



Urška Ličen,
Žiga Kozinc

Ekscentrično-kvazi-izometrična vadba: pregled raziskav o biomehanskih značilnosti in akutnih učinkih

Izvleček

Ekscentrična kvaziizometrična (EKI) vadba je razmeroma nova metoda vadbe proti uporabi, pri kateri se submaksimalna izometrična kontrakcija kombinira z maksimalnim ekscentričnim upiranjem. Namen prispevka je pregledati razpoložljivo znanstveno literaturo o EKI-vadbi in povzeti dozdajšnje ugotovitve. V pregled smo vključili šest študij, ki so obravnavale akutne učinke EKI-kontraktij na biomehanske, mišičnoaktivacijske in morfološke spremenljivke. Večina raziskav je bila izvedena na mladih odraslih ter je vključevala iztegovalke in upogibalke kolena ter upogibalke komolca. Ugotovljene so bile razlike v utrujenosti po EKI-vadbi, pri času pod napetostjo, navoru in mišični aktivaciji glede na spol in mišično skupino med EKI. V primerjavi s klasično ekscentrično in izotonično vadbo je EKI povzročila manj zapoznele mišične bolečine in s tem povezanih negativnih sprememb kljub enaki kumulativni mehanski obremenitvi. Kljub obetavnim rezultatom je področje še vedno slabo raziskano. Za celovito razumevanje učinkov in morebitne uporabe EKI-vadbe v športu, rehabilitaciji in preventivi so potrebne dodatne raziskave.

Ključne besede: ekscentrična vadba, kvaziizometrična kontrakcija, mišična aktivacija, biomehanika, utrujenost, rehabilitacija, odpornost proti poškodbam.

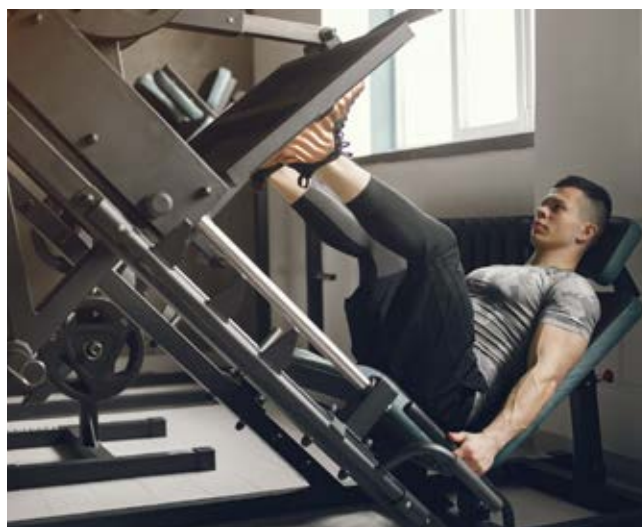


Foto: »Designed by Freepik«

Eccentric-Quasi-Isometric Training: A Review of Biomechanical Characteristics and Acute Effects

Abstract

Eccentric Quasi-Isometric (EQI) training is a relatively new approach to resistance training that combines submaximal isometric contraction with maximal eccentric resistance. The purpose of this paper is to review the existing scientific literature on EQI training and summarize the current findings. Six studies examining the acute effects of EQI contractions on biomechanical, muscle activation, and morphological variables were included in the review. Most research was conducted on young adults and involved knee extensors, biceps brachii, and knee flexors. Differences in fatigue, time under tension, torque, and muscle activation were reported depending on gender and muscle group. Compared to traditional eccentric and isotonic training, EQI caused less delayed-onset muscle soreness and associated negative changes, despite the same cumulative mechanical load. Despite promising results, the field is still under-researched. Further studies are needed for a comprehensive understanding of the effects and potential applications of EQI training in sports, rehabilitation, and prevention.

Keywords: Eccentric training, quasi-isometric contraction, muscle activation, biomechanics, fatigue, rehabilitation, injury resilience.

■ Uvod

Mišična zmogljivost, ki zajema moč, jakost, hitrost prirastka sile in vzdržljivost v moči, je odvisna od številnih dejavnikov, njeno povečanje pa dosežemo predvsem z rednim izvajanjem vadbe proti upor (VPU) (Chaabene idr., 2020; Maestroni idr., 2020). To je ključno za razvoj določenih elementov športne zmogljivosti, kot so skoki, sprinti, hitre spremembe smeri in ekonomičnost teka (Chaabene idr., 2020; Maestroni idr., 2020). Redno izvajanje VPU pripomore k povečanju mišične mase, to pa vodi do izboljšane telesne sestave (Lopez idr., 2022; Marcos-Pardo idr., 2018). Njen koristen učinek ni viden le v športu, temveč se uporablja tudi v preventivi in rehabilitaciji poškodb ter pri preprečevanju nastanka različnih kroničnih nenalezljivih bolezni v splošni populaciji (Maestroni, Read, Bishop, Papadopoulos, Suchomel, Comfort in Turner, 2020). Redno izvajanje VPU je povezano z 21-odstotnim znižanjem stopnje umrljivosti (Saeidifard, Medina-Inojosa, West, Olson, Somers, Bonikowske, Prokop, Vinciguerra in Lopez-Jimenez, 2019). Poznamo več načinov izvajanja VPU, pri čemer lahko uporabimo različne vrste bremen, kot so vadbene naprave, elastike ali proste uteži (Stone, Stone in Sands, 2007). Prilagoditve in akutni učinki posameznih oblik VPU so zelo specifični (Oranchuk idr., 2019a; Quinlan idr., 2021), pri čemer ima poleg metode, količine in intenzivnosti vadbe pomembno vlogo tudi vrsta mišične kontrakcije (Douglas, Pearson, Ross in McGuigan, 2017; Folland, Hawker, Leach, Little in Jones, 2005).

