

AKUTNI UČINCI EKSCENTRIČNIH MIŠIĆNIH AKCIJA NA OSJEĆAJ ZA POZICIJU ZGLOBA ČOVJEKA: SUSTAVNI PREGLED LITERATURE I META-ANALIZA

Karuc, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:955313>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#) / [Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(studij za stjecanje akademskog naziva:

magistar kineziologije)

Ivan Karuc

**AKUTNI UČINCI EKSCENTRIČNIH MIŠIĆNIH
AKCIJA NA OSJEĆAJ ZA POZICIJU ZGLOBA
ČOVJEKA: SUSTAVNI PREGLED LITERATURE I
META-ANALIZA**

diplomski rad

Mentor:

prof.dr.sc. Goran Marković

Zagreb, rujan, 2021.

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završena verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

prof. dr. sc. Goran Marković

Student:

Ivan Karuc

AKUTNI UČINCI EKSCENTRIČNIH MIŠIĆNIH AKCIJA NA OSJEĆAJ ZA POZICIJU ZGLOBA ČOVJEKA: SUSTAVNI PREGLED LITERATURE I META-ANALIZA

Sažetak

Cilj ovog sustavnog preglednog rada i meta-analize bio je utvrditi veličinu akutnih učinaka ekscentričnih mišićnih akcija na osjećaj za poziciju zgloba koljena kod zdravih odraslih osoba. S tim ciljem, sustavno su pretražene tri relevantne elektroničke baze podataka: PubMed, Scopus i Web of Science. U sustavni pregled i meta-analizu uključene su studije koje su proučavale akutne učinke ekscentričnih mišićnih akcija na osjećaj za poziciju zgloba koljena mjerenog i izražavanog putem apsolutne pogreške u poziciji zgloba. Inicijalnom pretragom je dobiveno 450 studija, dok je u kvalitativnu analizu uključeno 8 studija, te je isti broj studija podvrgnut meta-analizi prema modelu slučajnih učinaka. Napravljen je niz od 6 zasebnih meta-analiza podijeljenih u odnosu na: 2 vremenske točke testiranja osjećaja za poziciju zgloba (testiranje 1 sat nakon intervencije i 1 dan nakon intervencije) i 3 podgrupe definirane prema veličini kuta fleksije u koljenu prilikom testiranja osjećaja za poziciju zgloba (mali, srednji i veliki kut). Sumarni efekti i rezultati meta-analiza prikazani su putem standardiziranih razlika aritmetičkih sredina i 95%-tnih intervala pouzdanosti SRAS (95% IP), uz razinu statističke značajnosti $p < 0,001$. Rezultati meta-analiza utvrdili su statistički značajno narušen osjećaj za poziciju zgloba ($p < 0,001$), bez obzira na veličinu kuta i vremensku točku testiranja osjećaja za poziciju zgloba nakon ekscentričnih mišićnih akcija: 1h; mali kut: -1,55 (-2,15 do -0,95), srednji kut: -1,26 (-1,71 do -0,80), veliki kut: -1,17 (-1,63 do -0,71) / 1 dan; mali kut: -1,26 (-1,76 do -0,76), srednji kut: -1,29 (-2,08 do -0,49), veliki kut: -1,31 (-1,97 do -0,66). Uz meta-analize napravljene su i univarijatne meta-regresijske analize za sljedeće kovarijable: spol, ukupan broj kontrakcija, pad sile 1 sat nakon intervencije i pad sile 1 dan nakon intervencije. Meta-regresijskim analizama utvrđena je statistički značajna ($p < 0,05$) povezanost između pada sile 1 dan nakon intervencije i apsolutne pogreške u osjećaju za poziciju zgloba testiranog pri malom i velikom kutu, 1 dan nakon intervencije. S obzirom na robusne i konzistentne rezultate 6 meta-analiza, zaključujemo da ekscentrične mišićne akcije akutno narušavaju osjećaj za poziciju zgloba koljena.

Ključne riječi: mišićna (kontr)akcija, kinestezija, propriocepcija, koljeno

ACUTE EFFECTS OF ECCENTRIC MUSCLE ACTIONS ON JOINT POSITION SENSE IN HUMAN: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW AND META-ANALYSIS

Abstract

The aim of this systematic review and meta-analysis was to determine the magnitude of acute effects of eccentric muscle actions on knee joint position sense in healthy adult population. Accordingly, three relevant electronic databases were systematically searched: PubMed, Scopus and Web of Science. Studies included in this systematic review and meta-analysis were those which investigated acute effects of eccentric muscle actions on knee joint position sense measured and expressed via joint position sense absolute error. Initial search yielded 450 studies, while 8 studies were included in qualitative analysis and the same number of studies was subjected to random-effects meta-analysis. A series of 6 separated meta-analyses were done according to: 2 time points in which joint position sense was tested (testing done at 1 hour after intervention and 1 day after intervention) and 3 subgroups which were defined according to the size of knee flexion angle in joint position sense testing protocol (small, moderate and large angle). Summary effects and results of meta-analyses were presented as standardized mean differences with 95% confidence intervals, while statistical significance was set at $p < 0,001$. Results of meta-analyses showed statistically significant decrease in joint position sense ($p < 0,001$), no matter which angle size and time point was taken into account: 1 hour; small angle: -1,55 (-2,15 to -0,95), moderate angle: -1,26 (-1,71 to -0,80), large angle: -1,17 (-1,63 to -0,71); and 1 day; small angle: -1,26 (-1,76 to -0,76), moderate angle: -1,29 (-2,08 to -0,49), large angle: -1,31 (-1,97 to -0,66). Along with meta-analyses, univariate meta-regressions were performed on next covariates: sex, total number of contractions, force drop at 1 h post intervention and force drop at 1 day post intervention. Meta-regressions revealed statistically significant ($p < 0,05$) relation between force drop at 1 day post intervention on joint position sense absolute error tested at small and large angles, 1 day post intervention. Considering the robust and consistent results of 6 meta-analyses, it can be concluded that eccentric muscle actions acutely decrease knee joint position sense.

Keywords: muscle (contr)actions, kinesthesia, proprioception, knee

ZAHVALA I MOJ KINEZIOLOŠKI PUT

Ovu priliku iskoristio bih da se zahvalim svima od kojih sam tijekom života ponešto naučio i od kojih ću još učiti do kraja života. U životu sam uistinu učio od velikog broja različitih stručnjaka i znanstvenika, učitelja i profesora, prijatelja i poznanika, filozofa i mudraca različitih kultura, pravaca razmišljanja, škola učenja i sfera djelovanja. Međutim, iako sam učio od brojnih ljudi, temelj moje svijesti i postojanja su postavili moji roditelji Ruđer i Mirjana. Oni su me ukrcali na „brod” života. Tijekom odrastanja oni su mi omogućili da imam sve preduvjete za ispunjavanjem svoje životne svrhe i za onim čime se ja želim baviti, a to je pomaganje drugim ljudima kroz prizmu kineziologije. Zahvaljujem im se što su uvijek i bezrezervno bili uz mene kad je more bilo mirno, ali i kad su bili veliki valovi i oluje. Bez mojih roditelja, nebi bilo mog putovanja, pa tako ni ovog diplomskog rada. S druge strane, sa strane kineziologije kao znanosti i struke, smatram da se najviše moram zahvaliti osobama od kojih sam najviše naučio : starijem bratu Josipu i mom mentoru prof.dr.sc.Goranu Markoviću. Obojica su zaslužna za moj intelektualni razvoj u području kineziologije, ali i za ono što je još bitnije, za „moj” razvoj svijesti i osobnosti. Za Josipa mogu reći da je on uvelike zaslužan za početak (otkrivanje kineziološke mape) mojeg putovanja proučavanja kineziologije, dok je profesor zaslužan za određivanje kursa tog putovanja kojemu je cilj spoznavanje istine o procesima koji se događaju u nama i oko nas. To putovanje je vrlo zanimljivo i dinamično, ono zahtjeva konstantno promišljanje, preispitivanje sebe i drugih, rješavanje vlastitog ega i nerijetko promjenu kursa razmišljanja za 180°. Između ostalog dio tog putovanja je bilo i pisanje ovog diplomskog rada.

Josip je inače moj stariji brat. Zbog relativno male razlike u godinama, velik dio mog životnog putovanja Josip i ja smo bili na istom brodu i putovanju. Čestim i gotovo svakodnevnim „mitinzima” satima smo razglabali o različitim zanimljivim stručnim i nestručnim temama, znanosti, sportu, filozofiji, umjetnosti, smislu i besmislu, duhovnosti.. Upravo su ta druženja s Josipom nesvjesno djelovala na razvoj mog kritičkog razmišljanja i na promišljanje o svijetu oko nas. Osim „mitinga”, često smo se kao djeca bavili proučavanjem i spoznavanjem života na različite načine. Sa 7 godina smo uz maminu pomoć napravili svoj prvi biokemijski laboratorij „Atomos”, kasnije smo zajedno spajali strujne krugove i radili različite izume, organizirali „male olimpijske igre” i cirkus, gradili kućice na stablu s ocem, a danas zajedno pišemo znanstvene

radove. Upravo smatram da je taj životni tijek i učenje od starijeg brata uvelike utjecalo na moj znanstveni, duhovni i moralni razvoj. Kasnije je Josip upisao i završio Kineziološki fakultet, te razgovori s njim ponukali su me da počnem kao i on istraživati zašto se događaju brojne fiziološke i anatomske promjene kod korištenja tijela na različite načine. Radi toga ti se Josipe beskrajno zahvaljujem. Naposljetku, Josip je odgovoran za moje upoznavanje s prof.dr.sc.Markovićem, mentorom ovog diplomskog rada.

Profesora Markovića sam upoznao još prije fakulteta tijekom jedne terapije kojom mi je riješio višegodišnje bolove s palcem. Već sam tada uvidio koliko je on uistinu eruditna osoba. Tijekom mog fakultetskog obrazovanja i neformalnih seminara profesor je odgovarao na moja brojna (često dosadna) pitanja koja mi nisu bila jasna. Njegovi odgovori su uvijek odzvanjali posebnom dubinom i smisljenošću i inspirirali su me na daljnje propitkivanje dosadašnjih spoznaja. Tijekom putovanja mojim brodom, često sam profesora pitao da mi da ribu, međutim on mi ju nije jednostavno dao ili poklonio, već me s puno strpljenja učio i inspirirao kako da samostalno upecam ribu. To je odlika vrhunskih učitelja i vrhunskih ribara, koji umjesto da Vam daju gotovo riješenje, daju Vam alate da sami riješite taj, ali i svaki drugi „problem” na koji naiđete. Dobar ribar će Vam dati ribu, iskusni ribar će Vas naučiti kako da sami pecate, ali rijetko koji ribar će Vas još i inspirirati da lovite sa strašću. Moj mentor je upravo mene uspio inspirirati da tragam za istinom, te sam tako inspiriran lako učio i napredovao tijekom fakultetskih dana. Profesor je uvijek nalazio vrijeme za mene, nesebično dijelio ideje i znanje samnom, poticao me na rad i dugotrajnim razgovorima oblikovao mene kao tragača (kineziologa), ali i kao osobu. Za svog mentora mogu reći da je veliki znanstvenik i praktičar, ali i još veći čovjek. Upravo zato ga ne smatram samo mentorom ovog diplomskog rada, već svojevrsnim životnim mentorom i uzorom.

Za sve koji čitate ovaj tekst, nadam se da ćete tijekom života imati ovakve osobe pored sebe, jer je užitak putovati i ploviti s njima. Također, nadam se da ću i ja drugima moći pružiti ono što su oni pružili meni.

Ovaj diplomski rad formalno zatvara jedno poglavlje ovog putovanja, međutim plovidba se i dalje nastavlja.. Hvala Vam svima na dosadašnjem putovanju..

Veritas numquam perit! Non scholae sed vitae discimus!

POPIS KRATICA I PRIJEVODNIH EKVIVALENATA NA ENGLLESKOM JEZIKU

EMA - ekscentrične mišićne akcije, ekscentrične kontrakcije (eng. ECC - eccentric contractions / eccentric muscle actions)

OPZ - osjećaj za poziciju zgloba (eng. JPS - joint position sense)

CK - kreatin kinaza (eng. CK - creatine kinase)

Mb - mioglobin (eng. Mb - mioglobin)

DOMS - odgođena reakcija mišića na vježbanje (eng. DOMS - delayed-onset muscle soreness)

AP- apsolutna pogreška (eng. AE - absolute error)

PICOS – populacija, intervencija, usporedba, ishod, dizajn studija (eng. PICOS - Population, Intervention, Comparison, Outcome, Study Design)

SRAS - standardizirana razlika aritmetičkih sredina (eng. SMD - standardized mean difference)

95% IP - devedeset i pet postotni interval pouzdanosti (eng. 95% CI - ninety-five percent confidence interval)

n – broj ispitanika/entiteta u uzroku (n - sample size)

M – muškarci (eng. M – males)

Ž – žene (eng. F – females)

SEM – standardna pogreška aritmetičke sredine (eng. SEM – standard error of the mean)

SD – standardna devijacija (eng. SD – standard deviation)

SADRŽAJ RADA

1. UVOD	1
2. CILJEVI I HIPOTEZE	5
3. METODE	6
3.1. Protokol mjerenja i testiranja osjećaja za poziciju zgloba.....	6
3.2. Strategija pretraživanja literature.....	7
3.3. Kriteriji uključivanja i isključivanja studija u sustavni pregled literature	8
3.4. Ekstrakcija podataka	9
3.5. Procjena metodološke kvalitete studija.....	12
3.6. Meta-analiza i analiza podrupa	13
3.7. Mjere heterogenosti i rizik od publikacijske pristranosti	14
3.8. Meta-regresijska analiza	15
4. REZULTATI	16
4.1. Rezultati pretrage	16
4.2. Karakteristike studija, ispitanika, intervencije i testiranja	18
4.3. Metodološka procjena kvalitete uključenih studija.....	21
4.4. Rizik od publikacijske pristranosti.....	23
4.5. Rezultati meta-analize	24
4.6. Rezultati meta-regresijske analize	27
4.6.1. Rezultati meta-regresijske analize za akutne učinke vidljive 1 sat nakon primjene EMA-e.....	27
4.6.2. Rezultati meta-regresijske analize za akutne učinke vidljive 1 dan nakon primjene EMA-e....	27
5. RASPRAVA	31
6. ZAKLJUČAK	37
7. LITERATURA.....	39
8. PRILOZI.....	45
PRILOG 1. Detaljan prikaz pretrage elektroničkih baza podataka.....	45
PRILOG 2. Detaljan prikaz PICO kriterija	47

1. UVOD

Posljednje desetljeće, ekscentrične mišićne akcije (EMA) su često istraživani fenomen u području sportske znanosti i medicine, te su također sve češće primjenjivana intervencija u sportu, kliničkoj rehabilitaciji ozljeda lokomotornog sustava, fitnessu i rekreaciji (Hody i sur., 2019).

Ekscentrična mišićna akcija se odnosi na mišićnu aktivnost koja se događa kada je sila primjenjena na mišić veća od trenutne sile koju proizvodi sami mišić, što rezultira aktivnim produljivanjem mišićno-tetivne jedinice, odnosno podrazumijevamo da se rad tada obavlja na mišiću koji se produljuje (Lindstedt i sur., 2001). Uobičajeno je reći kako tada mišić obavlja „negativan rad” (Abbott i sur., 1952). Abbott i suradnici (1952) su eksperimentom provedenim na biciklu utvrdili kako tijekom EMA-e mišić može obavljati istu količinu rada uz manju energetske potrošnje u usporedbi sa radom obavljenim u koncentričnom režimu rada. Taj nalaz upućuje na zaključak da ovaj tip mišićne akcije može biti potentniji za razvoj pojedinih sposobnosti uz manji obavljeni rad u usporedbi sa izometričnim i koncentričnim mišićnim akcijama.

