceps femoris (4). Čeprav povsem natančni mehanizmi šibkosti omenjene mišice še niso znani, dokazi raziskav nakazujejo, da sta glavna vzroka za dolgotrajno šibkost mišice njena atrofija in zmanjšana sposobnost aktivacije mišice, kar se kaže z nezmožnostjo njene popolne hotene kontrakcije (5, 6). Aktivacijo ustrezne mišice povzročijo hoteni uravnavani descendenti dražljaji iz možganske skorje in spinalni refleksi, ki se modulirajo na ravni hrbtenjače. Ker je rekrutacija motoričnih enot torej regulirana iz centralnega živčnega sistema, tako vrsto mišične aktivacije imenujemo tudi centralna aktivacija mišice (7, 8). Do upada centralne aktivacije mišice po poškodbi in rekonstrukciji sprednje križne vezi pride zaradi več vzrokov, kot eden poglavitnih pa se izpostavlja artrogena mišična inhibicija (angl. *arthrogenic muscle inhibition*) (9). Poleg poškodb sklepnih struktur na artrogeno mišično inhibicijo pomembno vplivajo tudi vnetje, bolečina, sklepna oteklina in napetost sklepne ovojnice. Vse te spremembe povzročijo deformacijo mehanoreceptorjev v sklepu, kot so Paccinijeva telesca, Ruffinijeva vlakna, Golgijev kitni organ in prosti živčni končiči, ki posledično osrednjemu živčevju posredujejo spremenjene informacije o položaju in gibanju sklepa. Predvideva se, da te s facilitacijo inhibitornih Ib internevronov zlasti na ravni hrbtenjače povzročijo artrogeno inhibicijo (4, 6). K zmanjšani aktivaciji mišice poleg hrbteničnih povratnih zank zelo verjetno prispevajo tudi spremembe v aktivaciji motorične skorje, toda natančna vloga tega dela osrednjega živčevja pri artrogeni mišični inhibiciji še ni povsem pojasnjena (4, 6). Artrogena inhibicija naj bi bila sicer naravni zaščitni mehanizem telesa po poškodbi sklepa, ki z omejitvijo mišične sile na poškodovanem udju preprečuje dodatne poškodbe (10).

Zmanjšanje centralne aktivacije mišice imenujemo tudi primanjkljaj centralne aktivacije (angl. *central activation deficit*), ki se izrazi z razmerjem oziroma deležem centralne aktivacije (angl. *central activation ratio*), pri čemer 100-odstotni delež predstavlja popolno centralno aktivacijo ustrezne mišice oziroma 0-odstotni primanjkljaj (11, 12). Primanjkljaj osrednje aktivacije mišice se najpogostejše izmeri s kombinacijo maksimalne zavestne hotene mišične kontrakcije in živčno-mišične električne stimulacije. Ob preiskovančevi zavestni maksimalni hoteni kontrakciji se na mišico namesti električni skrček, ki aktivira in kontrahira tista mišična vlakna, ki zaradi primanjkljaja centralne aktivacije med hoteno aktivacijo niso bila aktivirana (13). Posledično se merjeni navor poveča. Ta sprememba navora predstavlja motorične enote, ki se med pacientovo hoteno aktivacijo niso aktivirale in kontrahirale, ter se uporabi za izračun deleža centralne aktivacije (14). Slika 1 prikazuje grafični primer meritve centralne aktivacije mišice z dodano električno stimulacijo in formulo za izračun deleža.

Za meritev deleža centralne aktivacije se najpogostejše uporabljata tehnika vlaka



Slika 1: Grafični prikaz meritve centralne inhibicije mišice z dodano električno stimulacijo in formulo za izračun deleža centralne aktivacije (*a* – vrednost mišične sile pred električno stimulacijo – zavestna maksimalna hotena kontrakcija preiskovanca, *b* – vrednost mišične sile po dodani električni stimulaciji)

superponiranih skrčkov (angl. *burst superimposition technique*) in tehnika vsiljenih skrčkov (angl. *interpolation twitch technique*) (11). Postopek izvedbe je pri obeh tehnikah podoben, le da pri tehniki vlaka supraponiranih skrčkov z električno stimulacijo perkutano stimuliramo mišico, pri tehniki vsiljenih skrčkov pa živec, ki oživčuje mišico, katere delež centralne aktivacije želimo izmeriti. Stopnja zanesljivosti omenjenih tehnik je odvisna predvsem od tega, ali bo preiskovanec resnično kontrahirati mišico v vsej svoji moči. Zanesljivost tehnike vsiljenih skrčkov naj bi bila v primerjavi z vlakom supraponiranih skrčkov višja, prav tako naj bi bili rezultati, pridobljeni s tehniko vsiljenih skrčkov, natančnejši v primerjavi s tehniko vlaka supraponiranih skrčkov (15, 16).