Mišične kontrakcije v grobem delimo na izometrične, koncentrične in ekscentrične (Stone idr., 2007) ter njihove kombinacije. Pri izometričnem krčenju mišica proizvaja ravno dovolj sile, da zadrži zunanji upor in se njena dolžina pri tem ne spreminja. Med koncentričnim krčenjem mišica proizvede dovolj sile, da premaga upor in se pri tem skrči. Pri ekscentričnem krčenju pa sila, ki jo mišica proizvaja, ni dovolj velika, da bi premagala upor, zato se mišica podaljša. Poznamo tudi kombinacije omenjenih tipov kontrakcij,

na primer cikel raztezanja in krajšanja mišice, ki zajema ekscentrično in koncentrično krčenje v hitrem sosledju. Razmeroma nova metoda, ki je širše obravnavana v nadaljevanju članka, je ekscentrična kvaziizometrična (EKI) vadba, pri kateri sta združeni izometrično in ekscentrično krčenje mišic.

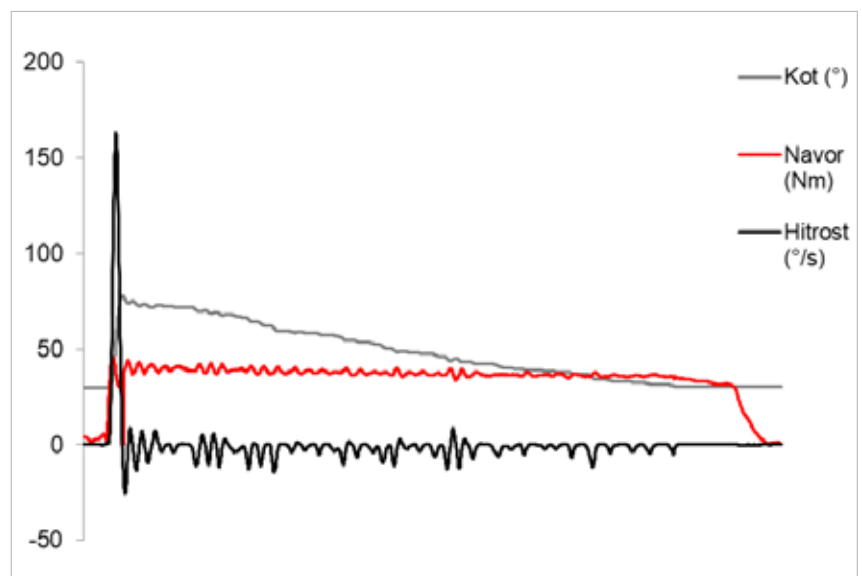
EKI-kontrakcije so sestavljene iz zadrževanja submaksimalne izometrične kontrakcije, ki ji sledi maksimalno ekscentrično upiranje do končnega obsega giba, pri čemer se mišica podaljšuje. Za boljšo predstavo bralca vabimo k ogledu videoposnetka (povezava v referenci Oranchuk, 2020). Na Sliki 1 je prikazan signal kota, navora in hitrosti tipične EKI-kontrakcije. Zanje velja, da lahko z malo ponovitvami mišično-tetivni sistem postavimo veliki kumulativni mehanski obremenitvi (Oranchuk idr., 2019a). Kljub veliki obremenitvi so Oranchuk idr. (2021) v študiji poročali, da je ena vadbena enota EKI-treninga povzročila manjšo zapoznelo mišično bolečino (ZMB) in manjše akutno zmanjšanje moči kot ekscentrične vaje, ki so bile izenačene po skupnem impulzu sile. Prav zato bi bila lahko ta vrsta vadbe posebno uporabna pri preprečevanju poškodb in rehabilitaciji tetiv. Kljub špekulacijam, ki poudarjajo pozitivne učinke EKI-vadbe, se moramo

zavedati, da je ta vrsta kontrakcij še vedno precej neraziskana. Zato bomo v našem članku obravnavali vse doslej objavljene študije in na kratko povzeli znane informacije o EKI-vadbi.

■ Teoretično ozadje

EKI-vadba je razmeroma nova metoda VPU, zato njenih učinkov še ne poznamo zelo natančno. Oranchuk idr. (2019b) so na podlagi relevantne biološke, fiziološke in biomehanske literature o izometričnih in ekscentričnih kontrakcijah oblikovali teoretično utemeljitev vloge EKI-vadbe. Obravnavali so morfološke prilagoditve mišično-skeletnega sistema, ki se odvija na treh ravneh – kontraktilna komponenta (KK), serijska elastična komponenta (SEK) in paralelna elastična komponenta (PEK).

KK se nanaša na aktinske in miozinske filamente v mišičnih vlaknih in je primarni vir proizvodnje sile v mišici. Ko se mišica skrči, filamenti drsijo drug mimo drugega in ustvarjajo silo. Hipertrofija in izboljšana mišična funkcija sta kot glavni spremembi KK odvisni od dolžine mišice, obsega giba in kumulativne obremenitve med vadbo ter različnih presnovnih faktorjev. Izkazalo se je, da je vadba pri celotnem



Slika 1.: Primer signalov EKI-kontrakcije na izokinetičnem dinamometru. Po začetnem sunku (s pomočjo merilca/vaditelja) hitrost niha blizu 0 °/s in je povprečno majhna (1–3 °/s). Navor je med kontrakcijo dokaj konstanten in upade le ob skrajnem zaključku ponovitve ene EKI-kontrakcije. Kot se postopno zmanjšuje (lahko tudi povečuje, odvisno od smeri giba), ko naprava/breme vadečega premaga.