Razlog trenutno povećanom interesu u znanstvenoj zajednici za EMA-e vjerovatno proizlazi iz činjenice da takva vrsta mišićne akcije može pružati mnoge koristi u vidu: poboljšanja sportske izvedbe, prevencije i rehabilitacije mekotkivnih ozljeda lokomotornog sustava, povećanja radnog kapaciteta i sastavnica zdravstvenog fitnessa (Hody i sur., 2019; Hyldahl i Hubal, 2014; Vogt i Hoppeler, 2014). Već je dobro usustavljeno u prethodno navedenim studijama da kronična primjena EMA-e u trenažnom procesu ili rehabilitaciji ozljeda djeluje na povećanje: mišićne jakosti, duljine mišićnih fascikula, mišićne mase, eksplozivne jakosti i snage (Hody i sur., 2019; Hyldahl i Hubal, 2014; Vogt i Hoppeler, 2014). Vrlo je vjerovatno da upravo te morfološke i funkcionalne adaptacije koje se događaju nakon dugotrajne primjene EMA-e utječu na smanjen broj ozljeda u sportovima poput nogometa, gdje primjena EMA-e može smanjiti rizik nastanka ozljeda mišića stražnje lože za do 70% (Van Der Horst i sur., 2015). Također, meta-analiza Nicola van Dyka i suradnika (2019) utvrdila je kako preventivni programi vježbanja koji uključuju ekscentrično nadopterećenje putem vježbe „Nordic hamstring” u odnosu na one preventivne programe koji ne uključuju tu vježbu, smanjuju rizik za ozljedu mišića stražnje lože za 51%.

Iako kroničnom primjenom EMA-e dolazi do brojnih pozitivnih živčano-mišićnih adaptacija, također je poznato da primjena EMA-e *akutno* izaziva: pad jakosti i mišićne sile, povećanje upalnih procesa i parametara mišićnog oštećenja te smanjenje propriocepcije i kinestezije (Douglas i sur., 2017; Hyldahl i Hubal, 2014; Proske, 2019). Takvi akutni učinci hipotetski mogu pridonijeti akutnom smanjenju sportske izvedbe, povećanom riziku za nastanak sportskih ozljeda te mogu doprinijeti teškoćama u svakodnevnom funkcioniranju. Poznato je kako jedna trenažna epizoda EMA-e može uzrokovati veliku mišićno oštećenje kod odraslih osoba i ona može biti utvrđena putem direktnih i indirektnih parametara mišićnog oštećenja (Lauritzen i sur., 2009). Direktni dokazi o mišićnom oštećenju nakon EMA-e prikazuju ultrastrukturalne i histološke promjene poput disrupcije miofibrila i diskontinuiteta Z-ploča te, u slučajevima izrazite mišićne štete nakon EMA-e, može biti vidljiva i nekroza mišićnog tkiva (Lauritzen i ostali, 2009). Akutne promjene u indirektnim markerima mišićnog oštećenja nakon EMA-e ogledaju se putem: povećanja razine kreatin kinaze (CK) i mioglobina (Mb) u krvnoj plazmi, smanjenja maksimalne i eksplozivne mišićne sile, smanjenja opsega pokreta u zglobu, povećanja pasivne krutosti mišića, povećanja osjećaja boli u mišićima prilikom palpacije ili pokreta ekstremitetom (Douglas i sur., 2017; Hody i sur., 2019; Lin i sur., 2018; Paschalis i sur., 2010). Ovakve akutne promjene u indirektnim markerima mišićnog oštećenja događaju se odmah nakon primjene EMA-e, te mogu trajati i 5-10 dana nakon samog iniciranja istih (Douglas i sur., 2017; Lin i sur., 2018; Paschalis i sur., 2010). Ponekad su takve promjene vezane za povećan osjećaj boli u mišićima i povećanu percepciju mišićne upale, te takvi simptomi kulminiraju nakon 24-72 sata od primjene ekscentričnih mišićnih akcija pa često u takvim situacijama govorimo o pojavi „odgođene reakcije mišića na vježbanje” ili „DOMS” efektu (eng. Delayed onset muscle soreness)(Douglas i sur., 2017). Osim navedenih učinaka vezanih za mišićno oštećenje, EMA-e uzrokuju povećanu krutost arterija, što dodatno govori o negativnoj potentnosti i velikim upalnim procesima koji se događaju akutno nakon primjene ovakvog načina mišićnog rada (Lin i sur., 2018).

Kao što je prethodno rečeno, EMA uzrokuju akutan pad u sposobnosti mišića da generira silu, a ta je veličina pada sile značajno povezana sa pogreškama u mjerenju osjećaja za poziciju zgloba (OPZ) putem reprodukcije kuta između dvaju ekstremiteta (Walsh i sur., 2004; Walsh i sur., 2006). Također, jedan od pionira proučavanja kinestezije, Uwe Proske, u svom narativnom pregledu literature zaključuje kako umor i pad sile nastao posredstvom EMA-e može akutno narušiti kinesteziju i propriocepciju, a to potencijalno može povećati rizik nastanka ozljede (Proske, 2019).

Isto tako, prema prospektivnim studijama narušena propriocepcija i OPZ gležnja predstavljaju intrinzični rizični faktor za ozljedu gležnja (Payne i sur., 1997; Willems i sur., 2005).

Kinesteziju prema Proskeu i Gandeviji možemo definirati kao „sposobnost” koja nam omogućava svjesnost i osjećaj za poziciju zgloba i tijela (*eng. Joint position sense, Position sense*), te svjesnost i osjećaj o pokretu i kretanju (*eng. Sense of movement, Movement sense*) (Proske i Gandevia, 2018). Informacije koje se obrađuju u središnjem živčanom sustavu prilikom detekcije položaja zgloba i zglobnih pokreta dolaze putem različitih kinestetičkih i osjetnih receptora koje nalazimo u koži, mišićima i mišićnim fascijama, tetivama i zglobovima (Proske i Gandevia, 2018).

Dosadašnja istraživanja pretpostavljaju da je udio informacija dobivenih iz mišićnih receptora (mišićnih vretena) dominantno odgovoran za OPZ, dok ostali osjetni receptori poput receptora u koži i zglobnoj čahuri imaju manju ulogu u detekciji pozicije zgloba (Proske i Gandevia, 2012). Valja napomenuti i da informacije kojima određujemo poziciju zgloba i percepciju pokreta zgloba potencijalno ne dolaze iz istih izvora. Navedeno nam daje na znanje da kinestezija ima dva elementa, osjećaj za poziciju zgloba i osjećaj za pokret, koji nisu direktno i u potpunosti povezani kao što se nekoć smatralo. Iz tog razloga, mjerenje dvaju elemenata kinestezije može biti različito, radi različitih osjetnih informacija odgovornih za svijest o pokretu i poziciji zgloba (Proske i Gandevia, 2018). Prema sustavnom preglednom članku Hillier i sur. (2015), identificirane su 32 različite metode za kvantifikaciju propriocepcije i kinestezije, što govori o velikoj varijabilnosti i mogućnostima kvantifikacije propriocepcije i kinestezije. Metode uglavnom mjere neke od sljedeće navedenih karakteristika kinestezije: aktivnu i pasivnu detekciju pozicije zgloba, pasivnu detekciju pokreta i diskriminaciju smjera pokreta (Hillier i sur., 2015). Što se tiče samog mjerenja jednog od elemenata kinestezije - OPZ-a, koji je predmet proučavanja ovog rada, on se najčešće mjeri na 2 različita načina, putem ipsilateralnog zadatka i bilateralnog zadatka reprodukcije kuta u zglobu (Goble, 2010). Premda su ove metode do sada korištene za utvrđivanje akutnih učinaka EMA na OPZ u različitim zglobovima (zglobu koljena, lakta i ramena), od posebnog kineziološkog interesa su istraživanja vezana uz koljeni zglob. Naime, veći broj epidemioloških studija ukazuje kako je zglob koljena jedan od najčešće ozljeđivanih zglobova u sportu (Francis i ostali, 2019; Majewski i sur., 2006). Brojne i česte sportske ozljede i sindromi prenaprezanja poput rupture prednje ukrižene sveze (Donnell-Fink i sur., 2015; Lohmander i sur., 2007), patelarne tendinopatije (King i sur., 2019) i miofascijalnih ozljeda prednje i stražnje strane natkoljenice (Ekstrand i sur.,

2011; Saw i sur., 2018; Silvers-Granelli i sur., 2021) događaju se upravo u regiji koja direktno uključuje zglob koljena ili koja je funkcionalno i strukturalno povezana s koljenom. Poznato je da navedene ozljede često uzrokuju izbjivanja s treninga i natjecanja u sportovima poput nogometa, košarke, ali i brojnih drugih sportova (Bram i sur., 2021; Ekstrand i sur., 2011; Saw i sur., 2018; Silvers-Granelli i sur., 2021). „Teže” ozljede koljena poput ruptуре prednje ukrižene sveze nerijetko dovode do: odustajanja sportaša od daljnje sportske karijere, velikih novčanih gubitaka sportaša, smanjene kvalitete života (Filbay i Grindem, 2019; Secrist i sur., 2016). Narušena funkcija koljena, neadekvatno programiranje i doziranje opterećenja koje izazivaju pretreniranost i umor mogu doprinijeti povećanom riziku za nastanak ozljeda (Gabbett, 2016; Nessler i sur., 2017). Kako bi smanjili rizik nastanka navedenih ozljeda i njihove negativne posljedice, nužno je istraživački fokus usmjeriti prema proučavanju treningom izazvanih akutnih i kroničnih promjena u funkciji koljena, uključujući i promjene u kinesteziji.

Iako postoji veći broj studija koje su istraživale akutne učinke EMA-e na OPZ, prema autorovom saznanju, nitko unutar ovog područja proučavanja motoričke kontrole nije napravio sustavni pregled i meta-analizu kako bi sintetizirao postojeće spoznaje o veličini akutnih učinaka EMA-e na OPZ. Najbliži tome bili su Takasaki i sur. (2016), koji su napravili sustavni pregled literature i meta-analizu utjecaja različitih protokola mišićnog umora na osjećaj za poziciju ramenog zgloba i na parametre posture (Takasaki i sur., 2016). Međutim, oni su napravili sustavni pregled i meta-analizu vezanu za rameni zglob, te su pritom koristili različite protokole izazivanja mišićnog umora, ali nisu proučavali utjecaj isključivo EMA-e. Stoga iz njihove studije nije moguće zaključivati o utjecaju EMA-e na OPZ ramena. Uzimajući to u obzir, kao i navedenu važnost funkcije koljenog zgloba u kineziološkoj praksi, ovaj rad je prvi kojemu je cilj napraviti sintezu spoznaja o akutnim učincima EMA-e na OPZ koljena kod zdravog čovjeka. Kako bi rezultati ovog istraživanja imali veću praktičnu značajnost, analizirani su akutni učinci EMA na OPZ koljena odmah nakon vježbanja te 1 dan nakon vježbanja.

2. CILJEVI I HIPOTEZE

Cilj ovog sustavnog pregleda literature i meta-analize je integrirati i sintetizirati postojeće spoznaje o veličini akutnih učinaka EMA-e na OPZ koljena. Nadalje, dodatnim meta-regresijskim analizama nastojati će se objasniti koji faktori utječu na veličinu akutnih učinaka EMA i njihovu heterogenost, kako bi u praktičnom radu mogli spriječiti potencijalne negativne učinke ekscentričnih mišićnih akcija.

Temeljem rezultata dosadašnjih istraživanja postavljene su slijedeće istraživačke hipoteze: (1) EMA-e statistički značajno narušavaju OPZ koljena 1 sat i 1 dan nakon intervencije, (2) veličina pada sile 1 sat i 1 dan nakon primjene EMA-e statistički je značajno povezana s veličinom pogreške u OPZ koljena mjerenom 1 sat i 1 dan nakon intervencije.

3. METODE

Ovaj sustavni pregled literature i meta-analiza napravljeni su pridržavajući se službenih smjernica za izradu sustavnih preglednih radova i meta-analiza: „*The Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement*” - PRISMA 2020 , kad god je to bilo primjenjivo (Page i sur., 2021).

3.1. Protokol mjerenja i testiranja osjećaja za poziciju zgloba

Kao što je prethodno spomenuto, OPZ se najčešće mjeri na dva načina: ipsilateralnim zadatkom reprodukcije kuta u zglobu i bilateralnim zadatkom reprodukcije kuta u zglobu (Goble, 2010). Ovaj sustavni pregled literature uključio je studije koje su proučavale OPZ mjeren ipsilateralnim zadatkom reprodukcije kuta u zglobu u otvorenom kinetičkom lancu. Stoga će u sljedećem tekstu pobliže biti objašnjen najčešći protokol testiranja OPZ-a ipsilateralnim zadatkom. Testiranje OPZ-a koljena putem ipsilateralnog zadatka izvodi se u otvorenom kinetičkom lancu bez vizualne kontrole (uz povez preko očiju), na način da se na izokinetičkom uređaju ispitanik nalazi u sjedećoj poziciji (test koji uključuje aktivaciju ekstenzora koljena) ili proniranoj ležećoj poziciji (test koji uključuje aktivaciju fleksora koljena). Nakon što mjeritelj iz početne pozicije (npr. 90° ili 0° fleksije koljena) postavi ispitanikovu nogu i koljeno pod određeni „referentni kut” fleksije koljena (npr. 30 ili 45° fleksije koljena), ispitanik pokušava „memorirati” referentni kut tijekom perioda od 10 sekundi. Nakon toga koljeno se vraća pasivno u početnu poziciju (npr. 90° ili 0° fleksije koljena) i slijedi aktivna reprodukcija prethodno memoriranog referentnog kuta. Najčešće se vrši nekoliko ponavljanja za svaki kut koji se ispituje (npr. 30°, 45° i 60°). Kad su svi testovi napravljeni, izračunava se razlika između referentnog i reproduciranog kuta u koljenu u stupnjevima ili radijanima za svako ponavljanje. Na temelju tih podataka mogu se izračunati apsolutna pogreška (AP), konstantna pogreška (KP) i varijabilna pogreška (VP), od kojih svaka predstavlja različitu informaciju o OPZ-u. Interes ovog rada vezan je za utvrđivanje prosječne veličine pogrešaka u OPZ-u bez obzira na smjer u kojem se događaju pogreške, stoga je proučavan samo ishod AP, izračunat kako slijedi:

$$\text{APSOLUTNA POGREŠKA (}^\circ\text{)} = | \text{REPRODUCIRANI KUT (}^\circ\text{)} - \text{REFERENTNI KUT (}^\circ\text{)} |$$

Nakon što je izračunat AP svakog ponavljanja, računa se aritmetička sredina i standardna devijacija apsolutnih pogrešaka svih ponavljanja reprodukcije pojedinog kuta. Veća prosječna AP označava lošije razvijen ili narušen OPZ uslijed neke intervencije (npr. nakon EMA-e ili istežanja). AP daje informaciju koliko stupnjeva u prosjeku ispitanik griješi u odnosu na referentni kut prilikom izvođenja zadatka ipsilateralne reprodukcije kuta. Iz razloga što je riječ o mjerenju AP, taj ishod ne uzima u obzir smjer (fleksija-ekstenzija) u kojem se događaju pogreške, te AP stoga izražava pogreške uvijek u pozitivnim vrijednostima (Naderi i sur., 2020; Paschalis i sur., 2007; Paschalis i sur., 2008; Paschalis i sur., 2010; Paschalis i sur., 2013; Torres i sur., 2010). U ovom sustavnom pregledu, analiziran je AP OPZ-a koljena prije i nakon intervencije EMA-e.

Goble (2010) navodi kako greške generirane tijekom navedenog ipsilateralnog načina testiranja OPZ-a mogu biti rezultat loše razvijene kinestezije, ali i dijelom mogu biti povezane sa lošijom sposobnosti memoriranja kuta i kognitivnim procesima, što je jedan od nedostataka ovog načina testiranja OPZ-a (Goble, 2010). Također, isti autor ukazuje na to da bi prilikom testiranja i interpretiranja rezultata testiranja propriocepcije i kinestezije trebali oprezno voditi računa o sljedećim faktorima koji mogu utjecati na pouzdanost rezultata: vrsti zadatka kojim reproduciramo kut (ipsilateralano ili kontralateralno testiranje), dominantno korištenom ekstremitetu (lijevi ili desni ekstremitet), karakteristikama pozicije zgloba (kut zgloba, način postavljanja zgloba u referentnu poziciju, aktivno ili pasivno pozicioniranje zgloba), dobi ispitanika, radnom prostoru zadatka (prostorni parametri pozicije tijela, ekstremiteta i uređaja) (Goble, 2010).