Standardni fizioterapevtski protokoli, ki sledijo rekonstrukciji sprednje križne vezi, niso primarno usmerjeni v izboljšanje centralne aktivacije mišic, katerih primanjkljaj se pojavi po poškodbi sklepa (6). Nezmožnost popolne hotene kontrakcije m. quadriceps femoris zaradi primanjkljaja naj bi bil eden izmed glavnih mehanizmov za klinično pomemben primanjkljaj v mišični jakosti po pretrganju in rekonstrukciji sprednje križne vezi, ki lahko vztraja še več let po posegu (5). Za zasnovo učinkovitejših fizioterapevtskih protokolov bi bilo koristno, da fizioterapevt ve, pri katerih pacientih se je pomanjkanje razvilo in koliko posamezne fizioterapevtske metode ali njihove kombinacije učinkujejo nanj (17). Obravnavanje artrogene inhibicije pred izvajanjem terapevtske vadbe bi lahko pripomoglo k aktivaciji večjega števila motoričnih enot med zavestno kontrakcijo in posledično večjega prirasta mišične jakosti z vadbo (18). V zgodnjem popoškodbenem in pooperativnem obdobju sta oteklina in bolečina verjetno glavna dejavnika, ki vplivata na spremembo centralne aktivacije mišice. Transkutana električna živčna stimulacija (angl. *transcutaneous electrical nerve stimulation* – TENS) in krioterapija naj bi po teoriji vrat zmanjšali priliv za pridobivanje jakosti neželenih senzornih informacij v osrednjem živčevju zaradi bolečine in otekline. Tako naj bi bili pacienti zmožni zavestno aktivirati večje število motoričnih enot med vadbo, kar lahko prispeva k večjemu izboljšanju centralne aktivacije in mišične jakosti m. quadriceps femoris (6, 19). Za povečanje

mišične jakosti po poškodbi in operaciji naj bi bili sicer koristni tudi živčno-mišična električna stimulacija in elektromiografska povratna zanka (20, 21).

Namen pregleda strokovne in znanstvene literature je bil analizirati učinke posameznih fizioterapevtskih metod na spremembo centralne aktivacije in inhibicije m. quadriceps femoris pri osebah po poškodbi sprednje križne vezi.

METODE

Vire smo iskali v medicinski in znanstveni podatkovni zbirki PubMed novembra in decembra 2017. Iskanje člankov ni bilo omejeno z letom objave ali specifično fizioterapevtsko metodo oziroma rehabilitacijskim protokolom. Iskanje literature je potekalo s pomočjo ključnih besed. Uporabljena je bila naslednja iskalna kombinacija: (ACL [title/abstract] OR anterior cruciate ligament [title/abstract]) AND quadriceps [title/abstract] AND (central activation ratio [title/abstract] OR twitch interpolation [title/abstract] OR superimposed burst technique). Vključili smo randomizirane kontrolirane poskuse in kontrolirane kohortne raziskave v angleškem jeziku. V vključenih raziskavah so bili preiskovanci osebe po poškodbi sprednje križne vezi. Avtorji vključenih raziskav so samostojno ali v kombinaciji z drugimi spremenljivkami opazovali centralno aktivacijo m. quadriceps femoris. Izključili smo raziskave, v katerih avtorji v svojem raziskovalnem delu niso proučevali m. quadriceps femoris, raziskave, v katerih so imeli preiskovanci druge poškodbe ali obolenja, kot je poškodba sprednje križne vezi, in poročila o primeru.

REZULTATI

Glede na postavljena merila izbora smo v pregled vključili sedem raziskav, objavljenih med letoma 2001 (22) in 2017 (23). Avtorji so v svojih raziskavah pri preiskovancih med drugim merili in primerjali centralno aktivacijo m. quadriceps femoris v različnih časovnih obdobjih po pretrganju sprednje križne vezi.