obsegu giba in večjih dolžinah mišic izzvala večjo hipertrofijo v primerjavi z vadbo pri manjšem obsegu giba in manjših dolžinah mišic (Oranchuk idr., 2019a). Hipertrofija naj ne bi bila bistveno pogojena z vrsto mišične kontrakcije, saj enaka kumulativna mehanska obremenitev različnih tipov kontrakcij privede do podobnih rezultatov (Moore idr., 2012). Prednost EKI-vadbe se pri tem kaže le v manjšem številu ponovitev, s katerimi dosežemo enako kumulativno mehansko obremenitev, zato bi lahko bil trening bolj učinkovit. Ena od posledic VPU pri KK je tudi z vadbo povzročena mišična poškodba in s tem ZMB. Dozdajšnje študije poročajo, da sta bili ti večji pri vadbah večje hitrosti kakor pri vadbah manjše hitrosti. Prav zato je malo verjetno, da bi izvajanje EKI-kontrakcij z njihovo majhno hitrostjo povzročilo velik obseg z vadbo povzročenih poškodb mišic.

Primarno tkivo SEK so tetive. Te shranjujejo elastično energijo, ko je mišica raztegnjena ali obremenjena, in pomagajo prenašati silo, ki jo ustvari kontraktilna komponenta, na kost in preostali del telesa. Pravilno izveden dinamični, ekscentrični in izometrični trening lahko izboljša strukturo in funkcijo tetive, zato je zelo pogosto uporabljen v rehabilitaciji po različnih poškodbah (Magnusson in Kjaer, 2018). Za učinkovito se je izkazala maksimalna izometrična vadba pri večjih dolžinah mišic, ki je povečala togost tetiv. Prav tako se je po submaksimalni izometrični vadbi zmanjšala bolečina tetive, ki je ostala nizka tudi 45 minut po protokolu. Na podlagi teh ugotovitev Oranchuk idr. (2019b) predvidevajo, da bi lahko EKI-vadba majhne hitrosti s 30–80 % 1 RM prav tako imela blagodejni učinek. Tudi za povečanje togosti in debeline tetiv se je za učinkovitejšo izkazala izometrična vadba z velikimi bremenii v primerjavi z majhnimi. Poleg tetiv je pomemben del SEK tudi titin, ki pomaga pri prenosu sile, stabilnosti in preprečevanju poškodb ter lahko prispeva k uravnavanju mišične sile med podaljševanjem mišičnih vlaken. Študije kažejo, da imajo posamezniki z večjo togostjo titina, ki je aktiviran med ekscentrično vadbo majhne hitrosti, večjo proizvodnjo sile in poleg tega hitreje

okrevajo (Baumert idr., 2018). Iz ugotovitev, ki po eni strani predstavljajo prednosti izometrične, po drugi pa ekscentrične vadbe, bi lahko sklepali, da bo EKI-vadba prav tako uporabno orodje za rehabilitacijo poškodovanih tetiv.

PEK zajema vezivna tkiva, ki obdajajo mišična vlakna, kot so epimizij, perimizij in endomizij. Zagotavlja pasivni upor pri raztezanju in pomaga pri prenosu sile tako, da ohranja mišico v funkcionalnem in stabilnem položaju med krčenjem. Ob povečani količini kolagena okoli miofibril, iz katerega je primarno sestavljena PEK, se povečata togost in prenos sile na pasivne strukture zunajceličnega matriksa. Razpoložljiva literatura navaja, da so imele poškodovane tetive in vezi, ki so se celile ob izpostavljanju obremenitvi, višjo količino kolagena v primerjavi s tistimi, ki so se celile pasivno (Mass idr., 1993).

Zdi se torej, da je EKI-vadba časovno in energetsko učinkovito sredstvo za morfološke prilagoditve vseh primarnih komponent prenosa sile. Ima potencial za izboljšanje mišične vzdržljivosti, saj se pri kontrakcijah položaje zadržuje dalj časa. Ob določenih pogojih lahko spodbudi hipertrofijo, saj omogoča visoko intenzivnost kontrakcij, hkrati pa izniči neučinkovitost koncentričnih gibov. Tako lahko dosežemo daljši čas pod napetostjo, večjo obremenitev in potencialno večje pridobivanje vlaken tipa II, ki pomagajo pri hipertrofiji. Za učinkovito bi se lahko izkazala tudi v zgodnjih fazah rehabilitacije, saj ob majhnem tveganju za preobremenitev pomaga preoblikovati tetive, poveča debelino mišic in živčno-mišično delovanje med okrevanjem. V članku Oranchuk idr. (2019b) povzemajo, da je za izboljšanje moči potrebna vadba pri velikih hitrostih in največjih do supramaksimalnih obremenitvah, zato je prenos učinkov EKI-vadbe na takšne aktivnosti verjetno minimalen.

Metode

V pregled literature smo vključili vse članke, objavljene v recenziranih znanstvenih revijah v angleškem ali slovenskem jezi-

ku, ki so obravnavale EKI-kontrakcije, ne glede na populacijo, namen ali zasnovo raziskave. Literaturo smo iskali v bazah PubMed in Google Scholar z iskalnimi nizi »eccentric-quasi-isometric«, »quasi-isometric contraction« in »EQI contraction«. Pregledali smo seznam referenc v zbranih primernih zadetkih ter preverili vse citate teh zadetkov s funkcijo »cited by« v Google Scholar. Ker gre za širši pregled novega področja, smo uporabili kvalitativno narativno metodo povzemanja.