3.2. Strategija pretraživanja literature

U sklopu ovog rada sustavno su pretražene sljedeće 3 relevantne elektronske baze podataka: Web of Science, PubMed i Scopus. Pretraživanje literature izvršeno je datuma 31.3.2021. godine i obuhvaćalo je sve znanstvene radove dobivene pretragom sljedećih skupina pojmova uz filter naslov/sažetak: ("eccentric" OR "eccentric training" OR "eccentric exercise" OR "eccentric contraction" OR "eccentric muscle action" OR "lengthening contraction") AND ("position sense" OR "kinesthesia" OR "proprioception"). U pretrazi nije postavljen nikakav limit vezan za vremenski period u kojem su studije objavljene, kao ni ograničenje za jezik na kojem su studije napisane (detalji pretrage prikazani u prilogu 1).

3.3. Kriteriji uključivanja i isključivanja studija u sustavni pregled literature

Za definiranje kriterija uključivanja i isključivanja studija u sustavni pregled literature korišteni su PICOS parametri koji postavljaju kriterije u odnosu na populaciju, intervenciju, usporedbu, ishod i dizajn studija (detaljan pregled kriterija uključenja i isključenja prikazan u prilogu 2) .

U sustavni pregledni rad su uključene studije provedene na zdravoj odrasloj populaciji bez obzira na spol ispitanika, dok su isključujući kriteriji vezani za populaciju ispitanika bili pripadnost specifičnim populacijama (slijepe osobe, osobe s bolnim sindromima koji se referiraju u lokomotornom sustavu, osobe s invaliditetom, osobe s indeksom tjelesne mase manjim od 18,5 ili većim od 24,9 kg/m², trudnice, trenirane osobe koje koriste metodu ekscentričnog treninga ili trening s otporom u posljednja 3 mjeseca prije testiranja i sl.).

Daljnji kriteriji uključenja su bili vezani za intervenciju EMA, gdje smo uključili samo one studije koje su provodile ukupno 5 ili više jednozglobnih kontroliranih EMA fleksora ili ekstenzora koljena prije testiranja OPZ-a. Kriteriji isključenja vezani za intervenciju su bili: EMA-e koje nisu primjenjivane na koljenu, manje od 5 EMA-e, studije u kojima je intervencija bila kombinacija ekscentrično-koncentričnih ili ekscentrično-izometričnih mišićnih akcija, te studije koje su nakon inicijalnog mjerenja osjećaja za poziciju zgloba imali kombinaciju EMA-e i neke druge intervencije (npr. hladni/topli oblozi, foam rolling, masaža, istezanje i sl.).

Kriterij usporedbe nije definiran, stoga su studije sa i bez kontrolne skupine uključene u sustavni pregled. Kriteriji uključivanja studija na temelju ishoda definirani su uključivanjem studija koje su imale podatke o OPZ-u koljena mjenog ipsilateralnim testom u otvorenom kinetičkom lancu i izražavanom putem AP-a OPZ-a u stupnjevima ili radijanima. Također, studije su za uključenje trebale imati podatke o OPZ-u prije i nakon (podaci o OPZ-u do 1 dan nakon primjene intervencije) intervencije EMA-e. Isključujući kriterij koji se odnosio na ishode je bio nedostatak informacija o AP-u prije ili nakon intervencije EMA-e, te ozljeda ispitanika prilikom mjerenja OPZ-a.

Sa stajališta dizajna studija, uključene su eksperimentalne (randomizirane-kontrolirane studije, radnomizirane crossover studije) i kvazi-eksperimentalne (ne-randomizirane kontrolirane studije) studije, te studije sa dizajnom prije-poslije intervencije (*eng. pre-post study design*). Isključene su sve studije koje nisu eksperimentalnog, kvazi-eksperimentalnog ili dizajna prije-poslije intervencije.

3.4. Ekstrakcija podataka

Napravljena je ekstrakcija podataka iz 8 studija, te su pritom iz svake studije ekstrahirani podaci o: prezimenu prvog autora i godini objavljivanja studije, dizajnu studije, karakteristikama i broju ispitanika (spol, dob, tjelesna visina i tjelesna masa), karakteristikama testiranja OPZ-a (kut testiranja: mali $\leq 30^\circ$, srednji $> 30^\circ$ do $\leq 45^\circ$ i veliki kut $> 45^\circ$ do $\leq 70^\circ$; dominantnost ili nedominantnost testiranog ekstemiteta; pozicija testiranja OPZ-a), karakteristikama intervencije EMA-e (intenzitet EMA-e, kutna brzina prilikom EMA-e, mišićna skupina na kojoj je primjenjena intervencija, ukupan broj ponavljanja EMA-e, opseg pokreta tijekom EMA-e), prosječnom padu sile (do 1 sat nakon intervencije i 1 dan nakon intervencije EMA-e), AP-u prije i nakon intervencije (u periodu do 1 sat nakon intervencije i 1 dan nakon intervencije EMA-e).

Kvantitativni podatci o AP-u OPZ-a ili padu maksimalne sile koji su bili dostupni unutar teksta ili tablice same studije direktno su uneseni u računalni program Microsoft Excel (Microsoft Office 365 - Version 2107, Microsoft Corporation, Washington, U.S.). Kod studija u kojima su podaci bili prikazani pomoću grafikona ili kod podataka koji nisu bili cjelokupno prikazani (npr. nisu prikazani podatci o svim kutevima testiranja ili svim vremenskim točkama testiranja), kontaktiran je korespondirajući autor studije i zatraženi su podaci koji nedostaju. Korespondirajući autor je kontaktiran putem korespondirajuće adrese e-pošte navedene u studiji i putem znanstveno-istraživačke društvene mreže „Researchgate”, kako bi prikupili potrebne kvantitativne podatke ili sirove podatke iz matrica podataka koji su služili za daljnju ekstrakciju podataka u Microsoft Excel-u. Ako autori nisu odgovorili na zahtjev e-pošte ili na zahtjev poruke putem Researchgate društvene mreže u vremenskom periodu od 3 tjedna, tada je obavljena ekstrakcija podataka iz grafičkih prikaza studija putem mrežnog programa WebPlotDigitizer-a (Web Plot Digitizer, V.4.4. Texas, USA: Ankit Rohatgi, 2020, <https://apps.automeris.io/wpd/>).

Deskriptivni podaci o ispitanicima ili podaci o AP-u OPZ-a koji su djelom izraženi kao standardne pogreške aritmetičke sredine (SEM) u pojedinim studijama (Paschalis i sur., 2007; Paschalis i sur., 2008; Paschalis i sur., 2010; Paschalis i sur., 2013), pretvoreni su u standardne devijacije (SD). Studija Négyesia i sur. (2021) imala je „sirove podatke” o 12 različitih kuteva testiranja OPZ-a pri različitim opsezima pokreta u zglobu, te su iz te studije putem „sirovih podataka” izračunatog AP-a OPZ-a za 3 kuta koji su najbliži kutevima od 30° , 45° i 60° . To su bili kutevi od 26° , 42° i 60° i podaci o AP-u pod tim kutevima testiranja su korišteni za kasniju meta-analizu. Veličina

pada sile izračunata je u računalnom programu Microsoft Excel-u ukoliko prosječan pad sile nije izračunat i naveden u tekstu ili grafikonu same studije. Prosječni pad sile 1 sat nakon intervencije prikazan je u postotcima, a izračunat je kao razlika prosječne vrijednosti maksimalne sile svih ispitanika prije intervencije i prosječne maksimalne vrijednosti sile svih ispitanika 1 sat nakon intervencije, te nakon toga podijeljena sa prosječnom maksimalnom silom svih ispitanika prije intervencije i nakraju umnoženom sa 100. Prosječni pad sile 1 dan nakon intervencije prikazan je u postotcima, a izračunat je kao razlika prosječne vrijednosti maksimalne sile svih ispitanika prije intervencije i prosječne maksimalne vrijednosti sile svih ispitanika 1 dan nakon intervencije, te nakon toga podijeljenog sa prosječnom maksimalnom silom svih ispitanika prije intervencije i nakraju umnoženom sa 100. Kod studija koje su imale podatke o maksimalnoj sili ili padu sile pri: dva različita kuta testiranja (Négyesi i sur., 2021), dvije različite kutne brzine testiranja (Naderi i sur., 2020) i dva različita protokola testiranja (Paschalis i sur., 2013) izračunata je aritmetička sredina pada sile i ona je korištena za daljnu analizu. Studija Torresa i sur. (2010) nije imala podatke o veličini pada sile, niti o maksimalnoj sili prije i nakon intervencije, stoga jedino ta studija nije bila analizirana u meta-regresijskoj analizi sa kovarijablom pada sile. Kod studije Paschalisa i sur. (2008) podaci o standardnoj devijaciji AP-a prije intervencije za kut od 60° nisu bili jasno vidljivi na grafu. Iz tog razloga je za tu vrijednost standardne devijacije uzeta aritmetička sredina sljedeće dvije standardne devijacije vidljive na grafu, dvaju sljedećih vremenskih točaka testiranja (odmah nakon intervencije i 1 sat nakon intervencije) OPZ-a, za isti kut testiranja od 60° . Studija Négyesia i sur. (2021) imala je deskriptivne podatke o 24 ispitanika (dob, visina, masa) koji su bili podijeljeni u 3 grupe unutar te studije, te su ti deskriptivni podaci korišteni za opis 8 ispitanika koji su uključeni u ovu studiju s obzirom da egzaktni deskriptivni podaci po skupinama ispitanika nisu bili prikazani unutar studije. Također, ta studija je sadržavala 12 muškaraca i 12 žena koji su nasumično podijeljeni u spomenute 3 skupine po 8 ispitanika, međutim nije definirano kolika je proporcija ispitanika po spolu unutar svake grupe bila pristuna. Iz tog razloga, pretpostavljeno je kako je bilo 50% muškaraca i 50% žena u svakoj grupi i taj omjer muškaraca i žena unutar grupe je korišten za kasniju meta-regresijsku analizu po spolu. Naposljetku, valja napomenuti kako studije koje su imale podatke o AP-u OPZ-a ili padu sile u periodu od vremena odmah nakon intervencije EMA-e (unutar nekoliko minuta nakon EMA-e) i 1 sat nakon intervencije EMA-e analizirane u meta-analizi i meta-regresijskoj analizi zajedno, kao akutni učinci vidljivi 1 sat nakon intervencije. Također, studije koje su imale podatke o AP-u OPZ-a ili padu sile u periodu 24 sata

i 1 dan nakon intervencije EMA-e analizirane su u meta-analizi i meta-regresijskoj analizi zajedno, kao akutni učinci vidljivi 1 dan nakon intervencije. Nakon što su svi podaci ekstrahirani i pripremljeni u računalnom programu Microsoft Excel-u, matrica je kopirana u računalni program Comprehensive Meta-Analysis – CMA (Biostat Inc., Englewood, USA).

3.5. Procjena metodološke kvalitete studija

Procjena metodološke kvalitete studija provedena je od strane autora koristeći PEDro skalu za procjenu rizika od pristranosti randomiziranih-kontroliranih studija (<https://pedro.org.au/>; de Morton, 2009; Maher i sur., 2003). PEDro alat koristi sljedećih 11 čestica za procjenu rizika od pristranosti: 1. specifično definirani kriteriji uključenja ispitanika; 2. ispitanici su randomizirano podijeljeni u grupe (u crossover studijama, ispitanicima je randomiziran slijed intervencija); 3. razvrstavanje u skupine je prikriveno; 4. grupe su bile sličnih prognostičkih karakteristika na početku studije; 5. provedeno je „zasljepljivanje” (*eng. blinding*) svih ispitanika; 6. provedeno je „zasljepljivanje” svih istraživača koji su provodili intervenciju; 7. provedeno je „zasljepljivanje” svih istraživača koji su mjerili minimalno jedan ključni ishod intervencije; 8. prikupljeni su izmjereni podaci od minimalno jednog ključnog ishoda intervencije kod više od 85% ispitanika koji su svrstani u grupe; 9. svi ispitanici za koje su bili dostupni podaci o ishodu intervencije su bili podloženi intervenciji ili kontrolnoj skupini u koju su bili svrstani na početku studije ili kad to nije bio slučaj, podaci za minimalno jedan ishod su analizirani sa „namjerom za tretiranje” (*eng. intention to treat*); 10. rezultati statističke usporedbe između grupa su prijavljeni za minimalno jedan ključni ishod intervencije; 11. studija pruža podatke o centralnim mjerama i mjerama varijabilnosti za minimalno jedan ishod. Ukoliko studija zadovoljava kriterij čestice, tada studija dobiva 1 bod za tu česticu. Ukoliko studija ne zadovoljava kriterij čestice, tada studija dobiva 0 bodova za tu česticu. Prva čestica PEDro skale se ne boduje, stoga ukupan zbroj bodova i rezultat koji studija može imati je 10. Veći ukupan zbroj označava bolju metodološku kvalitetu studije. Kod čestica kod kojih autor nije bio siguran oko zadovoljavanja kriterija, bod nije dodjeljivan toj čestici.

3.6. Meta-analiza i analiza podrupa

Meta-analiza je napravljena u statističkom programu Comprehensive Meta-Analysis – CMA (Biostat Inc., Englewood, USA). Za statističku analizu podataka koristili smo model meta-analize slučajnog učinka (eng. random effects meta-analysis). Model slučajnog učinka pretpostavlja da učinci intervencije mogu varirati u pojedinačnim studijama (Borenstein i sur., 2009). Veličina sumarnog učinka prikazana je putem standardizirane razlike aritmetičkih sredina (SRAS) i 95%-tnog intervala pouzdanosti (95% IP), uz donju i gornju granicu 95% intervala pouzdanosti za ishod AP-a u OPZ-u.

Napravljen je niz od 6 zasebnih meta-analiza podijeljenih u odnosu na: 2 vremenske točke testiranja OPZ-a (testiranje 1 sat nakon intervencije i 1 dan nakon intervencije) i 3 podgrupe definirane prema veličini kuta fleksije u koljenu prilikom testiranja OPZ-a (mali, srednji i veliki kut testiranja). Meta-analize su podjeljene s obzirom na dvije vremenske točke testiranja kako bi se utvrdili akutni efekti vidljivi u vremenskom periodu odmah nakon intervencije (unutar nekoliko minuta nakon EMA-e) do jednog sata nakon intervencije EMA-e i kako bi se utvrdili akutni efekti vidljivi 1 dan nakon intervencije EMA-e. Također, meta-analize su dalje podijeljene na podgrupe u odnosu na veličinu kuta fleksije u koljenu prilikom testiranja OPZ-a kako bi vidjeli učinke EMA-e na OPZ-u testiran pri različitim kutevima. Podgrupe su definirane na sljedeći način: mali kut (kut testiranja $OPZ \leq 30^\circ$), srednji kut (kut testiranja $OPZ > 30^\circ$, a $\leq 45^\circ$), veliki kut (kutevi testiranja $OPZ > 45^\circ$, a $\leq 70^\circ$). Iako inače veći AP označava smanjeni osjećaj za poziciju zgloba, u meta-analizi je smjer efekata intervencije EMA-e postavljen na način da negativne vrijednosti SRAS AP-a označavaju smanjen/narušen osjećaj za poziciju zgloba, kako bi interpretacija rezultata meta-analize bila jasnija i intuitivna (negativne vrijednosti označavaju negativne efekte). Veličina efekta izraženih u SRAS-a interpretirana je prema Cohen-u (1992), kao: mali efekt (0,2), srednji efekt (0,5), veliki efekt (0,8) intervencije (Cohen, 1992).

3.7. Mjere heterogenosti i rizik od publikacijske pristranosti

Mjere heterogenosti učinaka intervencije unutar meta-analize procjenjivane su uz pomoć izračunavanja vrijednosti : I^2 , T^2 i T . I^2 se izračunava kao: $I^2 = 100\% \cdot (Q - df) / Q$, gdje Q predstavlja ponderiranu sumu kvadrata, odnosno označava ukupnu disperziju rezultata, a df predstavlja broj stupnjeva slobode, dok razlika između ponderirane sume kvadrata (Q) i broja stupnjeva slobode (df) predstavlja ‚suvišnu disperziju rezultata‘. I^2 ukazuje na omjer između suvišne disperzije i ukupne disperzije rezultata i stoga predstavlja postotak varijabilnosti procjene koji se događa radi heterogenosti rezultata, a ne radi pogreške uzorkovanja. Vrijednosti I^2 od 25%, 50%, i 75% predstavljaju nisku, umjerenu i visoku statističku heterogenost.