Skupno je v sedmih raziskavah sodelovalo 234 preiskovancev, v posamezni raziskavi od 20 (23) do 54 (24). Razpon povprečne starosti preiskovancev je bil od $19,9 \pm 5,1$ (24) do $31,6 \pm 13,0$ let (25). Vključili smo osebe od povprečno

1,2 meseca (26) do 2,8 leta (18) po pretrganju sprednje križne vezi. Preiskovanci so imeli po njeni rekonstrukciji uporabljene različne vrste presadkov. V petih raziskavah so prvo meritev opravili pred rekonstrukcijo (17, 22, 24–26), v dveh pa po rekonstrukciji sprednje križne vezi, a pred izbranim terapevtskim protokolom (18, 23). V šestih raziskavah so drugo meritev opravili neposredno po eksperimentalnem protokolu (17, 18, 23, 24–26), v eni raziskavi pa so drugo meritev opravili približno dve leti po operaciji, da bi ugotavljali dolgoročni učinek rekonstrukcije in standardnega pooperativnega protokola na centralno aktivacijo m. quadriceps femoris (22).

V treh raziskavah so merili spremembo deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris po standardnem pooperativnem protokolu (22, 24, 26), v štirih raziskavah pa so avtorji ugotavljali učinke posameznih fizioterapevtskih metod na spremembo deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris (17, 18, 23, 25).

Standardni pooperativni fizioterapevtski protokol je predstavljal sedemmesečno rehabilitacijo, ki je sledila rekonstrukciji sprednje križne vezi. Sestavljen je bil iz dveh do treh terapij na teden, katerih namen je bil s postopnimi tehnikami pasivnega razgibavanja, mobilizacije, progresivnimi vajami proti upor, z vajami v zaprti in pozneje odprti kinetični verigi ter z razteznimi vajami izboljšati funkcijsko sposobnost kolenskega sklepa in jo približati tisti pred poškodbo vezi. V raziskavah, v katerih so avtorji proučevali standardni pooperativni fizioterapevtski protokol, so v dveh ob drugi meritvi preiskovancem izmerili povečan delež osrednje aktivacije m. quadriceps femoris (22, 26), v dveh pa njegovo zmanjšanje (17, 24). Lepley in Palmieri-Smith (24) poročata o statistično pomembnem zmanjšanju razmerja ($p \leq 0,001$) na spodnjem udu, na katerem je bila narejena rekonstrukcija po pretrgani sprednji križni vezi. Lepley in sodelavci (26) so izmerili statistično pomembno izboljšanje deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris tako na poškodovanem ($p = 0,003$) kot tudi na nepoškodovanem udu ($p = 0,01$) šest mesecev po rekonstrukciji. Urbach in sodelavci (22) so izmerili statistično značilno izboljšanje deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris na obeh udih ($p = 0,006$).

V vseh omenjenih raziskavah so bili preiskovanci deležni enakega ali podobnega standardnega rehabilitacijskega protokola. Urbach in sodelavci (22) so za pridobitev vrednosti deleža centralne aktivacije uporabili ITT, Lepley in Palmieri-Smith (24) ter Lepley in sodelavci (26) pa so uporabili BST. Največje izboljšanje v deležu centralne aktivacije so pri preiskovancih v svoji raziskavi dobili Urbach in sodelavci (22), največje poslabšanje pa sta pri preiskovancih v svoji raziskavi izmerila Lepley in Palmieri-Smith (24). Rezultati meritev deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris posameznih raziskav so predstavljeni v preglednici 1. Vrednosti predstavljajo povprečje meritev ($\pm$ standardni odklon), navedene so vrednosti meritev za poškodovan spodnji ud.

V štirih raziskavah so se ciljano osredotočali na preučevanje specifičnih fizioterapevtskih metod. Avtorji so pri različnih skupinah preiskovancev samostojno ali v kombinaciji z vadbo uporabili postopke, kot so TENS (25), krioterapija (18, 23), živčno-mišična električna stimulacija in ekscentrična vadba (17). Vadba je bila v omenjenih raziskavah sestavljena iz progresivnih vaj za moč in iz razteznih vaj za spodnji ud ter vaj za ravnotežje. Preiskovanci so jo izvajali vsak dan, in sicer dvakrat na teden, pod nadzorom terapevta, druge dni pa po ustreznih navodilih doma. Avtorji, ki so kot intervencijo uporabili kombinacijo krioterapije in vadbe (18, 23), so preiskovancem neposredno pred vadbo proti upor na anteriorno in posteriorno stran poškodovanega kolenskega sklepa dali za 20 minut zmlet led v dveh vrečkah (velikosti 1,5 l). Omenjeno terapijo so preiskovanci izvajali štirikrat na teden, in sicer dva tedna. Skupina preiskovancev, ki je bila deležna le

Preglednica 1: Rezultati meritev deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris na poškodovanem udu pred standardnim pooperativnim fizioterapevtskim protokolom in po njem