Rezultati

V pregled smo vključili šest raziskav, ki so proučevale EKI-kontrakcije. Vseh šest je bilo izvedenih na mladih odraslih (18–35 let), skupno število udeležencev pa je znašalo 109 (od tega 42 žensk). V štirih študijah so obravnavali iztegovalke kolena, v dveh biceps brachii in prav tako dveh upogibalke kolena. Ena študija je opisovala kinetične in kinematične značilnosti EKI-vadbe, tri so primerjale spolne razlike, ena je analizirala razlike med mišičnima skupinama, ena pa je primerjala akutne učinke ekscentrične kvaziizometrične (EKI) in ekscentrične (EKS) vadbe. Pet študij je bilo eksperimentalnih, ena pa opisna biomehanska analiza izvedbe EKI-kontrakcij. Uporabljeni izmerjeni parametri so vključevali čas pod napetostjo, impulz navora, mišično aktivacijo, kotne hitrosti, otekanje mišic in živčno-mišične spremembe. Večina raziskav je poročala o značilnem upadu moči in trajanja kontrakcij s ponovitvami ob sočasni ohranitvi povprečne kotne hitrosti ter razmeroma majhni zapozneli mišični bolečini. Podrobneje so raziskave predstavljene v Tabeli 1.

Tabela 1
Naslov tabele

Avtor in leto objave	Namen	Preiskovanci	Gibi/mišične skupine	Ugotovitve
Oranchuk idr., 2021	Primerjati akutne učinke EKS- in EKI-vadbe	Š: 15 S: M ST: 26,4 ± 5,2 leta TP: vadba proti upor	Iztegovalke kolena	Pokazale so se razlike v številu kontrakcij in vršnem navoru med EKI in EKS vadbo. EKI vadba je izzvala večje otekanje mišice vastus intermedius, EKS pa mišic vastus lateralis in rectus femoris. EKS vadba je pripeljala do večjega upada izometričnega in koncentričnega navora in hitrosti prirastka navora pri srednjih in večjih dolžinah mišice.
Oranchuk idr., 2024	Opisati kinetiko in kinematiko med izvedbo EKI-kontrakcij (štiri maksimalne ponovitve)	Š: 14 S: M ST: 27,9 ± 5,1 leta TP: vadba proti upor	Iztegovalke kolena	Povprečna hitrost je bila 1,34°/s z večino kotnega impulza prisotnega med 40 in 70° upogiba kolena. Povprečen čas pod napetostjo je znašal 53,7 ± 26 sekund. Večina sprememb med kontrakcijami se je pojavila med 30–50° upogiba kolena, med 50–100° so merjene spremenljivke ostale konstantne.
Henderson idr., 2023	Raziskati razlike v akutni mišični utrujenosti med moškimi in ženskami po EKI-kontrakcijah	Š: 25 S: 12 Ž, 13 M ST: 18–35 let TP: vadba proti upor	Biceps brachii	Med moškimi in ženskami obstajajo statistično značilne razlike v absolutnih, ne pa tudi v relativnih vrednostih spremenljivk utrujenosti (čas pod napetostjo, stopnja mišične aktivacije) in kotnega impulza po EKI protokolu. Ne glede na spol sta s ponovitvami upadla skupna mišična aktivnosti in kontni impulz.
Henderson, 2024	Raziskati razlike v akutni mišični utrujenosti med moškimi in ženskami pri izotonični in EKI-vadbi	Š: 25 S: 12 Ž, 13 M ST: 18–35 let TP: vadba proti upor	Biceps brachii	Pri obeh tipih vadbe ima prva serija višje vrednosti mišične aktivnosti v primerjavi z drugo. EKI-vadba je imela daljši čas pod napetostjo. Ženske so pri EKI-vadbi izkazale daljši čas pod napetostjo, stopnjo mišične aktivacije in koaktivacijo agonist-antagonist, medtem ko so moški pri izotonični vadbi med serijama imeli večji upad v času pod napetostjo in najvišji vrednosti mišične aktivacije.
Ličen in Kozinc, 2024	Raziskati razlike v biomehanskih značilnostih EKI-kontrakcij med moškimi in ženskami	Š: 15 S: 9 M, 6 Ž ST: 23,5 ± 2,6 leta TP: vadba proti upor	Iztegovalke in upogibalke kolena	Upad vršnega navora je bil zaznan pri obeh spolih in obeh mišičnih skupinah, vendar je za I kolena bil večji pri moških. Kot vršnega navora se je po EKI-protokolu povečal za I, ne pa tudi U kolena. Impulz navora pri U nižji kot pri I. Kontrakcije pri I so ženske zadrževale dalj časa (tudi pri U nakazan trend).
Ličen idr., 2024	Raziskati biomehanske značilnosti in učinek utrujanja pri EKI-kontrakcijah ter opredeliti razlike med iztegovalkami in upogibalkami kolena	Š: 15 S: 9 M, 6 Ž ST: 23,5 ± 2,6 leta TP: vadba proti upor	Iztegovalke in upogibalke kolena	Upad vršnega in povprečnega navora je bil večji za I kot za U kolena. Kot vršnega navora se je po EKI-protokolu povečal za I, ne pa tudi U kolena. Trajanje kontrakcij se je pri obeh mišičnih skupinah s ponovitvami krajšalo. Kotna hitrost je bila večja pri U kolena v primerjavi z I. Celoten obseg giba se je pri I s ponovitvami zmanjševal, pri U je ostajal enak. Kotna hitrost se je z vsakim naslednjim delom kontrakcije povečala – trajanje vsakega naslednjega dela kontrakcije zmanjšalo.

Opomba. Š = število; S = spol; ST = starost; TP = telesna pripravljenost; I = iztegovalke; U = upogibalke; EKI = ekscentrična kvaziizometrična; EKS = ekscentrična.

Razprava

EKI-vadba velja za razmeroma novo metodo vadbe proti uporabi, o kateri je do zdaj objavljenih le nekaj študij. V njih so bile obravnavane biomehanske (kinetične in kinematične) značilnosti EKI-kontraktij različnih mišičnih skupin, ki so jih avtorji primerjali med moškimi in ženskami ter med mišičnimi skupinami. Prav tako je več študij obravnavalo učinek utrujanja pri EKI-kontraktijah, v eni pa so avtorji proučevali akutne živčno-mišične, morfološke in arhitekturne spremembe po EKI-vadbi ter jih primerjali z EKS-vadbo.