T^2 se izračunava kao: $T^2 = (Q - df) / C$ i predstavlja varijancu između studija. Nakon toga vrijednost parametra T se dobija na način da izračunamo drugi korijen iz T^2 na sljedeći način: $T = \sqrt{T^2}$, te on služi za opisivanje distribucije veličina učinaka oko prosječnog efekta, pa ga možemo smatrati i standardnom devijacijom veličine učinaka u meta-analizi (Borenstein i sur., 2009; Higgins i sur., 2003).

Rizik od publikacijske pristranosti je procenjen metodom ‚Duval and Tweedie’s Trim and Fill‘. Ona podrazumijeva uklanjanje pojedinih ‚manjih‘ studija koje predstavljaju ekstremne vrijednosti unutar ljevkastog grafikona za procjenu pristranosti i čine manje ili više asimetrični grafikon koji predstavlja dokaz o postojanju ili nepostojanju publikacijske pristranosti. Nakon uklanjanja takvih studija, ponovno se procjenjuje veličina učinka dok se ne postigne simetričnost oko ‚nove‘ vrijednosti veličine učinka. (Borenstein i sur., 2009). Svi spomenuti parametri za procjenu heterogenosti i rizika od publikacijske pristranosti su izračunati u programu Comprehensive Meta-Analysis – CMA.

3.8. Meta-regresijska analiza

Meta-regresijska analiza je napravljena uz pomoć računalnog programa Comprehensive Meta-Analysis – CMA. Meta-regresijska analiza za model meta-analize slučajnog učinka je napravljena s ciljem utvrđivanja različitih uzroka koji utječu na veličinu učinka i heterogenost rezultata. To je utvrđeno putem analize različitih kovarijabli, odnosno varijabli moderatora (Borenstein i sur., 2009).

Kovarijable koje su bile podvrgnute meta-regresijskoj analizi unutar meta-analize koja je proučavala efekte vidljive do 1h nakon ekscentričnih mišićnih akcija su: pad sile 1h nakon intervencije, ukupan broj kontrakcija i spol.

Kovarijable koje su bile podvrgnute meta-regresijskoj analizi unutar meta-analize koja je proučavala efekte vidljive 1 dan nakon ekscentričnih mišićnih akcija su: pad sile 1 dan nakon intervencije, ukupan broj kontrakcija i spol.

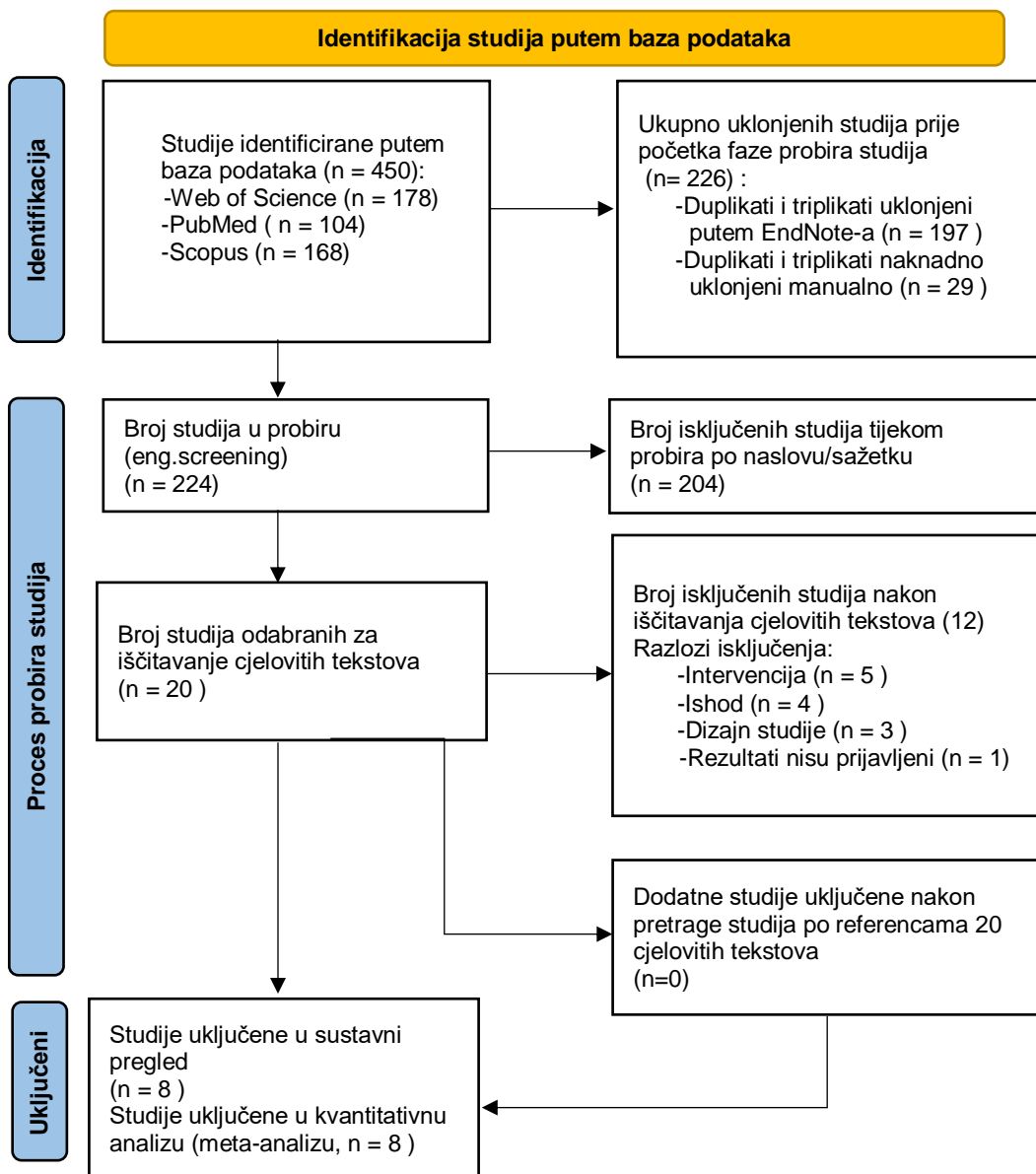
Zasebne univarijatne meta-regresijske analize su napravljene za svaku kovarijablu unutar pojedine meta-analize, te je razina statističke značajnosti postavljena na $p < 0,05$. Rezultati zasebnih meta-regresijskih analiza su prikazani tablično za akutne efekte vidljive 1 sat nakon EMA-e i za akutne efekte vidljive 1 dan nakon EMA-e. Kod rezultata kovarijabli za koje je utvrđen statistički značajan utjecaj na rezultate osjećaja za poziciju zgloba, prikazan je grafički prikaz pravca i nagiba regresije za pojedine kovarijable.

4. REZULTATI

4.1. Rezultati pretrage

Originalna pretraga literature kroz 3 elektronske baze podataka je rezultirala sa registracijom od ukupno 450 radova (slika 1). Nakon toga je za registriranje duplikata i triplikata studija korišten računalni program EndNote 20 (Clarivate - The EndNote Team, Philadelphia, PA, USA, 2013). Putem EndNote-a uklonjeno je 197 studija, nakon čega su ostale 253 studije. U tim studijama je i dalje bilo duplikata i triplikata, pa je manualno uklonjeno još 29 studija koje EndNote nije registrirao kao duplikate ili triplikate. U sljedećem koraku su dvoje istraživača (Ivan Karuc i Josip Karuc) nezavisno izvršili probir (*eng. screening*) 224 preostalih studija po naslovu/sažetku uz pomoć mrežnog programa Rayyan - Intelligent Systematic Review (<https://rayyan.ai/>, Ouzzani i ostali, 2016). Sve studije u kojima se istraživači nisu složili oko uključanja ili isključenja bile su ponovno zajednički revidirane dok nije postignut konsenzus oko uključanja ili isključenja pojedine studije za daljnji tijek istraživanja. Nakon pretrage po naslovu i sažetku, te postignutog konsenzusa oko svih preostalih studija, ostalo je 20 studija koje su zajedničkom odlukom bile podvrgnute iščitavanju cjelovitih tekstova uz pomoć prethodno definiranih PICOS kriterija za uključanje i isključenje studija u sustavni pregled. Svaki kriterij isključenja je unesen u mrežni program Rayyan, tako da je svaki istraživač neovisno o drugom istraživaču definirao razlog isključenja pojedine studije. Nakon što je svaki istraživač neovisno o drugom istraživaču analizirao cjelovite tekstove studija, istraživači su se sastali i revidirali studije u kojima nisu imali slaganja. Svaku takvu studiju su opet analizirali i zajedničkom odlukom uključili ili isključili nakon diskusije uz zajedničko definiranje razloga za isključenje. Poslje tog procesa, 8 studija je zadovoljilo sve kriterije uključanja, dok je 12 studija isključeno prema definiranim kriterijima. Od 12 isključenih studija, 1 kriterij nije zadovoljilo 11 studija, a 2 kriterija nije zadovoljila jedna studija. Razlozi isključenja su sljedeći: 5 studija nije uključeno radi intervencije, 4 studije su prijavile drugi ishod koji nije relevantan za ovaj rad, 3 studije su imale drugačiji dizajn u odnosu na definirani dizajn i 1 studija nije prijavila relevantne rezultate testiranja. Također, nakon ovog koraka su dodatno pretražene reference prethodno spomenutih 20 studija kako bi pretraga bila kompletna, što je nije rezultiralo pronalaženjem dodatnih studija koja bi bile uključene u sistematski pregled.

Na kraju pretrage, ukupno je 8 studija zadovoljilo sve kriterije za kvalitativnu analizu i sustavni pregled (Naderi i sur., 2020; Négyesi i sur., 2021; Paschalis i sur., 2007; Paschalis i sur., 2008; Paschalis i sur., 2010; Paschalis i sur., 2013; Torres i sur., 2010; Vila-Chã i sur., 2011). U daljnju kvantitativnu analizu (meta-analizu), uključeno je istih 8 studija, s tim da je važno napomenuti kako je napravljen niz od 6 meta-analiza koje u sebi sadrže 6 ili 7 studija, ovisno o dostupnim podacima za različite kuteve i vremenske točke testiranja OPZ-a.



Slika 1. PRISMA dijagram toka pretrage literature

4.2. Karakteristike studija, ispitanika, intervencije i testiranja

Karakteristike osam studija koje su uključene u kvalitativnu i kvantitativnu analizu prikazane su u Tablici 1. Ukupan broj ispitanika čiji su rezultati testiranja korišteni u meta-analizama je 127 (79 muškaraca i 48 žena), te je raspon broja ispitanika uključenih po studiji od 8 do 40. Parametri intervencije EMA-e su relativno homogeni, te je većina studija (7/8) koristila maksimalni intenzitet kontrakcije prilikom intervencije, dok je raspon prosječnog broja ponavljanja EMA-e bio od 75 do 127. Također, kutna brzina na izokinetičkom uređaju pri izvedbi EMA-e je u većini studija (7/8) ista, te je iznosila 60°/s. 6 od 8 studija je koristilo EMA-u ekstenzora koljena, dok su 2 studije koristile EMA-u fleksora koljena. Opseg pokreta u kojem je primjenjena EMA je varirao od 60 do 90°, a modalna vrijednost opsega pokreta je 90°. Sve studije su koristile ipsilateralni test repozicije kuta u otvorenom kinetičkom lancu bez vizualne kontrole. Šest od 8 studija je eksplicitno prijavilo korištenje testa na dominantnoj nozi. Kutevi testiranja koji su korišteni kod evaluacije osjećaja za poziciju zgloba bili su: 26°, 30°, 42°, 45°, 60°, 70°. Podaci o padu sile bili su navedeni za 7 od 8 studija. Prosječan pad sile u periodu odmah nakon intervencije do 1 sat nakon intervencije iznosi 20,72 %, uz raspon prosječnog pada sile od 5,7% do 37,6%. Prosječan pad sile 1 dan nakon intervencije iznosio je 23,8%, uz raspon prosječnog pada sile od 10,2% do 42,2%. Iz navedenih karakteristika, moguće je zaključiti kako su unutar ovog rada uključeni ispitanici relativno homogenih karakteristika, na kojima su primjenjeni slični načini testiranja i intervencije. Velika heterogenost uočena je u rezultatima pada sile, koji su varirali od studije do studije.

Tablica 1. Prikaz karakteristika: studija, ispitivanja, intervencije EMA-e i pada sile.

AUTOR I GODINA	DIZAJN STUDIJE	KARAKTERISTIKE ISPITANIKA	KARAKTERISTIKE TESTIRANJA	KARAKTERISTIKE EMA-e	PAD SILE 1 SAT NAKON	PAD SILE 1 DAN NAKON
Paschalis i sur., 2007.	pre-post	n = 12 (12 Ž) 20 ± 3,46 god 168 ± 3,46 cm 57 ± 6,93 kg	45° Sjedeća pozicija Dominantan	75 MAX EMA (60°/s) Ekstenzori koljena ROM 90°	19,62 %	10,17 %
Paschalis i sur., 2008.	pre-post	n = 14 (14 Ž) 20 ± 3,74 god 165 ± 7,48 cm 56 ± 7,48 kg	30° , 45° , 60° Pronirana pozicija Dominantan	75 MAX EMA (60°/s) Fleksori koljena ROM 90°	36,3 %	-42,18 %
Paschalis i sur., 2010.	randomized-crossover	n = 12 (12 M) 23 ± 3,46 god 177 ± 3,46 cm 78 ± 6,93 kg	30° , 45° , 60° Pronirana pozicija Dominantan	75 MAX EMA (60°/s) Fleksori koljena ROM 90°	37,61 %	38,32 %
Torres i sur., 2010.	pre-post	n = 14 (14 M) 22,1 ± 2,1 god 180 ± 6,1 cm 73,9 ± 4,5 kg	30° , 70° Sjedeća pozicija Dominantan	127,8 60% con (60°/s) Ekstenzori koljena 80°	/	/

AUTOR I GODINA	DIZAJN STUDIJE	KARAKTERISTIKE ISPITANIKA	KARAKTERISTIKE TESTIRANJA	KARAKTERISTIKE EMA-e	PAD SILE 1 SAT NAKON	PAD SILE 1 DAN NAKON
Vila Chā i sur., 2011.	non-RCT (quasi-experimental)	n = 15 (9M / 6 Ž) 25 ± 3,6 god	30°, 60° Sjedeća pozicija Nije definiran	100 MAX EMA (60°/s) Ekstenzori koljena 80°	23,0 %	17,2 %
Paschalis i sur., 2013.	non-RCT (quasi-experimental)	n = 12 (12 Ž) 20,2 ± 1,39 god 166 ± 6,93 cm 61,3 ± 6,58 kg	30°, 45°, 60° Sjedeća pozicija Dominantan	75 MAX EMA (60°/s) Ekstenzori koljena ROM 90°	8,7 %	16,25 %
Naderi i sur., 2020.	RCT	n = 40 (40 M) 23 ± 3,2 god 178,1 ± 5,5 cm 74,6 ± 6,2 kg	30°, 45°, 60° Sjedeća pozicija Mješoviti	100 MAX EMA (60°/s) Ekstenzori koljena ROM 80°	5,74 %	29,49 %
Négyesi i sur., 2021.	RCT	n = 8 (4M / 4 Ž) 25,5 ± 4 god 168 ± 10 cm 63 ± 13 kg	26°, 42°, 60° Sjedeća pozicija Dominantan	100 MAX EMA (30°/s) Ekstenzori koljena ROM 60°	14,1 %	12,91 %

Podaci o dobi, tjelesnoj visini i masi su prikazani kao AS ± SD. RCT (randomizirana kontrolirana studija), non-RCT (ne randomizirana kontrolirana studija), pre-post (prije-poslije dizajn studije), n – broj ispitanika, god – godine, cm – centimetri, kg – kilogrami, MAX EMA – maksimalne ekscentrične mišićne akcije, 60% con – EMA intenziteta 60% od vršne koncentrične sile, ROM – opseg pokreta prilikom EMA. Karakteristike testiranja prikazane redom (kut testiranja, pozicija testiranja, testirani ekstremitet). Karakteristike EMA-e prikazane redom (broj i intenzitet EMA, kutna brzina, mišićna skupina na kojoj je primijenjena intervencija EMA-a, opseg pokreta prilikom EMA).