Raziskava	Vrednosti CAR (%)	
	Prva meritev	Končna meritev
Lepley, Palmieri-Smith (24)	94,0 $\pm$ 5,8	88,8 $\pm$ 9,1
Lepley in sod. (26)	83,1 $\pm$ 8,1	91,2 $\pm$ 6,2
Urbach in sod. (22)	74,9 $\pm$ 3,5	85,3 $\pm$ 2,5

CAR: delež centralne aktivacije

krioterapije (18), je dva tedna vsak dan izvajala izključno postopek krioterapije. Avtorji, ki so kot intervencijo uporabili kombinacijo vadbe in TENS-a (25), so preiskovancem namestili štiri samolepilne elektrode, velike 5 cm krat 9 cm, nad in pod kolenski sklep ter med izvajanjem vadbe proti uporabi izvajali TENS (bifazični tok, $v = 150$ Hz, trajanje impulza 150 μ s, intenzivnost pod motoričnim pragom) štirikrat na teden dva tedna. Avtorji (17), ki so pri preiskovanih skupinah uporabili metodo električne stimulacije, so dvakrat na teden v prvih šestih tednih po rekonstrukciji preiskovancem izvajali živčno-mišično stimulacijo m. quadriceps femoris ($v = 2500$ Hz, izmenični tok, izbruh impulzov = 75 Hz, čas naraščanja intenzivnosti = 2 s, maksimalna še prenesljiva intenzivnost dražljaja). Preiskovane skupine, ki so izvajale ekscentrično vadbo (17), so šest tednov dvakrat na teden delale tri serije po deset izokinetičnih ekscentričnih kontrakcij m. quadriceps femoris s poškodovanim udom (premor med seti je bil dve minuti, intenzivnost pa 60 % njihovega ekscentričnega ponovitvenega maksimuma).

Kuenze in sodelavci (23), ki so v svoji raziskavi uporabili krioterapijo poškodovanega sklepa v kombinaciji z vadbo, so po izvedenem terapevtskem protokolu pri preiskovancih izmerili statistično značilno izboljšanje razmerja centralne aktivacije m. quadriceps femoris na poškodovanem udu ($p = 0,02$). Lepley in sodelavci (17) so pri skupini z ekscentrično vadbo izmerili klinično in statistično pomembno izboljšanje razmerja m. quadriceps femoris v primerjavi s skupino s standardnim rehabilitacijskim protokolom

($p = 0,01$) ali skupino z živčno-mišično električno stimulacijo ($p = 0,05$). Statistično pomembno izboljšanje v primerjavi s skupino s standardnim rehabilitacijskim protokolom so izmerili tudi pri skupini z ekscentrično vadbo in električno stimulacijo ($p = 0,04$). Hart in sodelavci (18) so največje izboljšanje razmerja m. quadriceps femoris izmerili pri skupini preiskovancev s krioterapijo in vadbo. Čeprav razlika v končnih meritvah pri tej skupini v primerjavi z drugimi ni statistično pomembna, jo avtorji interpretirajo kot klinično pomembno. Razlike v vrednostih deleža centralne aktivacije pred omenjeno intervencijo in po njej so namreč precejšnje in s 95-odstotnim intervalom zaupanja ne prečkajo ničle. Takšne vrednosti namigujejo tudi na možnost napake pri interpretaciji teh rezultatov kot statistično nepomembne. Hart in sodelavci (25) so pri vseh preiskovanih skupinah izmerili statistično pomembno izboljšanje deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris na operiranem udu po končanem dvotedenskem programu. Pri primerjavi rezultatov ob koncu raziskave med posameznimi skupinami niso ugotovili statistično pomembnih razlik, toda avtorji razlike med skupino preiskovancev z zgolj vadbo in drugima dvema skupinama kljub temu interpretirajo kot klinično pomembne z enako pojasnitvijo kot pri njihovi drugi raziskavi (18). Rezultati meritev razmerja centralne aktivacije m. quadriceps femoris posameznih raziskav so predstavljeni v preglednici 2. Vsi avtorji so vrednosti deleža pridobili z BST. Vrednosti predstavljajo povprečje meritev ($\pm$ standardni odklon), navedene so vrednosti meritev za poškodovan spodnji ud.