Biomehanske značilnosti EKI-kontraktij sta obravnavali dve študiji, ki poročata o skladnih rezultatih. Tako Oranchuk idr. (2021b) kot Ličen idr. (2024) so proučevali iztegovalke kolena ter poročali o podobnih rezultatih skupnega časa EKI-kontraktij (od 16 do 140 sekund). Med študijama se je nekoliko razlikoval skupni impulz navora, ki je pri Ličen idr. (2024) znašal od $7164 \pm 1571 \text{ Nm}\cdot\text{s}$ do $10266 \pm 3250 \text{ Nm}\cdot\text{s}$, medtem ko Oranchuk idr. (2021b) za tri do štiri izvedene ponovitve skupaj navajajo vsoto impulza $33229 \pm 17358 \text{ Nm}\cdot\text{s}$. Povprečna kotna hitrost je bila v študiji Ličen idr. (2024) nekoliko manjša ($0,54 \pm 0,21^\circ/\text{s}$ za ženske; $0,78 \pm 0,23^\circ/\text{s}$ za moške) kakor v študiji Oranchuk idr. (2021b) ($1,29^\circ/\text{s}$), vendar lahko tu omenimo manjši skupni obseg giba pri prvi študiji ter dejstvo, da se kotna hitrost povečuje predvsem v končnem delu giba. V obeh raziskavah avtorji poročajo o skrajšanju časa EKI-kontraktij z vsako naslednjo ponovitvijo. Ker se je v obeh študijah povprečna kotna hitrost skozi ponovitve ohranjala, lahko sklepamo, da je skrajšanje časa kontraktij posledica drugih dejavnikov. Ličen idr. (2024) kot razlog za to pri iztegovalkah kolena navajajo upad skupnega obsega giba skozi protokol, saj zaradi utrujenosti ob začetku ponovitve preiskovanci niso več dosegali razpoložljivega začetnega obsega giba. Omenjeni pristop je iztegovalke kolena bolj obremenil pri srednjih in večjih dolžinah mišic, kar bi glede na ugotovitve prejšnjih raziskav lahko vodilo do večjih mišičnih prilagoditev kot obremenitev pri manjših dolžinah (Noorköiv, Nosaka in Blazevich, 2015;

Oranchuk idr., 2019a) special populations, and the general public. However, little consensus exists regarding training guidelines for a variety of desired outcomes. Understanding the adaptive response to specific loading parameters would be of benefit to practitioners. The objective of this systematic review, therefore, was to detail the medium- to long-term adaptations of different types of isometric training on morphological, neurological, and performance variables. Exploration of the relevant subject matter was performed through MEDLINE, PubMed, SPORTDiscus, and CINAHL databases. English, full-text, peer-reviewed journal articles and unpublished doctoral dissertations investigating medium- to long-term (≥ 3 weeks). V obeh študijah so avtorji vsako kontrakcijo razdelili na več delov. Oranchuk idr. (2021b) so obravnavali le spremembe kotnega impulza in ugotovili, da se med kotoma 30 in 50° povečuje, med 50 in 60° je največji, nato pa se od 60 do 110° postopno zmanjšuje. Rezultati druge raziskave poročajo o konstantni kotni hitrosti in skupnem času kontraktije za upogibalke kolena, ne pa tudi iztegovalke kolena. Pri slednjih se je skupni čas zaradi povečevanja povprečne kotne hitrosti z vsakim delom kontraktije zmanjšal. Kljub pomembnim ugotovitvam je treba biomehanske značilnosti dodatno raziskati in preveriti, ali se rezultati pri drugih mišičnih skupinah ujemajo z ugotovljenimi.

Razlike med ekscentrično kvaziizometrično ter ekscentrično in izotonično vadbo

EKI-vadbo so doslej primerjali le s tradicionalno izotonično (TRI) in ekscentrično vadbo proti uporabi. V primerjavi z EKS-vadbo je EKI-vadba pri iztegovalkah kolena izzvala manjšo poznavanje mišično bolečino in nižjo vrednost svetlobne intenzitete slike na ultrazvoku (angl. echo intensity) (Oranchuk idr., 2021a). Otekanje mišic in arhitekturne spremembe so se med mišicami razlikovali. EKI-vadba je povzročila večjo oteklino pri mišici vastus intermedius, EKS-vadba pa na distalnem in srednjem delu mišice vastus lateralis ter distalnem delu mišice rectus femoris.

V isti študiji so avtorji proučevali upad mišične jakosti in hitrosti prirastka navora ter ugotovili, da so bili po EKI- in EKS-vadbi pri manjših dolžinah mišic upadi primerljivi. Pri večjih dolžinah mišic pa se je izkazalo, da je bil upad izometrične in koncentrične jakosti ter hitrosti prirastka navora večji po EKS-vadbi. V študiji so poročali tudi o statistično značilnem krajšem času pod napetostjo pri EKS-vadbi v primerjavi z EKI-vadbo. To ugotovitev potrjujejo tudi avtorji druge študije, ki so proučevali razlike v akutnem učinku utrujanja med EKI- in TRI-vadbo pri upogibalnih komolci (Henderson idr., 2024). V primerjavi s TRI-vadbo je EKI-vadba izrazila statistično značilne višje vrednosti absolutne in relativne stopnje mišične aktivacije. Kljub temu je bila najvišja vrednost mišične aktivacije nižja pri EKI kakor pri TRI. Pod predpostavko, da je prag aktivacije motoričnih enot obratno sorazmerno z velikostjo in amplitudo elektromiografije, nam rezultati najvišje vrednosti mišične aktivacije kažejo, da TRI-vadba povzroči večjo ekscitacijo motoričnih enot z visokim pragom aktivacije. Sklenemo lahko, da bi EKI lahko predstavljala način vadbe, ki mišice izdatno obremeni, vendar povzroči manj zapoznelih škodljivih sprememb. Avtorji članka smo do enakih ugotovitev prišli pri izvedbi študije na iztegovalkah gležnja (neobjavljeni rezultati, članek v recenziji).