4.3. Metodološka procjena kvalitete uključenih studija

Rezultati metodološke procjene kvalitete uključenih studija su prikazani u Tablici 2. Prosječna vrijednost ukupnog zbroja bodova studija na PEDro skali je 2,25, a raspon vrijednosti ukupnog zbroja bodova kreće se od 1 do 4 boda. Sve studije su zadovoljile kriterije 1. čestice i 11. čestice PEDro skale, dok niti jedna studija nije zadovoljila kriterije 3., 5., 6. i 7. čestice. Niska razina metodološke kvalitete studija (<3 boda) potencijalno proizlazi iz razloga što je PEDro skala primarno definirana za randomizirane-kontrolirane studije, a ovaj rad uključuje samo dvije studije takvog dizajna. Osim toga, autor je dodijelio 0 bodova za svaku česticu kod koje nije bio u potpunosti siguran zadovoljava li ta studija i čestica definirane kriterije.

Tablica 2. Prikaz metodološke kvalitete studija putem PEDro skale

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	UKUPNO (0-10)
Paschalis i sur., 2007	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1/10
Paschalis i sur., 2008	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1/10
Paschalis i sur., 2010	+	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2/10
Torres i sur., 2010	+	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	3/10
Vila-Cha i sur., 2011	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1/10
Paschalis i sur., 2013	+	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3/10
Naderi i sur., 2020	+	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	4/10
Negyesi i sur., 2021	+	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3/10

Legenda: prikaz metodološke kvalitete studija po bodovima svake od čestica PEDro skale i po ukupnom broju bodova od 0-10. + (studija zadovoljava kriterij 1.čestice PEDro skale), 0 – studija ne zadovoljava kriterij pojedine čestice, 1 – studija zadovoljava kriterij pojedine čestice

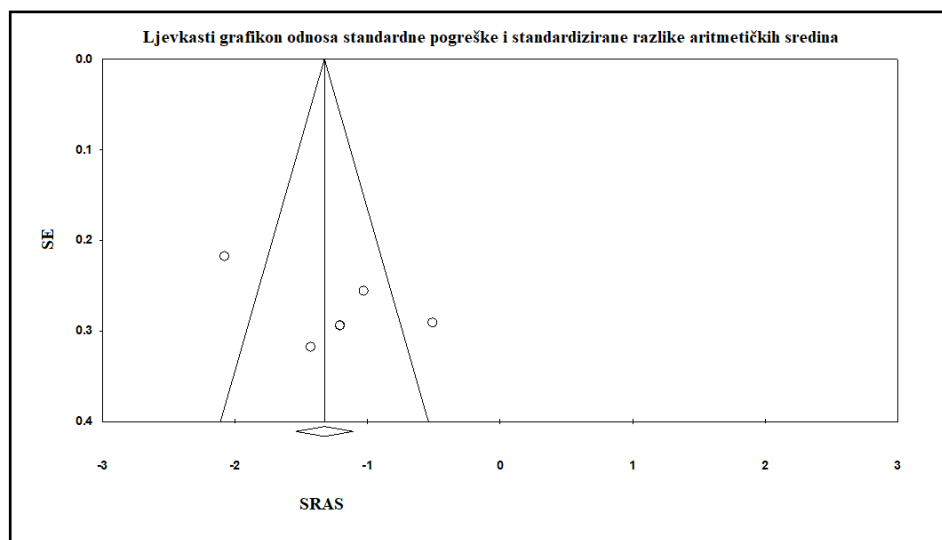
4.4. Rizik od publikacijske pristranosti

„Duval and Tweedie’s Trim and Fill” analiza napravljena je zasebno za svaku od 6 meta-analiza kako bi se utvrdio potencijalni rizik od publikacijske pristranosti. Rezultati „Trim and Fill” analize ne pokazuju postojanje rizika od publikacijske pristranosti kod 5 od 6 meta-analiza. Meta-analiza efekata EMA-e na OPZ mjenog pri srednjem kutu testiranja 1 sat nakon intervencije jedina je pokazala rizik od publikacijske pristranosti (Tablica 3). Prikaz rizika od publikacijske pristranosti za tu meta-analizu također je prikazan u pomoć ljevkastog grafikona na slici 2.

Tablica 3. Prikaz vrijednosti „Duval and Tweedie’s Trim and Fill” analize za meta-analizu efekata EMA na OPZ mjenog pri srednjem kutu testiranja 1 sat nakon intervencije

	n-trim	SRAS (95% IP)	Q-vrij.
Uočena vrijednost	-	-1,26 (-1,71 do -0,80)	21,62
Korigirana vrijednost	2	-1,54 (-2,03 do -1,06)	45,68

Legenda: n-trim – broj izbačenih studija u analizi, SRAS (95% IP) – standardizirana razlika aritmetičkih sredina i 95%-tni interval pouzdanosti, Q-vrij. – Q vrijednost

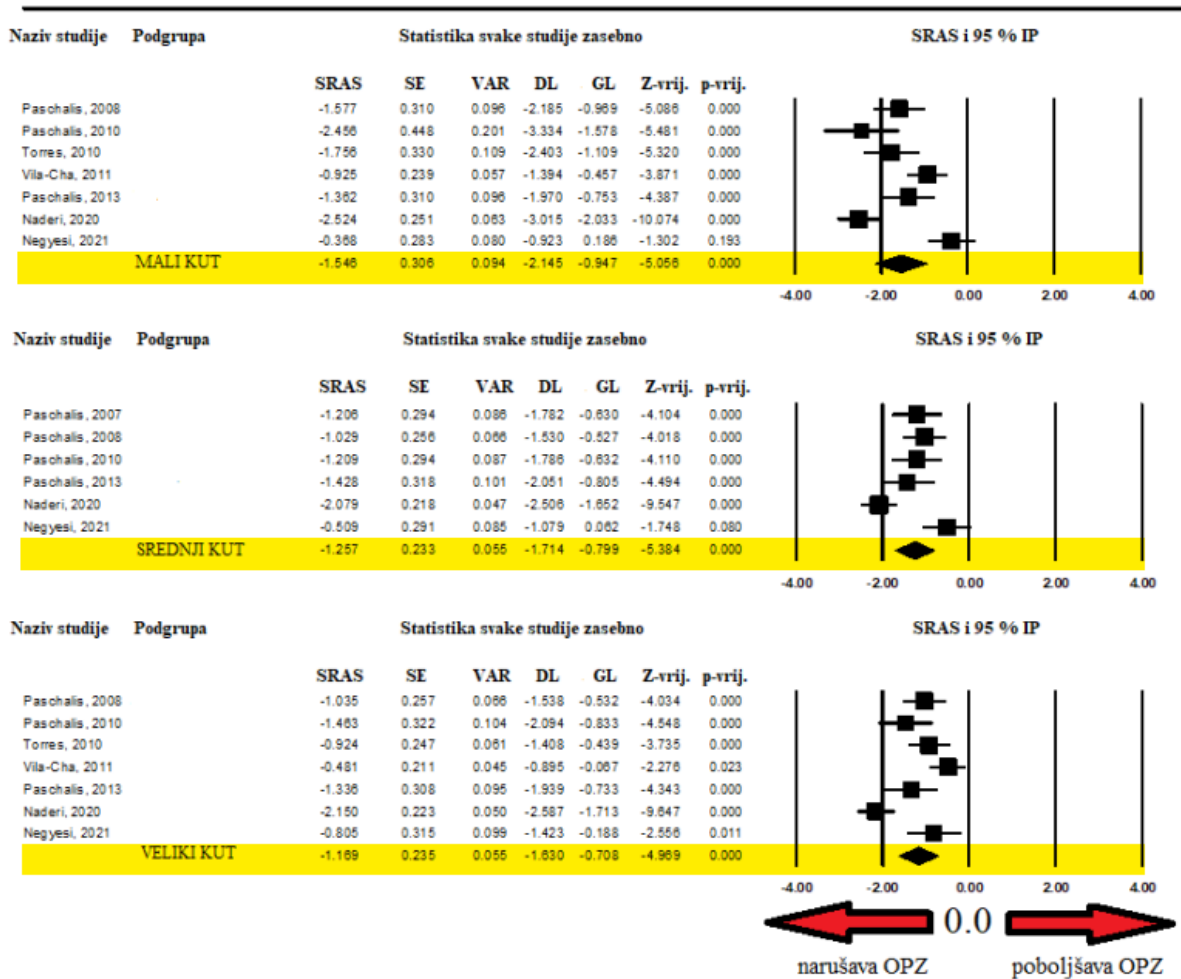


Slika 2. Prikaz ljevkastog grafikona odnosa standardne pogreške i standardizirane razlike aritmetičkih sredina

4.5. Rezultati meta-analize

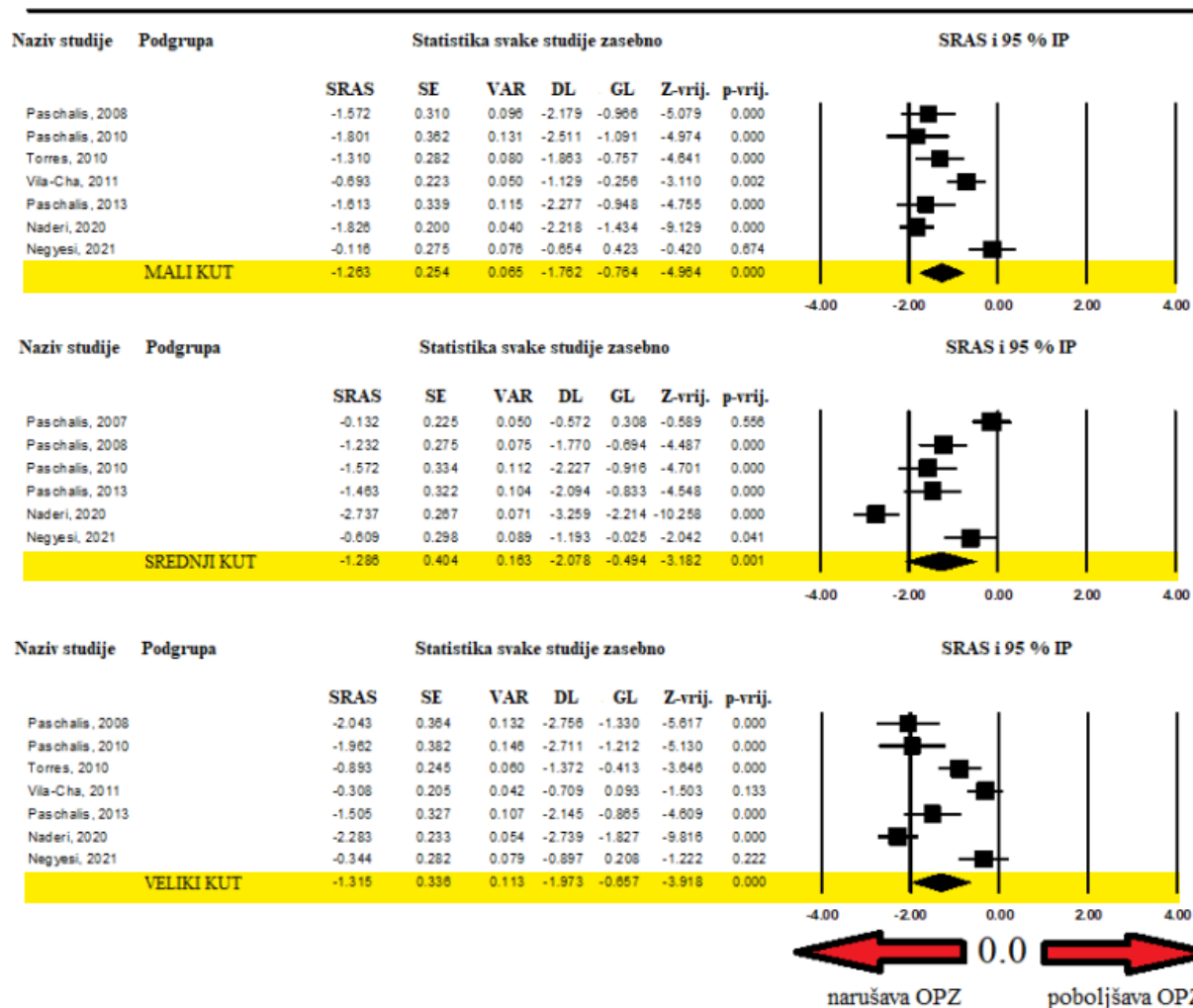
Rezultati meta-analiza konzistentno pokazuju da EMA statistički značajno narušava OPZ izražavan putem AP-a, uz razinu statističke značajnosti $p < 0,001$. Negativni učinci EMA-e na OPZ-u zgloba koljena su vidljivi 1 sat nakon primjene EMA-e pri malom, srednjem i velikom kutu testiranja OPZ-a koljena; mali kut: $n = 7$, SRAS: -1,55 (95% IP: -2,15 do -0,95); $p < 0,001$, $I^2 = 86,32$, $T^2 = 0,56$ i $T = 0,75$; srednji kut: $n = 6$, SRAS: -1,26 (95% IP: -1,71 do -0,80); $p < 0,001$, $I^2 = 76,87$, $T^2 = 0,25$, $T = 0,50$; veliki kut: $n = 7$, SRAS -1,17 (95% IP: -1,63 do -0,71); $p < 0,001$, $I^2 = 82,19$, $T^2 = 0,31$, $T = 0,56$ (slika 3). Također, slični negativni učinci EMA-e na OPZ-u koljena vidljivi su i 1 dan nakon primjene EMA-e pri malom, srednjem i velikom kutu testiranja OPZ-a; mali kut: $n = 7$, SRAS: -1,26 (95% IP: -1,76 do -0,76); $p < 0,001$, $I^2 = 83,42$, $T^2 = 0,37$, $T = 0,61$; srednji kut: $n = 6$, SRAS: -1,29 (95% IP: -2,08 do -0,49); $p < 0,001$, $I^2 = 91,89$, $T^2 = 0,90$, $T = 0,95$; veliki kut: $n = 7$, SRAS: -1,31 (95% IP: -1,97 do -0,66); $p < 0,001$, $I^2 = 90,26$, $T^2 = 0,70$, $T = 0,84$ (slika 4.). Sve meta-analize pokazale su visoku razinu statističke heterogenosti ($I^2 > 75\%$). Uzimajući u obzir prethodno navedene Cohen-ove kriterije za interpretaciju veličine učinka (Cohen, 1992), možemo zaključiti kako EMA uzrokuje veliki poremećaj OPZ-u koljena.

META-ANALIZA i analiza podgrupa(akutni učinci 1 sat nakon intervencije)



Slika 3. Prikaz meta-analize i analiza podgrupa akutnih učinaka EMA-e na OPZ koljena mjereno 1 sat nakon primjene EMA-e. SRAS – standardizirana razlika aritmetičkih sredina, 95% IP - 95%-tni interval pouzdanosti, SE – standardna pogreška, VAR – varijanca, DL – donji limit 95%-og intervala pouzdanosti, GL – gornji limit 95%-og intervala pouzdanosti, Z-vrij. – Z-vrijednost, p-vrij. – p-vrijednost. Žutom bojom su istaknuti sumarni parametri rezultata svake podgrupe.

META-ANALIZA i analiza podgrupa(akutni učinci 1 dan nakon intervencije)



Slika 4. Prikaz meta-analize i analiza podgrupa akutnih učinaka EMA-e na OPZ koljena mjereno 1 dan nakon primjene EMA-e. SRAS – standardizirana razlika aritmetičkih sredina, 95% IP - 95%-tni interval pouzdanosti, SE – standardna pogreška, VAR – varijanca, DL – donji limit 95%-og intervala pouzdanosti, GL – gornji limit 95%-og intervala pouzdanosti, Z-vrij. – Z-vrijednost, p-vrij. – p-vrijednost. Žutom bojom su istaknuti sumarni parametri rezultata svake podgrupe.

4.6. Rezultati meta-regresijske analize

Ukupno je provedeno 18 univarijatnih meta-regresijskih analiza za kovarijable broj kontrakcija, spol i pad sile, te za tri kuta testiranja OPZ-a koljena i dvije vremenske točke testiranja OPZ-a koljena.

4.6.1. Rezultati meta-regresijske analize za akutne učinke vidljive 1 sat nakon primjene EMA-e

Rezultati univarijatnih meta-regresijskih analiza za akutne učinke vidljive 1 sat nakon primjene EMA-e su prikazani u Tablici 4. Univarijatne meta-regresijske analize za spol, broj EMA i pad sile 1 sat nakon intervencije nisu pokazale statistički značajan utjecaj na heterogenost rezultata OPZ-a mjenog 1 sat nakon intervencije pri malim, srednjim i velikim kutevima, uz razinu statističke značajnosti $p < 0.05$.