Preglednica 2: Rezultati meritev deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris na poškodovanem udu pri raziskavah, ki so uporabljale specifične fizioterapevtske postopke

Raziskava	Vrsta intervencije in velikost skupine	Vrednosti CAR (%)	
		Pred intervencijo	Po intervenciji
Kuenze in sod. (23)	krioterapija in vadba ($n = 10$)	86,5 $\pm$ 5,0	92,9 $\pm$ 6,0
Lepley in sod. (17)	električna stimulacija in ekscentrična vadba ($n = 8$)	95,7 $\pm$ 3,5	97,6 $\pm$ 2,8
	ekscentrična vadba ($n = 8$)	95,9 $\pm$ 4,5	98,1 $\pm$ 1,2
	električna stimulacija ($n = 10$)	97,4 $\pm$ 3,0	91,8 $\pm$ 4,6
	standardni rehabilitacijski protokol ($n = 10$)	94,9 $\pm$ 5,3	91,8 $\pm$ 9,0
Hart in sod. (18)	krioterapija ($n = 10$)	78,1 $\pm$ 4,4	80,4 $\pm$ 10,5
	vadba ($n = 10$)	73,3 $\pm$ 12,6	83,4 $\pm$ 8,4
	krioterapija in vadba ($n = 10$)	76,0 $\pm$ 10,6	88,2 $\pm$ 5,5
Hart in sod. (25)	vadba ($n = 10$)	72,1 $\pm$ 12,8	83,2 $\pm$ 13,8
	vadba in krioterapija ($n = 10$)	62,0 $\pm$ 18,6	77,7 $\pm$ 14,0
	vadba in TENS terapija ($n = 10$)	64,9 $\pm$ 12,9	78,5 $\pm$ 12,1

CAR: delež centralne aktivacije

RAZPRAVA

Izmed pregledanih raziskav, v katerih so avtorji proučevali učinek standardnega fizioterapevtskega protokola, so v dveh preiskovancem izmerili povečan delež centralne aktivacije m. quadriceps femoris (22, 26), v dveh pa njegovo zmanjšanje (17, 24). Nasprotujoči si rezultati pregledanih raziskav bi lahko bili posledica različnih časovnih okvirov izvajanja meritev in uporabe različnih tehnik za izvedbo meritev. Urbach in sodelavci (22) so največje izboljšanje deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris verjetno izmerili zato, ker so imeli od vseh zgoraj omenjenih raziskav največji časovni razmik med posameznima meritvama. Preiskovanci so bili po končanem standardnem protokolu pred drugo meritvijo še nekaj mesecev aktivni v vsakdanjem življenju ali športu. Avtorji te raziskave so izmed vseh zgoraj omenjenih tudi edini uporabili tehniko vsiljenih skrčkov za določitev deleža centralne aktivacije mišice. Lepley in sodelavci (26) pa so izboljšanje deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris verjetno izmerili zato, ker so prvo meritev opravili bližje poškodbi sprednje križne vezi kot Lepley in Palmieri-Smith (24) ter Lepley in sodelavci (17). Zaradi zgodnejše prve meritve je bil kolenski sklep v akutnejšem stanju kot pri drugih dveh raziskavah, zato sta bili verjetno oteklina in bolečina večji in posledično vrednosti deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris nižje. Pomanjkljivost je v tem, da raziskave niso merile stopnje bolečine in otekline. Našo domnevo lahko podpremo z dejstvom, da so vrednosti deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris raziskave Lepleyja in sodelavcev (26) ob prvi meritvi precej nižje v primerjavi z vrednostmi pri raziskavah Lepleyja in Palmieri-Smitha (24) ter Lepleyja in sodelavcev (17), pri končnih meritvah pa so te primerljive (glej preglednici 1 in 2). Lepley in Palmieri-Smith (24) ter Lepley in sodelavci (17), ki so v svoji raziskavi izmerili upad deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris, so torej prvo meritev izvedli pozneje po poškodbi sprednje križne vezi kot Lepley in sodelavci (26), svojo drugo meritev pa precej bližje rekonstrukciji kot Urbach in sodelavci (22). Ker naj bi glede na raziskave rekonstrukcija sprednje križne vezi povzročila celo večji primanjkljaj centralne aktivacije kot poškodba, je poslabšanje deleža centralne aktivacije torej tu pričakovano (24). Mogoč vzrok za razlike v zaključkih raziskav je