Razlike med moškimi in ženskami

Izmed dozdajšnjih študij so tri primerjale biomehanske značilnosti EKI-kontraktij med moškimi in ženskami. Henderson idr. (2023) so v študiji obravnavali akutno utrujenost mišice biceps brachii in ugotovili, da so se razlike med moškimi in ženskami v večini kazale pri absolutnih vrednostih spremenljivk (stopnja mišične aktivnosti in čas pod napetostjo), ne pa tudi relativnih. Pri obeh spolih so absolutne in relativne spremenljivke akutne utrujenosti mišic s ponovitvami statistično značilno upadle, vendar je bil upad relativne vrednosti mišične aktivnosti večji pri moških. Te ugotovitve se ujemajo z rezultati predhodnih študij (Ličen in Kozinc, 2024; Oranchuk idr., 2024). Ličen in Kozinc (2024), ki sta v študiji obravnavala učinek utrujanja pri EKI-kontraktijah pri

iztegovalkah in upogibalkah kolena, sta prav tako ugotovila, da je bil kljub upadu vršnega navora pri obeh spolih ta za iztegovalke večji pri moških. To razliko bi lahko pojasnili z večjo začetno mišično jakostjo in s tem večjo absolutno obremenitvijo med EKI-kontrakcijami ali z razlikami v mišični sestavi in metabolizmu, kot so že ugotavljali avtorji prejšnjih študij (Hicks idr., 2001; Hunter, 2014). Zanimivo je, da se razlika v upadu vršnega navora med spoloma ni pokazala pri upogibalkah kolena, kar kaže na možnost, da je ta razlika specifična za posamezne mišične skupine. Henderson idr. (2024), ki so pri mišici biceps brachii primerjali akutno mišično utrujenost in čas pod napetostjo med EKI- in TRI-vadbo, poročajo o vplivu spola na značilnosti EKI-kontrakcij. Čeprav se razlike v številu ponovitev pri TRI-vadbi niso pokazale, je bil pri EKI-vadbi čas pod napetostjo pri ženskah za 45 % daljši v primerjavi z moškimi. Tudi v študiji Ličen in Kozinc (2024) se je izkazalo, da so ženske EKI-kontrakcije pri iztegovalkah kolena zadrževale dlje. Trend so avtorji opazili tudi pri upogibalkah kolena, vendar ga niso statistično potrdili. Omenjena razlika nas ne preseneča, saj so ženske pri podobnem gibanju, kot sta izometrična vadba in izotonična vadba z majhno hitrostjo, prav tako bolj odporne proti utrujenosti v primerjavi z moškimi. Mehanizmov v ozadju je lahko več, med drugim razlika v mišični strukturi (delež posameznih mišičnih vlaken) ali dejstvo, da je pretok krvi zaradi večje mišične mase in moči pri moških hitreje omejen (Hunter idr., 2016a; Hunter idr., 2016b). Ličen in Kozinc (2024) v članku ne poročata o razlikah med moškimi in ženskami pri drugih biomehanskih značilnostih EKI-kontrakcij (impulz navora, kotna hitrost, celoten obseg giba). Iz dozdajšnjih ugotovitev lahko torej razberemo, da naj bi bile ženske pri izvajanju EKI-vadbe bolj odporne proti utrujenosti v primerjavi z moškimi in da pri drugih biomehanskih značilnostih EKI-kontrakcij med spoloma ni bistvenih razlik.

Omenjena študija je edina, ki obravnava razlike med moškimi in ženskami pri EKI- in TRI-vadbi (Henderson idr., 2024). Poleg že omenjene razlike so ženske dosegale podobne vrednosti mišične aktivacije pri obeh tipih vadb, medtem ko

je pri moških najvišja vrednost mišične aktivacije s ponovitvami za TRI značilno upadla, za EKI pa nekoliko narasla. Iz teh ugotovitev lahko sklepamo, da ženske uporabljajo podobne strategije vključevanja motoričnih enot ne glede na tip vadbe. Predpostavimo lahko tudi, da so moški pri prvi ponovitvi TRI-vadbe vključili več motoričnih enot z visokim pragom aktivacije kakor pri naslednjih. Rahlo znižanje stopnje aktivacije in hkrati dvig najvišje vrednosti mišične aktivacije za moške pri EKI-vadbi pa nakazuje postopno vključevanje dodatnih motoričnih enot z visokim pragom aktivacije. Avtorji so ob tem poudarili, da z izbranimi metodami ni bilo mogoče zaznati aktivacije posameznih motoričnih enot, zato so za potrditev navedenih rezultatov potrebne nadaljnje študije. V študiji so omenjene spremenljivke obravnavali absolutno in relativno glede na spol. Pri TRI-vadbi so se razlike med moškimi in ženskami izrazile le pri absolutnih vrednostih stopnje aktivacije, zato lahko predvidevamo, da so posledica razlik v telesni sestavi. Hkrati avtorji poročajo o razliki v relativni vrednosti stopnje aktivacije pri EKI-vadbi, ki je bila večja pri ženskah. Torej bi lahko sklepali, da so med spoloma razlike v mehanizmih zadrževanja sile in aktivacije motoričnih enot. Ne glede na pomembne informacije, ki nam pomagajo razumeti razlike med različnimi tipi vadb, so za pridobitev trdnih ugotovitev potrebne nadaljnje raziskave.