4.6.2. Rezultati meta-regresijske analize za akutne učinke vidljive 1 dan nakon primjene EMA-e

Rezultati univarijatnih meta-regresijskih analiza za akutne učinke vidljive 1 dan nakon primjene EMA-e su prikazani u Tablici 5. Univarijatne meta-regresijske analize za spol i broj EMA nisu pokazale statistički značajan utjecaj na heterogenost rezultata AP-a OPZ-a mjenog 1 dan nakon intervencije EMA-e pri malim, srednjim i velikim kutevima, uz razinu statističke značajnosti $p < 0,05$. Meta-regresijska analiza za pad sile 1 dan nakon intervencije, uspjela je objasniti dio heterogenosti rezultata AP-a u poziciji zgloba mjerene 1 dan nakon intervencije za male i velike kuteve testiranja OPZ-a, ali ne i za srednje kuteve testiranja OPZ-a.

Grafički prikaz meta-regresijske analize i pravca predikcije prikazan je za statistički značajne meta-regresijske analize koje su pokazale utjecaj pada sile 1 dan nakon intervencije na AP-u u OPZ-u mjerene 1 dan nakon intervencije pri malom (slika 5) i velikom kutu testiranja (slika 6).

Tablica 4. Prikaz rezultata meta-regresijskih analiza za akutne efekte vidljive 1 sat nakon EMA-e

KOVARIJABLA	n	koef. (95%IP)	SE	T ²	R ²	I ²	z-vrij.	p-vrij.
MK1h - spol	7	-0,86 (-2,25 do 0,54)	0,71	0,51	0,09%	85,23%	-1,20	0,23
MK1h - br. kontr.	6	0,02 (-0,04 do 0,08)	0,03	0,80	0%	90,31%	0,64	0,52
MK1h - pad sile	6	-0,01 (-0,07 do 0,05)	0,03	0,82	0%	90,61%	-0,26	0,80
SK1h - spol	6	-0,40 (-1,40 do 0,59)	0,51	0,24	0,05%	75,23%	-0,80	0,42
SK1h - br. kontr.	6	-0,00 (-0,05 do 0,04)	0,02	0,31	0%	79,61%	-0,23	0,82
SK1h - pad sile	6	0,02 (-0,02 do 0,05)	0,02	0,23	0,06%	74,97%	0,87	0,38
VK1h - spol	7	-0,37 (-1,52 do 0,78)	0,59	0,34	0%	83,27%	-0,63	0,53
VK1h - br. kontr.	7	0,01 (-0,02 do 0,03)	0,01	0,38	0%	84,72%	0,45	0,66
VK1h – pad sile	6	0,01 (-0,03 do 0,06)	0,02	0,38	0,01%	84,33%	0,69	0,49

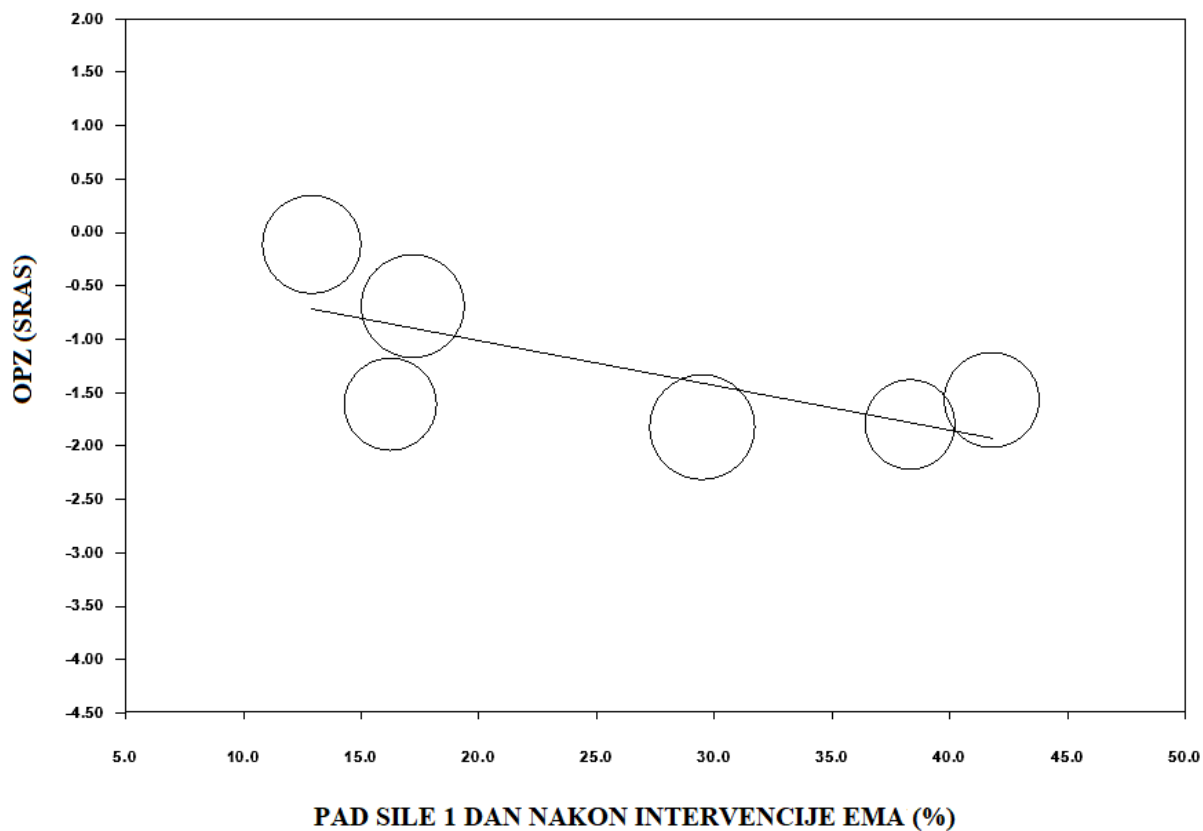
Legenda: n – broj studija u meta-regresijskoj analizi, koef. (95%IP) – regresijski koeficijent i 95 %-tni interval pouzdanosti, SE – standardna pogreška, T² - vrijednost T², R² - koeficijent determinacije, I² - vrijednost I², z-vrij. – z-vrijednost, p-vrij. – p-vrijednost, MK1h – OPZ testiran 1 sat nakon intervencije pri malom kutu, SK1h – OPZ testiran 1 sat nakon intervencije pri srednjem kutu, VK1h – OPZ testiran 1 sat nakon intervencije pri velikom kutu.

Tablica 5. Prikaz rezultata meta-regresijskih analiza za akutne efekte vidljive 1 dan nakon EMA-e

KOVARIJABLA	n	koef. (95%IP)	SE	T ²	R ²	I ²	z-vrij.	p-vrij.
MK1d - spol	6	-0,18 (-1,75 do 1,40)	0,81	0,56	0%	88,26%	-0,22	0,83
MK1d – br. kontr.	6	0,03 (-0,02 do 0,08)	0,02	0,46	0%	86,42%	1,27	0,20
MK1d – pad sile	6	-0,04 (-0,08 do 0,00)	0,02	0,21	0,53%	74,69%	-2,08	0,04
SK1d - spol	6	-1,18 (-2,59 do 0,23)	0,72	0,54	0,40%	87,08%	-1,64	0,10
SK1d – br. kontr.	6	-0,02 (-0,09 do 0,04)	0,03	0,89	0%	91,76%	-0,70	0,49
SK1d – pad sile	6	-0,04 (-0,09 do 0,02)	0,03	0,72	0,19%	89,85%	-1,24	0,22
VK1d - spol	6	-0,25 (-2,34 do 1,84)	1,06	1,03	0%	92,97%	-0,24	0,81
VK1d – br. kontr.	6	0,03 (-0,03 do 0,10)	0,03	0,87	0,01%	91,79%	1,06	0,29
VK1d – pad sile	6	-0,06 (-0,11 do -0,01)	0,02	0,34	0,62%	81,15%	-2,42	0,02

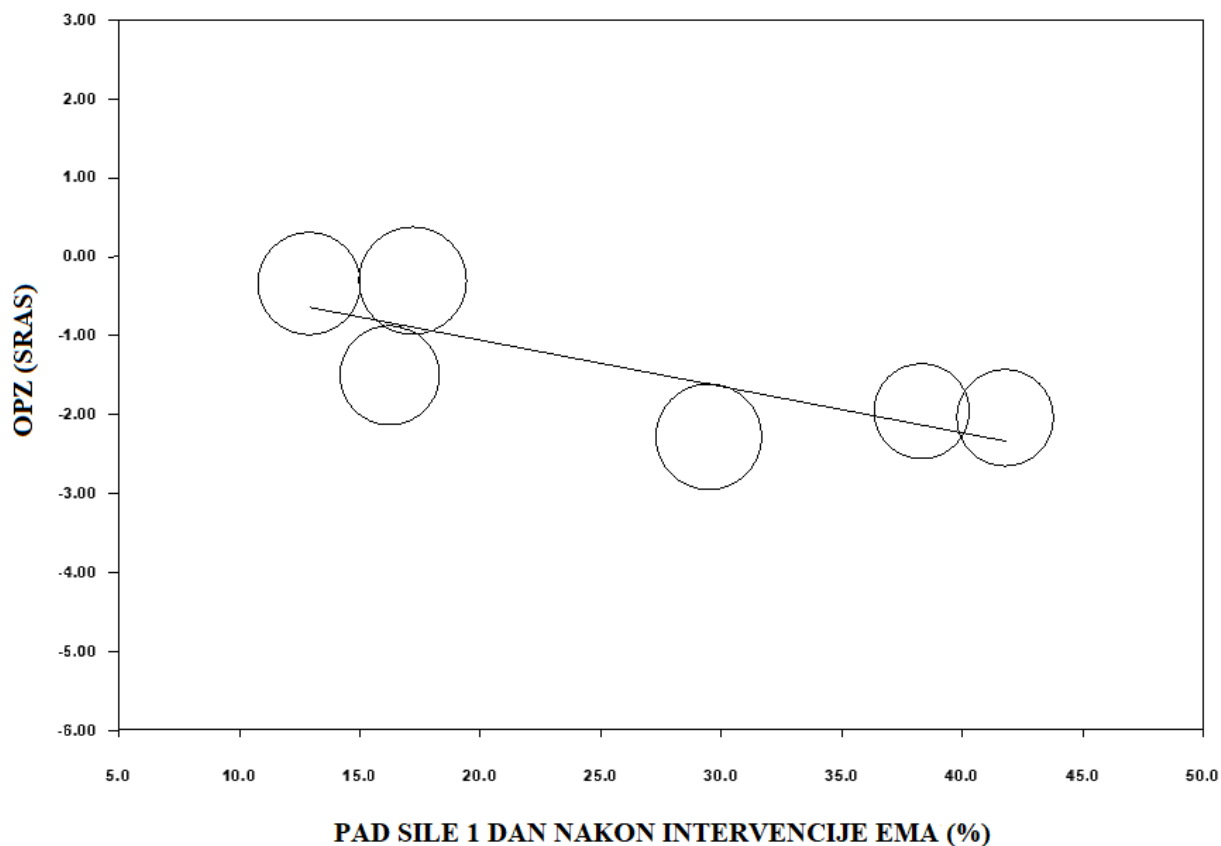
Legenda: n – broj studija u meta-regresijskoj analizi, koef. (95%IP) – regresijski koeficijent i 95 %-tni interval pouzdanosti, SE – standardna pogreška, T² - vrijednost T², R² - koeficijent determinacije, I² - vrijednost I², z-vrij. – z-vrijednost, p-vrij. – p-vrijednost, MK1d – OPZ testiran 1 dan nakon intervencije pri malom kutu, SK1d – OPZ testiran 1 dan nakon intervencije pri srednjem kutu, VK1d – OPZ testiran 1 dan nakon intervencije pri velikom kutu.

Meta-regresijska analiza pada sile 1 dan nakon intervencije EMA na OPZ pri malom kutu testiranja



Slika 5. Meta-regresijska analiza pada sile 1 dan nakon intervencije EMA-e na OPZ koljena pri malom kutu testiranja. OPZ je izražen putem standardiziranih razlika aritmetičkih sredina (SRAS), te negativne vrijednosti označavaju narušen OPZ i veći AP. Pad sile 1 dan nakon intervencije EMA-e je prikazan u postotcima (%).

Meta-regresijska analiza pada sile 1 dan nakon intervencije na OPZ pri velikom kutu testiranja



Slika 6. Meta-regresijska analiza pada sile 1 dan nakon intervencije EMA-e na OPZ koljena pri velikom kutu testiranja. OPZ je izražen putem standardiziranih razlika aritmetičkih sredina (SRAS), te negativne vrijednosti označavaju narušen OPZ i veći AP. Pad sile 1 dan nakon intervencije EMA-e je prikazan u postocima (%).

5. RASPRAVA

Rezultati ovog rada jasno ukazuju da EMA uzrokuje velike poremećaj OPZ koljena pri malom, srednjem i velikom kutu testiranja. Ti efekti su vidljivi u gotovo istoj mjeri u vremenskom periodu do 1 sat nakon EMA-e i 1 dan nakon primjene EMA-e.

Vrlo je vjerovatno da veći broj faktora utječe na promjenu OPZ-a nakon EMA-a i gotovo je nemoguće tvrditi da se navedene promjene događaju isključivo radi jednog faktora. Također nije nužno da iste neuro-fiziološke i anatomske promjene utječu na greške u OPZ-u vidljive 1h nakon EMA-e i 1 dan nakon EMA-e.

Neki od faktora koji potencijalno utječu na smanjen OPZ koljena nakon EMA-e su: mišićno oštećenje i pad sile, povećanje pasivne mišićne tenzije, nakupljanje metabolita nakon EMA-e, povećan opseg natkoljenice i posredno povećani mehanički pritisak na receptore kože, bol i DOMS efekt, kognitivni umor nakon protokola intervencije i testiranja. U daljnjoj raspravi detaljnije će biti objašnjeno kako svaki od navedenih faktora može utjecati na OPZ.

Studije Walsh i sur. (Walsh i sur., 2004; Walsh i sur., 2006) već su utvrdile povezanost između pada sile nakon EMA-e fleksora lakta i grešaka u testovima za procjenu OPZ-a, međutim druge studije nisu pronašle značajne povezanosti pada sile nakon EMA-e i narušenog OPZ-a lakta (Chen i sur., 2020) i koljena (Négyesi i sur., 2021). Prema Tsayu i sur. (2012), pad sile od 20-30% odmah nakon koncentričnih, izometričnih ili ekscentričnih mišićnih akcija može narušiti OPZ. Međutim, unutar nekoliko sati, dolazi do „oporavka” sile nakon koncentričnih i izometričnih akcija, te se i stoga greške u OPZ-u smanjuju, dok kod EMA-e taj pad sile perzistira i dan nakon, pa tako i OPZ može biti narušen i jedan dan poslje EMA-e (Tsay i sur., 2012).

Pad sile nakon EMA-e ovisi o nekoliko primarnih faktora: 1) oštećenju sarkomera, prekidu kontinuiteta Z-linija i oštećenju miofibrila osobito na brzotrzajućim vlaknima tipa II, 2) akutnom umoru, 3) smanjenom opsegu pokreta radi mišićne krutosti, 4) upalnim procesima, 5) strahom uzrokovanim radi boli pri pokretu (Naderi i sur., 2020). S obzirom na navedeno, možemo zaključiti kako pad sile odmah nakon EMA-e i pad sile 1 dan nakon EMA-e vjerojatno ovise o različitim faktorima, jer su različite fiziološke promjene prisutne u tim vremenskim okvirima. Pad sile do 1h nakon EMA-e vjerojatno je više uzrokovan povećanim nakupljanjem metabolita, a ne mišićnom štetom i oštećenjem.