tudi uporaba različnih presadkov za namen rekonstrukcije sprednje križne vezi. Ker sta le Lepley in Palmieri-Smith (24) v svojo raziskavo vključila preiskovance, ki so imeli rekonstrukcijo narejeno z enakim presadkom, primerjava in povezava rezultatov raziskav z različnimi možnostmi uporabe presadka za rekonstrukcijo sprednje križne vezi tem pregledu literature nista mogoči. Med preiskovanci posameznih raziskav so verjetno tudi razlike v oteklini kolenskega sklepa in bolečini, kar posledično prinaša razlike v stopnji inhibicije m. quadriceps femoris. Pomanjkljivost raziskav je, da so le v eni izmed pregledanih raziskav (25) izmerili stopnjo bolečine in obseg otekline po fizioterapevtskem protokolu, kar nam onemogoča povezovanje deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris posameznih raziskav z omenjenima dejavnikoma. Povsem verjetno je tudi, da so stopnje telesnih dejavnosti in zmogljivosti preiskovancev različne, kar lahko prispeva k razlikam med ugotovitvami posameznih raziskav.

Na podlagi rezultatov pregledanih raziskav končnega sklepa glede učinkovitosti standardiziranega pooperativnega fizioterapevtskega protokola za spremembo primanjkljaja centralne aktivacije m. quadriceps femoris po poškodbi sprednje križne vezi ni mogoče podati. Ugotovimo lahko le, da standardni protokol po rekonstrukciji sprednje križne vezi primarno ni usmerjen v zmanjšanje primanjkljaja centralne aktivacije m. quadriceps femoris.

Rezultati raziskav, v katerih so uporabljali specifične fizioterapevtske metode, kažejo, da so po poškodbi in rekonstrukciji sprednje križne vezi za izboljšanje deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris koristni ekscentrična vadba ter TENS in krioterapija v kombinaciji z vadbo proti upor. Kljub vsemu rezultati pregledanih raziskav z gotovostjo ne potrdijo večje učinkovitosti kombinacije vadbe in krioterapije ali TENS-a v primerjavi z zgolj vadbo, saj Hart in sodelavci (18) ter Hart in sodelavci (25) ob koncu terapij niso izmerili statistično pomembnih razlik med preiskovanimi skupinami. Kljub temu avtorji omenjenih raziskav razlike med skupinami preiskovancev z vadbo in krioterapijo ali vadbo in TENS terapijo ter skupinami z le eno izmed omenjenih terapij opredeljujejo kot klinično

pomembne, kar pomeni, da lahko fizioterapevtska protokola, kot sta TENS in krioterapija, v kombinaciji z vadbo v kliničnem okolju opredelimo kot uspešna pri posameznikih po rekonstrukciji sprednje križne vezi. Ker naj bi bile spremembe v spinalnorefleksni vzdraženosti prisotne zgodaj v rehabilitacijskem procesu (prvih sedem mesecev), avtorji v tem časovnem obdobju za povečanje vzdraženosti omenjene centralne poti predlagajo TENS in krioterapijo v kombinaciji z vadbo (26, 27). Nasprotno naj bi bile spremembe v kortikospinalni vzdraženosti prisotne, ko se posamezniki vrnejo k aktivnostim, zato avtorji v tem časovnem obdobju predlagajo elektromiografsko povratno zanko (21). Glede na to, da sta TENS in krioterapija ciljno usmerjena na zmanjševanje oteklina in nadzorovanje bolečine, lahko s pridobljenimi rezultati pregledanih raziskav podpremo tudi domneve, da imata bolečina in oteklina kolenskega sklepa pomemben vpliv na zavestno aktivacijo m. quadriceps femoris. Čeprav nekateri avtorji v svojih raziskavah predlagajo tudi živčno-mišično električno stimulacijo kot učinkovit protokol za povečanje deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris, tega z našim pregledom literature ne moremo potrditi. Lepley in sodelavci (17) namreč v svoji raziskavi na skupini preiskovancev, ki so poleg ekscentrične vadbe prejeli omenjeno stimulacijo, niso ugotovili pomembno večjega izboljšanja aktivacije mišice kot pri skupini preiskovancev z zgolj ekscentrično vadbo. Pri skupini preiskovancev, ki je bila deležna le stimulacije, so izmerili celo poslabšanje aktivacije mišice. Je bila pa pri tej skupini po koncu obravnave prisotna najbolj normalna biomehanska simetrija udov, zato avtorji kljub vsemu zaključujejo, da živčno-mišična električna stimulacija ima neko dodano vrednost.