Razlike med mišičnimi skupinami

Razlike v biomehanskih značilnostih EKI-kontrakcij med različnimi mišičnimi skupinami je do zdaj obravnavala le ena študija (Ličen idr., 2024). Avtorji navajajo upad povprečnega in vršnega navora pri obeh mišičnih skupinah, vendar je bil ta izrazitejši pri iztegovalkah v primerjavi z upogibalkami kolena. Predhodne študije si glede omenjene ugotovitve pri različnih vadbenih protokolih nasprotujejo. Rezultati nekaterih se ujemajo z ugotovitvami omenjene študije (Massamba idr., 2022), hkrati pa rezultati drugih študij kažejo na večjo utrujenost upogibalk po nogometno specifičnem in izokinetičnem vadbenem protokolu (Greco, Silva, Camarda in Denadai, 2013; Sangnier in

Tourny-Chollet, 2007; Pinto, Blazevidh, Andersen, Mil-Homens in Pinto, 2018). V študiji Ličen idr. (2024) so se torej upogibalke izkazale za bolj »odporne« proti EKI-vadbi. Isti avtorji so dodatno ugotovili, da se je kot vršnega navora po EKI-protokolu povečal pri iztegovalkah kolena, ne pa tudi upogibalkah. To bi lahko bila posledica upada aktivne komponente generiranja sile ob nespremenjeni pasivni komponenti. Eden od razlogov bi lahko bil tudi izvajanje meritev pri obeh mišičnih skupinah v istem obisku, vendar razpoložljiva literatura ne poroča o vplivu utrujanja antagonista na zmogljivost agonista (Beltman, Sargeant, Ball, Maganaris in Haan, 2003; Maynard in Ebben, 2003), zato lahko sklepamo, da tudi v naši raziskavi to ni bistveno vplivalo na rezultate. Zaradi nasprotujočih si ugotovitev dozdajšnjih študij pri različnih vadbenih protokolih in pomanjkanja literature o učinkih EKI-vadbe na kot vršnega navora so za izpeljavo sklepa potrebne dodatne raziskave. Upogibalke so v navedeni študiji izkazale bolj stalni vzorec EKI-kontrakcij, kar se kaže v primerljivi dolžini kontrakcije med ponovitvami, kotni hitrosti med ponovitvami in skupnem obsegu giba. Tudi porazdelitev obremenitve v posameznih delih kontrakcije je bila pri upogibalkah enakomernejša. Za boljši vpogled v razlike pri biomehanskih značilnostih EKI-vadbe med različnimi mišičnimi skupinami bi morali v nadaljnjih študijah med sabo primerjati tudi druge mišične skupine.

■ Zaključek

EKI-vadba se kaže kot obetaven pristop vadbe proti uporabi, ki združuje veliko mehansko obremenitev z razmeroma majhno akutno mišično poškodbo. Prve raziskave so pokazale specifične biomehanske značilnosti, razlike med spoloma in razlikovanje učinkov med mišičnimi skupinami. Kljub obetavnim rezultatom je področje premalo raziskano, zlasti pri različnih populacijah in mišičnih skupinah. Za oblikovanje učinkovitih protokolov in razumevanje dolgoročnih učinkov EKI-vadbe so potrebne dodatne, obsežnejše študije z raznovrstno metodologijo in daljšim časovnim okvirom.