Dokaz za to možemo pronaći u studiji Tsaya i sur. (2012) koji kazuju da odmah nakon koncentričnih i izometričnih mišićnih akcija postoji velik pad sile koji uvjetuje greške u OPZ-u, iako sa izometričkim i koncentričnim mišićnim akcijama ne proizvodimo značajnu mišićnu štetu. Pad sile jedan dan nakon EMA-e, kad metaboliti više nisu prisutni, može biti indikator da postoji mišićna šteta koja jednim djelom uzrokuje greške u OPZ-u. To su ustanovili Clarkson i Hubal (2002) koji navode kako je prolongirani pad sile nakon 24 sata ili više, najpouzdaniji pokazatelj mišićne štete nakon EMA-e. Clarkson i Hubal (2002) također kazuju kako pad sile nakon EMA-e ima „bimodalno ponašanje”. Po biomodalnoj teoriji pada sile, prvi pad sile je vidljiv odmah nakon EMA-e i traje nekoliko sati, nakon čega slijedi kratak oporavak sile, dok se drugi pad sile očituje nakon 20-24h.

To potencijalno obašnjava i rezultate meta-regresijske analize ove studije koja je pokazala značajan utjecaj pada sile 1 dan nakon EMA-e na greške u OPZ-u koljena pri malom i velikom kutu testiranja OPZ-a. Međutim, unutar ove studije taj efekt nije bio vidljiv pri srednjem kutu testiranja. Potencijalni razlog može biti mali broj studija u meta-regresijskoj analizi ($n = 6$) i utjecaj ostalih faktora koji utječu na greške u OPZ-u (npr. DOMS efekt, povećan opseg natkoljenice). S druge strane meta-regresijska analiza nije prikazala utjecaj pada sile 1h nakon EMA-e na greške u OPZ-u koljena 1h nakon EMA-e, bez obzira na kut testiranja. To se hipotetski može objasniti većim utjecajem nakupljanja metabolita, kognitivnog umora, ali ne i većom mišićnom štetom 1h nakon EMA-e. Iz tog razloga, mišićna šteta na miofibrilima i posljedični pad sile 1 dan nakon EMA-e, može potencijalno uzrokovati disfunkcije u intrafuzalnim mišićnim vlaknima mišićnih vretena koji su ponajviše odgovorni za OPZ i samim time stvarati veće greške OPZ-a (Torres i sur., 2010). Uz mišićna vretena, vrlo vjerovatno je smanjena i funkcija Golgijevih tetivnih organa nakon EMA-e koja doprinosi tim greškama (Chen i sur., 2020).

Nadalje, povećana pasivna mišićna tenzija je predložena kao jedan od mehanizama koji može objasniti povećanje greške u OPZ-u nakon EMA-e. Naime, smatra se kako primjećena povećana pasivna mišićna tenzija nakon EMA-e mehanički „rasterećuje” mišićna vretena, te to „rasterećenje” mišićnih vlakana tada može uzrokovati smanjenu živčanu aktivnost mišićnog vretena i posljedično veće konstantne greške u OPZ-u koljena u smjeru ekstenzije (Paschalis i sur., 2008). Kontradiktorno tome, eksperiment EMA izveden na mišiću mačke nije pokazao promjenu

živčane funkcije mišićnih vretena, stoga ostaje upitno koliko hipoteza o pasivnoj mišićnoj tenziji objašnjava greške u OPZ-u nakon EMA-e (Gregory i sur., 2004; Paschalis i sur., 2008)

Nakon EMA-e povećava se opseg ekstremiteta, što je pokazano na zglobu lakta nakon EMA-e fleksora lakta (Nosaka i Sakamoto, 2001). Pretpostavlja se da povećan opseg ekstremiteta može uzrokovati povećan pritisak na mehanoreceptore kože, te zbog toga osobe tendiraju postavljati ekstremitet u ispruženiji kut u odnosu na referentni kut, kako bi smanjili pritisak na kožne receptore. Ova meta-analiza ne uzima u obzir smjer u kojem su greške OPZ-u napravljene, stoga ovu hipotezu treba eksperimentalno testirati. Također, povećan opseg ekstremiteta je najvidljiviji tek nakon 2-3 dana od iniciranja EMA-e (Nosaka i Sakamoto, 2001.), stoga greške vidljive 1 sat i 1 dan nakon EMA-e vjerovatno nisu dominantno uzrokovane disfunkcijom kožnih receptora.

Poznato je kako EMA uzrokuje DOMS efekt (Hody i sur., 2019). DOMS efekt postaje najizraženiji nakon 24-72h od iniciranja EMA-e (Douglas i sur., 2017). DOMS efekt karakterizira osjećaj „upale” mišića i povećana bol prilikom pokreta i pritiska mišića (Hody i sur., 2019). Upravo povećana bol nakon 24 h može potencijalno objasniti dio negativnih efekata EMA-e na OPZ. Bol može skrenuti pažnju sa motoričkog zadatka procjene propriocepcije i na taj način uzrokovati povećane greške u mjerenju OPZ-a (Naderi i sur., 2020; Vila-Chã i sur., 2011). Upravo su sve studije unutar ove meta-analize koristile ipsilateralni zadatak repozicije kuta koji uključuje pažnju i memoriranje kuta prilikom procjene OPZ-a, stoga dio grešaka vidljiv 1 dan nakon intervencije EMA-e može se objasniti putem utjecaja boli na pažnju i kognitivne procese koji uključuju memoriranje pozicije zgloba. S druge strane, bol nije u tolikoj mjeri prisutna 1 sat nakon EMA-e, međutim postoji mogućnost da je i tada pažnja smanjena nakon zamornog protokola testiranja OPZ-a i intervencije EMA-e. To dovodi u mogućnost teoriju da ispitanici nemaju isti kognitivni kapacitet i pažnju za memoriranje kuta ako su testirani odmah nakon EMA-e, što je bio slučaj u pojedinim studijama.

Iz navedenih razloga, pretpostavlja se da EMA ima negativan utjecaj na OPZ radi većeg broja faktora, od kojih su neki dominantno odgovorni za greške vidljive 1 sat nakon EMA-e (nakupljanje metabolita, kognitivni zamor, disfunkcija mišićnih vretena), dok su potencijalno drugi faktori odgovorni za greške vidljive 1 dan nakon EMA-e (pad sile i mišićna šteta, bol i DOMS efekt, disfunkcija kožnih receptora).

Navedeno nam predstavlja spoznaju da bi ljudsko tijelo trebali promatrati kao cjelinu, te fokusiranje na utjecaj samo jednog faktora koji objašnjava funkcioniranje cijelog sustava može predstavljati pogrešan i redukcionistički način viđenja problema.

Autor rada predlaže hipotezu o „kontinuumu dinamičkih promjena” koje se događaju nakon EMA-e, gdje ovisno o vremenu nakon EMA-e, drugačije funkcionalne i strukturalne promjene uvjetuju u manjoj ili većoj mjeri greške u OPZ-u. Kontinuum narušenog OPZ-a i promjena nakon EMA-e dominantno započinje velikim metaboličkim stresom, akutnim kognitivnim i živčanim zamorom u prvih nekoliko minuta i sati nakon EMA-e. U tom periodu tek blago započinje mišićna šteta i DOMS efekt, koji kulminiraju tek 24-48h nakon EMA-e. Jedan do dva dana nakon EMA-e (24-48h nakon EMA-e) se znatno povećava mišićna bolnost, opseg ekstremiteta i narušava se struktura mišićnih vlakana i mišićnih receptora, ali metaboliti i kognitivni umor više nisu prisutni. Dva do tri dana nakon EMA-e (48-72h nakon), mehanički pritisak na receptore kože dostiže svoj vrhunac i uvjetuje dio grešaka u OPZ-u. Nakon 72h u pravilu, velik dio ovih efekata više nije postojan, stoga OPZ prestaje biti narušen. Vremenski period nastupanja ovih promjena, njihov intenzitet i trajanje mogu varirati ovisno o broju EMA, intenzitetu EMA, opsegu pokreta prilikom EMA i mišićnoj skupini koja je zamorena.

Naposlijetku, valja naglasiti nekoliko metodoloških i praktičnih nedostataka ove studije. Meta-analize i meta-regresijske analize su napravljene na relativno malom broju studija, što je jednim dijelom uzrokovalo veliku heterogenost rezultata i široki interval pouzdanosti. Ipak, s druge strane, efekti skoro svih pojedinačnih studija konzistentno pokazuju prosječno velike efekte (> 0.80 SRAS) vidljive u istom (negativnom) smjeru. Iz tog razloga i široki interval pouzdanosti vidljiv putem gornjih i donjih granica intervala pouzdanosti svake meta-analize, prikazuje da su efekti u „najgorem slučaju” zasigurno srednji (> 0.50) ili veliki (> 0.80 SRAS).

Drugi nedostatak ove studije je niska razina metodološke kvalitete studija (< 3 boda u prosjeku na PEDro skali) i procjena metodološke kvalitete studija od strane samo jednog istraživača. Niska metodološka kvaliteta je uvelike uvjetovana time što je PEDro skala napravljena za randomizirane-kontrolirane studije, dok su u ovoj studiji bili prisutni i ostali dizajni studija poput nerandomiziranih kontroliranih studija ili studija sa pre-post dizajnom. Autor je potencijalno mogao koristiti drugu skalu dizajniranu za pre-post studije ili nerandomizirane kontrolirane studije i na taj način procjenjena kvaliteta studija bi zasigurno bila veća.

Nadalje, prikazan je rizik od publikacijske pristranosti za jednu meta-analizu. Iako je rizik od publikacijske pristranosti vidljiv za tu meta-analizu, čini se da bi efekt te meta-analize bio još veći kad bi se isključile i nadopunile studije koje uzrokuju asimetriju na ljevkastom grafikonu, što pokazuju korigirane vrijednosti sumarnih efekata nakon „Trim and Fill” metode.

Sa stajališta praktičnosti i primjene rezultata ove meta-analize, vidljivi su višestruki limiti. Iako je meta-analiza pokazala statistički značajne i robusne dokaze kako EMA može narušiti OPZ, praktična značajnost tih efekata i promjena je nepoznata. I dalje zapravo ne znamo utječe li narušen OPZ koljena nakon EMA-e na ozljede i performanse u sportu, te ako i utječe, ne znamo kolika vrijednost narušenog OPZ-a osobu stavlja u povećan rizik za ozljedu. Pojedine studije koje su istraživale poveznice između narušenog OPZ-a i ozljeda donjih ekstremiteta pokazuju konfliktne rezultate i takve studije nisu proučavale OPZ u uvjetima umora nakon EMA (Namazi i sur., 2020; Payne i sur., 1997; Smith i sur., 2021; Willems i sur., 2005). Nedavno objavljene studije prikazale su da narušen OPZ ne predstavlja rizični čimbenik za nastanak ozljeda donjih ekstremiteta (Namazi i sur., 2020; Smith i sur., 2021), dok s druge postoje studije koje su utvrdile povećan rizik za ozljedu donjih ekstremiteta ukoliko je OPZ narušen (Payne i sur., 1997; Willems i sur., 2005; Mohammadi i sur., 2013). Po autorovom saznanju jedino je studija Mohammadia i sur. (2013) primjenila testiranje u uvjetima umora i ona je pokazala kako narušen OPZ povećava rizik za nastanak ozljeda donjih ekstremiteta kod populacije vojnika. Također, podaci iz studije Salgada i sur. (2015) pokazali su kako je OPZ mjereno putem AP-a poboljšano nakon nogometnog protokola zagrijavanja, a uvelike je narušeno nakon 90-minutne nogometne utakmice, što također kazuje o negativnom utjecaju umora na OPZ i potrebi da se OPZ evaluira u uvjetima umora, kada su deficiti u kinesteziji izraženiji u odnosu na stanje prije aktivnosti ili na stanje nakon zagrijavanja.

Nadalje, moguće je kritizirati kako način testiranja kinestezije prikazan u ovom radu, ne reflektira kinesteziju potrebnu za izvedbu višezglobnih, multiplanarnih i kompleksnih motoričkih obrazaca koji se događaju u sportu. S druge strane i neki drugi testovi, poput testa jakosti fleksora i ekstenzora koljena na izokinetičkom dinamometru ili testa ekscentrične jakosti mišića stražnje lože na dinamometru nisu specifični i slični uobičajnim kretnjama koje se dešavaju u sportu, ali imaju veliku prediktivnu vrijednost u kontekstu ozljeda unutar tih sportova (npr. ozljeda u nogometu).

Osim toga, EMA je u studijama unutar ove meta-analize inicirana u otvorenom kinetičkom lancu u zglobu koljena. Iz tog razloga, ovi rezultati se ne mogu u potpunosti ekstrapolirati na druge zglobove u tijelu i na efekte koje bi vidjeli intervencijom EMA-e u zatvorenom kinetičkom lancu.

Posljednje, valja napomenuti kako je ovaj rad uzeo u obzir analizu promjena i ponašanje OPZ-a putem AP-a, ali ne i putem konstantne i varijabilne pogreške. Iz tog razloga nije poznato u kojem smjeru su ispitanici u prosjeku činili pogreške, niti koliko su bili konzistentni u tim pogreškama.

6. ZAKLJUČAK

Iako dugotrajna primjena EMA može izazvati brojne strukturalne i funkcionalne adaptacije živčano-mišićnog sustava, valja naglasiti da EMA može imati nepoželjne akutne učinke.

Rezultati ovog sustavnog pregleda i meta-analize prikazuju robustan dokaz da primjena EMA akutno narušava OPZ koljena kod zdravih netreniranih osoba, mjeren ispilateralnim testom repozicije kuta u otvorenom kinetičkom lancu. Takvi efekti su vidljivi 1 sat nakon primjene EMA-e i 1 dan nakon primjene EMA-e. Također, utvrđeno je da pad sile 1 dan nakon EMA-e uzrokuje povećanje AP-s OPZ-a koljena kod malih i velikih kuteva testiranja.

Temeljem rezultata isključivo ove meta-analize, nije moguće sa velikom sigurnošću tvrditi kako će narušen OPZ koljena nakon EMA-e biti predispozicija za ozljedu koljena ili smanjene performanse u izvedbi zadataka preciznosti, s obzirom da nedostaje kvalitetnih dokaza o uzročno-posljedičnim vezama između narušenog OPZ-a koljena i ozljeda koljena nakon EMA-e, te narušenog OPZ-a koljena i preciznosti. Iz tog razloga ne postoji mogućnost davanja čvrstih praktičnih preporuka koji bi se temeljili samo na ovoj studiji koja ima navedene nedostatke. Ipak, uzimajući sve limite ove studije u obzir i vodeći se principima medicinske znanosti utemeljene na dokazima, ova meta-analiza trenutno predstavlja najbolji raspoloživi dokaz o utjecaju EMA-e na OPZ-a koljena, te određene sugestije za praktičan rad mogu biti predložene u kontekstu dosadašnjeg skupa dokaza o EMA-u koji uključuju i dokaze ove studije.

Uzimajući u obzir širu sliku o dobro poznatim akutnim negativnim efektima EMA iz većeg broja studija (pad sile, narušen OPZ, smanjen opseg pokreta, DOMS efekt), možemo reći kako određena razina opreza ipak treba biti uzeta u obzir prilikom planiranja, programiranja i primjene EMA-e kod netreniranih osoba. Shodno tome, prilikom programiranja treninga ili rehabilitacije koja uključuje EMA-u, uputno je uzeti u obzir: dob i spol osobe, iskustvo u treningu s otporom, fazu rehabilitacije ili dio natjecateljske sezone, prethodne ozljede, odnos akutnog i kroničnog opterećenja, sport i aktivnosti kojima se osoba bavi, kontekst i ciljeve prethodnih i sljedećih treninga/terapija, vrijeme raspoloživo za odmor do sljedeće trenažne epizode ili terapije.

Kako bi smanjili negativne akutne efekte EMA-e i na temelju prethodno navedenih faktora adaptirali živčano-mišićni sustav na EMA-u, potrebna je progresija u opterećenju koja se temelji na manipulaciji sljedećim varijablama opterećenja: ukupnom broju EMA-i, opsegu pokreta, intenzitetu EMA-e, broju vježbi po mišićnoj skupini.

Ukoliko se optimiziraju navedeni faktori i poštuje navedena progresija, za očekivati je da će se osoba nakon nekoliko trenažnih epizoda adaptirati na EMA-u, te da će nakon svake sljedeće primjene EMA negativni akutni efekti biti manji i kraćeg trajanja. Taj efekt je u literaturi poznat pod nazivom „efekt ponavljanih sesija ekscentričnih mišićnih akcija” (*eng. RBE – repeated bout effect*).