Pri interpretaciji rezultatov raziskav, ki pri preiskovancih merijo delež centralne aktivacije mišice, moramo upoštevati, da so lahko njegove izmerjene vrednosti podcenjene, če posameznik ne aktivira mišice, kolikor je najbolj mogoče (maksimalna hotena kontrakcija), ali precenjene, če dodaten električno izzvani skrček ne aktivira vseh mišičnih vlaken (28, 29). Primerjava rezultatov raziskav je otežena tudi zato, ker vključene raziskave niso uporabile enake tehnike za določanje deleža centralne aktivacije. Tehnika

vsiljenih skrčkov naj bi bila v primerjavi s tehniko vlaka superponiranih skrčkov namreč natančnejša pri določanju deleža centralne aktivacije m. quadriceps femoris (15). Glede na to, da oteklina in bolečina predstavljata velik dejavnik pri hoteni aktivaciji mišice, je lahko delež centralne aktivacije različen v različnih položajih sklepa (11). Spremembe, ki so jih avtorji izmerili, so lahko posledica naravne obnove in okrevanja sklepa (25). Verjetno je tudi, da so stopnje zmogljivosti in odgovor m. quadriceps femoris pri preiskovanih po poškodbi in rekonstrukciji sprednje križne vezi v posameznih raziskavah različni, kar lahko vpliva na rezultat. Ne nazadnje moramo upoštevati dejstvo, da tudi pri zdravih posameznikih delež centralne aktivacije mišic ni stoodstoten, pri večini znaša približno 95 % (17, 22).

Glavna pomanjkljivost našega pregleda literature sta majhno število vključenih raziskav in majhno število raziskav, v katerih so ugotavljali učinek specifičnih fizioterapevtskih metod. Tudi sicer je objavljenih precej malo raziskav, ki bi primerjale učinke posameznih fizioterapevtskih protokolov na spremembo deleža centralne aktivacije pri posameznikih po poškodbi sprednje križne vezi. Za trdnejše zaključke bi bile zato potrebne nadaljnje raziskave.

ZAKLJUČEK

Namen pregleda literature je bil ugotoviti učinek standardnega pooperativnega fizioterapevtskega protokola in specifičnih fizioterapevtskih metod na spremembo primanjkljaja centralne aktivacije m. quadriceps femoris, ki nastopi po poškodbi sprednje križne vezi. S pregledom literature smo ugotovili, da je pri posameznikih po poškodbi te vezi za izboljšanje centralne aktivacije oziroma zmanjšanje mišične inhibicije m. quadriceps femoris najučinkovitejša ekscentrična vadba. V kliničnem okolju sta za izboljšanje centralne aktivacije mišice koristna tudi krioterapija pred izvajanjem vadbe proti upor in TENS med izvajanjem vadbe proti upor, učinek živčno-mišične električne stimulacije pa ni potrjen. Na podlagi pregledanih raziskav ni mogoče dati enoznačnega odgovora glede učinkovitosti standardnega pooperativnega fizioterapevtskega protokola na spremembo centralne aktivacije oziroma inhibicije m. quadriceps femoris, saj

rezultati niso enoznačni. Rezultati pregleda so lahko v pomoč pri sestavi učinkovitejših fizioterapevtskih programov za posameznike po poškodbi in rekonstrukciji sprednje križne vezi. Z zmanjšanjem mišične inhibicije lahko posameznik zavestno aktivira večje število mišičnih vlaken med vadbo, kar se odraža v izboljšani mišični jakosti in funkciji m. quadriceps femoris.