Literatura

- Baumert, P., Lake, M. J., Drust, B., Stewart, C. E. in Erskine, R. M. (2018). TRIM63 (MuRF-1) gene polymorphism is associated with biomarkers of exercise-induced muscle damage. *Physiological Genomics*, 50(3), 142–143. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00103.2017>
- Beltman, J. G. M., Sargeant, A. J., Ball, D., Maganaris, C. N. in Haan, A. (2003). Effect of antagonist muscle fatigue on knee extension torque. *Pflügers Archiv*, 446(6), 735–741. <https://doi.org/10.1007/s00424-003-1115-y>
- Chaabene, H., Prieske, O., Moran, J., Negra, Y., Attia, A. in Granacher, U. (2020). Effects of Resistance Training on Change-of-Direction Speed in Youth and Young Physically Active and Athletic Adults: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(8), 1483–1499. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01293-w>
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A. in McGuigan, M. (2017). Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(5), 917–941. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0628-4>
- Erčulj, F., Debeljak, G., in Štrumbelj, E. (2016). Analiza uporabe različnih tipov podaj pri mladih košarkarjih. *Revija Šport*, 64, 115–119.
- Greco, C., Silva, W., Camarda, S. in Denadai, B. (2013). Fatigue and rapid hamstring/ quadriceps force capacity in professional soccer players. *Clinical physiology and functional imaging*, 33, 18–23. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2012.01160.x>
- Henderson, Z. J., Wang, S., Cornish, S. M., & Scribbans, T. D. (2023). Exploring the acute muscle fatigue response in resistance trained individuals during eccentric quasi-isometric elbow flexions—a cross-sectional comparison of repetition and sex. *Sports Biomechanics*, 1-23. <https://doi.org/10.1080/14763141.2023.2269543>
- Henderson, Z. (2024). Acute and chronic isotonic resistance exercise vs. eccentric quasi-isometric resistance exercise: Exploring sex-differences in physiological, biomechanical, and performance-based measures. Doktor-ska disertacija. The University of Manitoba.
- Hicks, A. L., Kent-Braun, J. in Ditor, D. S. (2001). Sex Differences in Human Skeletal Muscle Fatigue. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(3), 109.
- Hunter, S. K. (2014). Sex differences in human fatigability: Mechanisms and insight to physiological responses. *Acta Physiologica*, 210(4), 768–789. <https://doi.org/10.1111/apha.12234>
- Hunter, S. K. (2016a). Sex differences in fatigability of dynamic contractions. *Experimental Physiology*, 101(2), 250–255. <https://doi.org/10.1113/EP085370>
- Hunter, S. K. (2016b). The relevance of sex differences in performance fatigability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2247–2256. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000928>
- Ličen, U., Oranchuk, D. J., & Kozinc, Ž. (2024). Exploring the biomechanics and fatigue patterns of eccentric quasi-isometric muscle actions in the knee extensors and flexors. *European Journal of Applied Physiology*, 124(11), 3409–3419. <https://doi.org/10.1007/s00421-024-05544-w>
- Ličen, U., & Kozinc, Ž. (2024). Ekscentrične kvaziizometrične kontrakcije iztegovalk in upogibalk kolena-primerjava biomehanskih značilnosti ter utrujenosti med moškimi in ženskami. *Revija Šport*, 72 (1), 128–134.
- Lopez, P., Taaffe, D. R., Galvão, D. A., Newton, R. U., Nonemacher, E. R., Wendt, V. M., ... Rech, A. (2022). Resistance training effectiveness on body composition and body weight outcomes in individuals with overweight and obesity across the lifespan: A systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, 23(5), e13428. <https://doi.org/10.1111/obr.13428>
- Maestroni, L., Read, P., Bishop, C., Papadopoulos, K., Suchomel, T. J., Comfort, P. in Turner, A. (2020). The Benefits of Strength Training on Musculoskeletal System Health: Practical Applications for Interdisciplinary Care. *Sports Medicine*, 50(8), 1431–1450. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01309-5>
- Marcos-Pardo, P. J., Martínez-Rodríguez, A. in Gil-Arias, A. (2018). Impact of a motivational resistance-training programme on adherence and body composition in the elderly. *Scientific Reports*, 8, 1370. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19764-6>
- Magnusson, S. P. in Kjaer, M. (2019). The impact of loading, unloading, ageing and injury on the human tendon. *The Journal of Physiology*, 597(5), 1283–1298. <https://doi.org/10.1113/JP275450>
- Mass, D. P., Tuel, R. J., Labarbera, M. in Greenwald, D. P. (1993). Effects of constant mechanical tension on the healing of rabbit flexor tendons. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, (296), 301–306.
- Massamba, A., Hucteau, E., Mallard, J., Ducrocq, G. P., Favret, F. in Hureau, T. J. (2022). Exercise-Induced Fatigue in Hamstring versus Quadriceps Muscles and Consequences on the Torque-Duration Relationship in Men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 54(12), 2099–2108. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003007>
- Maynard, J., & Ebben, W. P. (2003). The effects of antagonist pre-fatigue on agonist torque and electromyography. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(3), 469–474.
- Montgomery G. P., in Maloney D. B. (2018). Three-by-Three Basketball: Inertial Movement and Physiological Demands During Elite Games. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(9), 1169–1174.
- Moore, D. R., Young, M. in Phillips, S. M. (2012). Similar increases in muscle size and strength in young men after training with maximal shortening or lengthening contractions when matched for total work. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1587–1592. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2078-x>
- Noorköiv, M., Nosaka, K. in Blazevich, A. J. (2015). Effects of isometric quadriceps strength training at different muscle lengths on dynamic torque production. *Journal of Sports Sciences*, 33(18), 1952–1961. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1020843>
- Oranchuk, D. J., Storey, A. G., Nelson, A. R. in Cronin, J. B. (2019a). Isometric training and long-term adaptations: Effects of muscle length, intensity, and intent: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(4), 484–503. <https://doi.org/10.1111/sms.13375>
- Oranchuk, D. J., Storey, A. G., Nelson, A. R. in Cronin, J. B. (2019b). Scientific Basis for Eccentric Quasi-Isometric Resistance Training: A Narrative Review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(10), 2846. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003291>
- Oranchuk, D. J., (2020, 8. oktober). Eccentric quasi-isometric (EQI) knee extension sample video. [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=5OglZrrADJg>
- Oranchuk, D., Diewald, S., McGrath, J., Nelson, A., Storey, A. in Cronin, J. (2021). Kinetic and Kinematic profile of eccentric quasi-isometric loading. *Sports Biomechanics*, 23(6), 758–771. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1890198>
- Pinto, M. D., Blazevich, A. J., Andersen, L. L., Mil-Homens, P. in Pinto, R. S. (2018). Hamstring-to-quadriceps fatigue ratio offers new and different muscle function information than the conventional non-fatigued ratio. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(1), 282–293. <https://doi.org/10.1111/sms.12891>
- Quinlan, J. I., Franchi, M. V., Gharahdaghi, N., Badiali, F., Francis, S., Hale, A., ... Narici, M. V. (2021). Muscle and tendon adaptations to moderate load eccentric vs. Concentric resistance exercise in young and older males. *GeroScience*, 43(4), 1567–1584. <https://doi.org/10.1007/s11357-021-00396-0>
- Saeidifard, F., Medina-Inojosa, J. R., West, C. P., Olson, T. P., Somers, V. K., Bonikowske, A. R., ... Lopez-Jimenez, F. (2019). The association of resistance training with mortality: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Preventive Cardiology*, 26(15), 1647–1665. <https://doi.org/10.1177/2047487319850718>
- Sangnier, S. in Tourny-Chollet, C. (2007). Comparison of the Decrease in Strength between Hamstrings and Quadriceps during Isokinetic Fatigue Testing in Semiprofessional Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(11), 952–957. <https://doi.org/10.1055/s-2007-964981>
- Sember, V. (2019). Vpliv telesne dejavnosti na učno uspešnost osnovnošolcev. *Šport*, 67(3/4), 164–169.

Urška Ličen

Mag. kineziologije

uraska.licen@fvz.upr.si