Radi oskudnosti kvalitetnih studija visoke razine dokazne snage koja povezuju područje kinestezije, ozljeda i preciznosti, autor predlaže daljnja istraživanja koja bi utvrdila postoji li uzročno posljedična veza između narušenog OPZ-a koljena i ozljeda, te veza između narušenog OPZ-a zgloba nakon EMA-e i izvedbe u zadacima preciznosti.

7. LITERATURA

- Abbott, B. C., Bigland, B., & Ritchie, J. M. (1952). The physiological cost of negative work. *The Journal of Physiology*, *117*(3), 380–390. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1952.sp004755>
- Bram, J. T., Magee, L. C., Mehta, N. N., Patel, N. M., & Ganley, T. J. (2021). Anterior Cruciate Ligament Injury Incidence in Adolescent Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *American Journal of Sports Medicine*, *49*(7), 1962–1972. <https://doi.org/10.1177/0363546520959619>
- Chen, T. C., Huang, G.-L., Hsieh, C.-C., Tseng, K.-W., Tseng, W.-C., Chou, T.-Y., & Nosaka, K. (2020). Comparison among three different intensities of eccentric contractions of the elbow flexors resulting in the same strength loss at one day post-exercise for changes in indirect muscle damage markers. *European Journal of Applied Physiology*, *120*(1), 267–279. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04272-w>
- Clarkson, P. M., & Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, *81*(11 SUPPL.), 52–69. <https://doi.org/10.1097/00002060-200211001-00007>
- de Morton, N. A. (2009). The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. U *Australian Journal of Physiotherapy* (Sv. 55, Izdanje 2, str. 129–133). [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(09\)70043-1](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(09)70043-1)
- Donnell-Fink, L. A., Klara, K., Collins, J. E., Yang, H. Y., Goczalk, M. G., Katz, J. N., & Losina, E. (2015). Effectiveness of knee injury and anterior cruciate ligament tear prevention programs: A meta-analysis. *PLoS ONE*, *10*(12), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144063>
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2017). Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Medicine*, *47*(4), 663–675. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0624-8>
- Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2011). Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *American Journal of Sports Medicine*, *39*(6), 1226–1232. <https://doi.org/10.1177/0363546510395879>
- Filbay, S. R., & Grindem, H. (2019). Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Practice and Research: Clinical*

- Rheumatology*, 33(1), 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2019.01.018>
- Francis, P., Whatman, C., Sheerin, K., Hume, P., & Johnson, M. I. (2019). The proportion of lower limb running injuries by gender, anatomical location and specific pathology: A systematic review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 18(1), 21–31.
- Gabbett, T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273–280.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
- Goble, D. J. (2010). Proprioceptive acuity assessment via joint position matching: From basic science to general practice. *Physical Therapy*, 90(8), 1176–1184.
<https://doi.org/10.2522/ptj.20090399>
- Hillier, S., Immink, M., & Thewlis, D. (2015). Assessing Proprioception: A Systematic Review of Possibilities. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 29(10), 933–949.
<https://doi.org/10.1177/1545968315573055>
- Hody, S., Croisier, J. L., Bury, T., Rogister, B., & Leprince, P. (2019). Eccentric muscle contractions: Risks and benefits. *Frontiers in Physiology*, 10(MAY), 1–18.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00536>
- Hyldahl, R. D., & Hubal, M. J. (2014). Lengthening our perspective: Morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. *Muscle and Nerve*, 49(2), 155–170.
<https://doi.org/10.1002/mus.24077>
- King, D., Yakubek, G., Chughtai, M., Khlopas, A., Saluan, P., Mont, M. A., & Genin, J. (2019). Quadriceps tendinopathy: a review—part 1: epidemiology and diagnosis. *Annals of Translational Medicine*, 7(4), 71–71. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.01.58>
- Lauritzen, F., Paulsen, G., Raastad, T., Bergersen, L. H., & Owe, S. G. (2009). Gross ultrastructural changes and necrotic fiber segments in elbow flexor muscles after maximal voluntary eccentric action in humans. *Journal of Applied Physiology*, 107(6), 1923–1934.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00148.2009>
- Lin, M.-J., Nosaka, K., Ho, C.-C., Chen, H.-L., Tseng, K.-W., Ratel, S., & Chen, T. C.-C. (2018). Influence of maturation status on eccentric exercise-induced muscle damage and the repeated bout effect in females. *Frontiers in Physiology*, 8(JAN).
<https://doi.org/10.3389/fphys.2017.01118>
- Lindstedt, S. L., LaStayo, P. C., & Reich, T. E. (2001). When active muscles lengthen:

- Properties and consequences of eccentric contractions. *News in Physiological Sciences*, 16(6), 256–261. <https://doi.org/10.1152/physiologyonline.2001.16.6.256>
- Lohmander, L. S., Englund, P. M., Dahl, L. L., & Roos, E. M. (2007). The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: Osteoarthritis. *American Journal of Sports Medicine*, 35(10), 1756–1769. <https://doi.org/10.1177/0363546507307396>
- Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M., & Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Physical Therapy*, 83(8), 713–721. <https://doi.org/10.1093/ptj/83.8.713>
- Majewski, M., Susanne, H., & Klaus, S. (2006). Epidemiology of athletic knee injuries: A 10-year study. *Knee*, 13(3), 184–188. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2006.01.005>
- Naderi, A., Rezvani, M. H., & Degens, H. (2020). Foam rolling and muscle and joint proprioception after exercise-induced muscle damage. *Journal of Athletic Training*, 55(1), 58–64. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-459-18>
- Namazi, P., Zarei, M., Abbasi, H., Hovanloo, F., Rommers, N., & Rössler, R. (2020). Proprioception is not associated with lower extremity injuries in U21 high-level football players. *European Journal of Sport Science*, 20(6), 839–844. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1662492>
- Négyesi, J., Zhang, L. Y., Jin, R. N., Hortobágyi, T., & Nagatomi, R. (2021). A below-knee compression garment reduces fatigue-induced strength loss but not knee joint position sense errors. *European Journal of Applied Physiology*, 121(1), 219–229. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04507-1>
- Nessler, T., Denney, L., & Sampley, J. (2017). ACL Injury Prevention: What Does Research Tell Us? *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 10(3), 281–288. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9416-5>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Giakas, G., Jamurtas, A. Z., Owolabi, E. O., & Koutedakis, Y.

- (2008). Position sense and reaction angle after eccentric exercise: The repeated bout effect. *European Journal of Applied Physiology*, *103*(1), 9–18. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0663-9>
- Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Giakas, G., Jamurtas, A. Z., Pappas, A., & Koutedakis, Y. (2007). The effect of eccentric exercise on position sense and joint reaction angle of the lower limbs. *Muscle and Nerve*, *35*(4), 496–503. <https://doi.org/10.1002/mus.20723>
- Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Theodorou, A. A., Giakas, G., Jamurtas, A. Z., & Koutedakis, Y. (2010). Eccentric exercise affects the upper limbs more than the lower limbs in position sense and reaction angle. *Journal of Sports Sciences*, *28*(1), 33–43. <https://doi.org/10.1080/02640410903334764>
- Payne, K. A., Berg, K., & Latin, R. W. (1997). Ankle injuries and ankle strength, flexibility, and proprioception in college basketball players. *Journal of Athletic Training*, *32*(3), 221–225.
- Proske, U. (2019). Exercise, fatigue and proprioception: a retrospective. *Experimental Brain Research*, *237*(10), 2447–2459. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05634-8>
- Proske, Uwe, & Gandevia, S. C. (2012). The proprioceptive senses: Their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological Reviews*, *92*(4), 1651–1697. <https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2011>
- Proske, Uwe, & Gandevia, S. C. (2018). Kinesthetic senses. *Comprehensive Physiology*, *8*(3), 1157–1183. <https://doi.org/10.1002/cphy.c170036>
- Salgado, E., Ribeiro, F., & Oliveira, J. (2015). Joint-position sense is altered by football pre-participation warm-up exercise and match induced fatigue. *Knee*, *22*(3), 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2014.10.002>
- Saw, R., Finch, C. F., Samra, D., Baquie, P., Cardoso, T., Hope, D., & Orchard, J. W. (2018). Injuries in Australian Rules Football: An Overview of Injury Rates, Patterns, and Mechanisms Across All Levels of Play. *Sports Health*, *10*(3), 208–216. <https://doi.org/10.1177/1941738117726070>
- Secrist, E. S., Bhat, S. B., & Dodson, C. C. (2016). The Financial and Professional Impact of Anterior Cruciate Ligament Injuries in National Football League Athletes. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, *4*(8), 1–7. <https://doi.org/10.1177/2325967116663921>
- Silvers-Granelli, H. J., Cohen, M., Espregueira-Mendes, J., & Mandelbaum, B. (2021). Hamstring muscle injury in the athlete: State of the art. U *Journal of ISAKOS* (Sv. 6,

- Izdanje 3, str. 170–181). <https://doi.org/10.1136/jisakos-2017-000145>
- Smith, N. A., Cameron, M., Treleaven, J., & Hides, J. A. (2021). Lower limb joint position sense and prospective hamstring injury. U *Musculoskeletal Science and Practice* (Sv. 53). <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2021.102371>
- Takasaki, H., Lim, E. C. W., & Soon, B. (2016). The effect of shoulder muscle fatigue on active repositioning acuity and scapulothoracic resting alignment: A systematic review with meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 20, 61–78. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.01.001>
- Torres, R., Vasques, J., Duarte, J. A., & Cabri, J. M. H. (2010). Knee proprioception after exercise-induced muscle damage. *International Journal of Sports Medicine*, 31(6), 410–415. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248285>
- Tsay, A., Allen, T. J., Leung, M., & Proske, U. (2012). The fall in force after exercise disturbs position sense at the human forearm. *Experimental Brain Research*, 222(4), 415–425. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3228-z>
- Van Der Horst, N., Smits, D. W., Petersen, J., Goedhart, E. A., & Backx, F. J. G. (2015). The Preventive Effect of the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injuries in Amateur Soccer Players: A Randomized Controlled Trial. *American Journal of Sports Medicine*, 43(6), 1316–1323. <https://doi.org/10.1177/0363546515574057>
- Van Dyk, N., Behan, F. P., & Whiteley, R. (2019). Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programmes halves the rate of hamstring injuries: A systematic review and meta-analysis of 8459 athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 53(21), 1362–1370. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100045>
- Vila-Chã, C., Riis, S., Lund, D., Møller, A., Farina, D., & Falla, D. (2011). Effect of unaccustomed eccentric exercise on proprioception of the knee in weight and non-weight bearing tasks. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(1), 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.10.001>
- Vogt, M., & Hoppeler, H. H. (2014). Eccentric exercise: Mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. *Journal of Applied Physiology*, 116(11), 1446–1454. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00146.2013>
- Walsh, L. D., Allen, T. J., Gandevia, S. C., & Proske, U. (2006). Effect of eccentric exercise on position sense at the human forearm in different postures. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1109–1116. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01303.2005>

- Walsh, L. D., Hesse, C. W., Morgan, D. L., & Proske, U. (2004). Human forearm position sense after fatigue of elbow flexor muscles. *Journal of Physiology*, *558*(2), 705–715.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.062703>
- Willems, T. M., Witvrouw, E., Delbaere, K., Philippaerts, R., De Bourdeaudhuij, I., & De Clercq, D. (2005). Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in females - A prospective study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *15*(5), 336–345. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00428.x>

8. PRILOZI

PRILOG 1. Detaljan prikaz pretrage elektroničkih baza podataka

Ukupno rezultata pretrage: 450 rezultata

Web of Science (WoS)

178 rezultata

AB=(eccentric* OR eccentric training OR eccentric exercis* OR eccentric contracti* OR eccentric muscle action* OR lengthening contracti*) AND AB=(position sense OR kinesthesia OR proprioception)

TI=(eccentric* OR eccentric training OR eccentric exercis* OR eccentric contracti* OR eccentric muscle action* OR lengthening contracti*) AND TI=(position sense OR kinesthesia OR proprioception)

TI=(eccentric* OR eccentric training OR eccentric exercis* OR eccentric contracti* OR eccentric muscle action* OR lengthening contracti*) AND AB=(position sense OR kinesthesia OR proprioception)

AB=(eccentric* OR eccentric training OR eccentric exercis* OR eccentric contracti* OR eccentric muscle action* OR lengthening contracti*) AND TI=(position sense OR kinesthesia OR proprioception)

#4 OR #3 OR #2 OR #1

PubMed

104 rezultata

(eccentric*[Title/Abstract] OR "eccentric training"*[Title/Abstract] OR "eccentric exercis"*[Title/Abstract] OR eccentric contraction*[Title/Abstract] OR eccentric muscle action*[Title/Abstract] OR "lengthening contraction"*[Title/Abstract]) AND (position sense[Title/Abstract] OR kinesthesia[Title/Abstract] OR proprioception[Title/Abstract])

Scopus

168 rezultata

(TITLE-ABS(eccentric*) OR TITLE-ABS(eccentric training*) OR TITLE-ABS(eccentric exercis*) OR TITLE-ABS(eccentric contraction*) OR TITLE-ABS(eccentric muscle action*) OR TITLE-ABS(lengthening contraction*)) AND (TITLE-ABS(position sense) OR TITLE-ABS(kinesthesia) OR TITLE-ABS(proprioception))

PRILOG 2. Detaljan prikaz PICO kriterija

PICOS karakteristika	Kriteriji
(P) Populacija	
Uključujući:	Populacija zdravih odraslih osoba muškog i ženskog spola.
Isključujući:	Specifične populacije (npr. slijepi, osobe s bolnim sindromima koji se referiraju u lokomotornom sustavu, osobe u akutnim fazama nakon operativnih zahvata, trudnice, osobe koje koriste protuupalne lijekove, osobe s ITM manjim od 18,5 ili većim od 24,9 kg/m ² , trenirane osobe koje koriste metodu ekscentričnog treninga ili trening s otporom u posljednjih 3 mjeseca, osobe s invaliditetom..).
(I) Intervencija	
Uključujući:	Trajanje interevncije: minimalno jedna serija od 5 ili više ponavljanja EMA-e fleksora ili ekstenzora koljena . Ekscentrične mišićne akcije: Jednozglobni pokreti u koljenom zglobu u kojem kontrolirano savladavamo opterećenje isključivo u ekscentričnoj fazi pokreta na jednom ekstremitetu (ekscentričnom mišićnom akcijom fleksora ili ekstenzora koljena)
Isključujući:	Studije koje su koristile manje od 5 EMA ili studije koje nisu primjenile EMA-u na zglobu koljena. Studije koje su koristile kombinaciju ekscentrično-koncentrične ili ekscentrično-izometrične mišićne akcije. Intervencije koje su prije ili poslje EMA-e , a poslje zagrijavanja i prvog mjerenja osjećaja za poziciju zgloba uključivale drugu intervenciju koja može utjecati na promjenu osjećaja za poziciju zgloba (npr. krioterapija, hladni oblozi, topli oblozi, foam rolling, kinesiotape, ortoze, gips, vibracije, istezanje)
(C) Usporedba	
Uključujući:	Bez kriterija za usporedbu (uključene su studije sa i bez usporedbe sa kontrolnom grupom).
Isključujući:	Bez isključujućih kriterija za usporedbu.
(O) Ishod	
Uključujući:	Osjećaj za poziciju zgloba (OPZ): Osjećaj za poziciju zgloba koljena mjeren ipsilateralnim testom u otvorenom kinetičkom lancu bez vizualne kontrole i izražen putem AP-a koji se prikazuje u stupnjevima ili radijanima. AP se izračunava u apsolutnim vrijednostima kao razlika između reproduciranog kuta u zglobu i referentnog kuta u zglobu. Studije koje imaju podatke o AP prije i nakon intervencije EMA.
Isključujući:	Studije bez podataka o AP-u prije ili nakon intervencije EMA-e (do 1 dan nakon primjene EMA-e). Studije u kojima je došlo do ozljede ispitanika prilikom testiranja OPZ-a.
(S) Dizajn studija	
Uključujući:	Eksperimentalne studije ((randomizirane kontrolirane studije, randomizirane crossover studije i ne-randomizirane kontrolirane studije (kvazi-eksperimentalne studije)) i studije sa prije-poslije dizajnom (eng. pre-post study design)
Isključujući:	Sve studije koje nisu eksperimentlne/kvazi-eksperimentalne ili koje ne posjeduju prije-poslije dizajn studije.