LITERATURA

- Griffin LY, Albohm MJ, Arendt EA et al. (2006). Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries — a review of the Hunt Valley II Meeting, January 2005. *Am J Sports Med* 34 (9): 1512–32.
- Deitch J, Starker C, Walters S, Moseley J (2006). Injury risk in professional basketball players: A comparison of Women's National Basketball Association and National Basketball Association Athletes. *Am J Sports Med* 34 (7): 1077–83.
- Markatos K, Kaseta MK, Lallios SN, Korres DS, Efsthathopoulos N (2013). The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 23 (7): 747–52.
- Lepley AS, Ericksen HM, Sohn DH, Pietrosimone BG (2014). Contributions of neural excitability and voluntary activation to quadriceps muscle strength following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee* 21 (3): 736–42.
- Palmieri-Smith RM, Thomas AC (2009). A Neuromuscular mechanism of posttraumatic osteoarthritis associated with ACL injury. *Exerc Sport Sci Rev* 37 (3): 147–53.
- Hopkins JT, Ingersoll CD (2000) Arthrogenic muscle inhibition: a limiting factor in joint rehabilitation. *J Sport Rehab* 9 (2): 135–59.
- Stackhouse SK, Dean J, Lee SC, Binder-Macleod SA (2000). Measurement of central activation failure of the quadriceps femoris in healthy adults. *Muscle Nerve* 23 (11): 1706–12.
- Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM (1991). *Principles of neural science*. 3rd ed. Norwalk, CT: Appleton & Lange.
- Kimberly NF (2014). Reliability of measuring voluntary quadriceps activation using the burst superimposition and interpolated twitch techniques. Toledo: The University of Toledo, Theses and Dissertations.
- Gibbons CE, Pietrosimone BG, Hart JM, Saliba SA, Ingersoll CD (2010). Transcranial magnetic stimulation and volitional quadriceps activation. *J Athl Train* 45 (6): 570–9.
- Rice DA, McNair PJ (2010) Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: neural mechanisms and treatment perspectives. *Semin Arthritis Rheu* 40 (3): 250–66.
- Roberts D, Kuenze C, Saliba S, Hart JM (2012). Accessory muscle activation during the superimposed burst technique. *J Electromyogr Kinesiol* 22 (4): 540–5.
- Behm D, Power K, Drinkwater E (2001). Comparison of interpolation and central activation ratios as measures of muscle inactivation. *Muscle Nerve* 24 (7): 925–34.
- Knight CA, Kamen G (2008). Relationships between voluntary activation and motor unit firing rate during maximal voluntary contractions in young and older adults. *Eur J Appl Physiol* 103 (6): 625–30.
- Krishnan C, Williams GN (2011). Factors explaining chronic knee extensor strength deficits after ACL reconstruction. *J Ortop Res* 29 (5): 633–40.
- Grindstaff TL, Threlkeld AJ (2014). Optimal stimulation parameters to detect deficits in quadriceps voluntary activation. *J Strength Cond Res* 28 (2): 381–9.
- Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM (2015). Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *Knee* 22 (3): 270–7.
- Hart JM, Kuenze CM, Diduch DR, Ingersoll CD (2014). Quadriceps muscle function after rehabilitation with cryotherapy in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train* 49 (6): 733–9.
- Pietrosimone BG, Hart JM, Saliba SA, Hertel J, Ingersoll CD (2009). Immediate effects of transcutaneous electrical nerve stimulation and focal knee joint cooling on quadriceps activation. *Med Sci Sports Exerc* 41 (6): 1175–81.
- Kim KM, Croy T, Hertel J, Saliba S (2010). Effects of neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction on quadriceps strength, function, and patient-oriented outcomes: a systematic review. *J Orthop Sports Phys Ther* 40 (7): 383–91.
- Lepley AS, Gribble PA, Pietrosimone BG (2012). Effects of electromyographic biofeedback on quadriceps strength: a systematic review. *J Strength Cond Res* 26 (3): 873–82.
- Urbach D, Nebelung W, Becker R, Awiszus F (2001). Effects of reconstruction of the anterior cruciate ligament on voluntary activation of quadriceps femoris: a prospective twitch interpolation study. *J Bone Joint Surg Br* 83 (8): 1104–10.
- Kuenze CM, Kelly AR, Jun HP, Eltoukhy M (2017). Unilateral quadriceps strengthening with

- disinhibitory cryotherapy and quadriceps symmetry after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train* 52 (11): 1010–18.
24. Lepley LK, Palmieri-Smith RM (2016). Pre-operative quadriceps activation is related to post-operative activation, not strength, in patients post-ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24 (1): 236–46.
25. Hart JM, Kuenze CM, Pietrosimone BG, Ingersoll CD (2012). Quadriceps function in anterior cruciate ligament-deficient knees exercising with transcutaneous electrical nerve stimulation and cryotherapy: a randomized controlled study. *Clin Rehabil* 26 (11): 974–81.
26. Lepley AS, Gribble PA, Thomas AC, Tevald MA, Sohn DH, Pietrosimone BG (2015b). Quadriceps neural alterations in anterior cruciate ligament reconstructed patients: A 6-month longitudinal investigation. *Scand J Med Sci Sports* 25 (6): 828–39.
27. Hopkins JT, Ingersoll CD, Edwards J, Klootwyk TE (2002). Cryotherapy and transcutaneous electric neuromuscular stimulation decrease arthrogenic muscle inhibition of the vastus medialis after knee joint effusion. *J Athl Train* 37 (1): 25–31.
28. Lundberg M, Larsson M, Ostlund H, Styf J (2006). Kinesophobia among patients with musculoskeletal pain in primary health care. *J Rehabil Med* 38 (1): 37–43.
29. Hart JM, Pietrosimone BG, Hertel J, Ingersoll CD (2010). Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review. *J Athl Train* 45 (1): 87–97.