

# Učinki vadbe proti uporju in statičnega raztezanja na mišično jakost in sklepno gibljivost

## The effects of resistance training and static stretching on muscle strength and flexibility

Žan Nikolov<sup>1</sup>, Tjaž Brezovar<sup>1</sup>

### IZVLEČEK

**Uvod:** Vadba proti uporju dokazano izboljšuje mišično jakost, statično raztezanje pa sklepno gibljivost. Zaradi podobnih mehanizmov je verjetno, da vadba proti uporju vpliva tudi na sklepno gibljivost, statično raztezanje pa na mišično jakost, vendar je dokazov o tem za zdaj malo. **Namen:** Primerjati učinek vadbe proti uporju na sklepno gibljivost in statičnega raztezanja na mišično jakost. **Metode dela:** Uporabljena je bila deskriptivna metoda pregleda literature v podatkovni zbirki PubMed za obdobje zadnjih petnajstih let. Vključene so bile raziskave, ki so neposredno primerjale učinke vadbe proti uporju in statičnega raztezanja. **Rezultati:** V pregled je bilo vključenih šest raziskav. V treh je bilo ugotovljeno statistično značilno povečanje mišične jakosti v obeh intervencijskih skupinah v primerjavi s kontrolno. V štirih raziskavah med intervencijskima skupinama ni bilo statistično značilnih razlik v spremembah sklepne gibljivosti. V dveh raziskavah je bilo ugotovljeno povečanje mišične jakosti in sklepne gibljivosti v obeh intervencijskih skupinah v primerjavi s kontrolno, brez statistično značilnih razlik med intervencijama. **Razprava in zaključek:** Ob uporabi ustreznih vadbenih parametrov lahko tako statično raztezanje kot vadba proti uporju povečata mišično jakost in sklepno gibljivost. Zaradi metodoloških razlik med raziskavami ostaja vpliv statičnega raztezanja na jakost ter vadbe proti uporju na sklepno gibljivost za zdaj nezadostno dokazan, zato so potrebne dodatne raziskave.

**Ključne besede:** vadba za mišično jakost, raztezna vadba, obseg giba, hipertrofija, nevrološke prilagoditve.

### ABSTRACT

**Introduction:** Resistance training has been shown to improve muscle strength, while static stretching improves joint range of motion. Given the similarities in some of the underlying mechanisms, it is possible that static stretching could enhance muscle strength and that resistance training could improve flexibility. However, evidence in this area remains limited. **Purpose:** This literature review aimed to compare the effects of resistance training and static stretching on muscle strength and flexibility. **Methods:** A descriptive literature review was conducted using the PubMed database covering the past fifteen years. Studies that directly compared the effects of resistance training and static stretching were included. **Results:** Six studies met the inclusion criteria. Three reported statistically significant increases in muscle strength in both intervention groups compared to the control group. Four studies found no statistically significant differences in flexibility changes between the intervention groups. Two studies reported simultaneous increases in muscle strength and flexibility in both intervention groups compared to the control group, with no significant differences between them. **Discussion and Conclusion:** Static stretching and resistance training may influence muscle strength and flexibility when appropriate training parameters are applied. Due to limitations of the studies and the literature review, interpretation of the results is challenging, which encourages further research.

**Key words:** strength training, stretching exercise, range of motion, hypertrophy, neurological adaptations.

---

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana

**Korespondenca/Correspondence:** Žan Nikolov, dipl. fiziot.; e-pošta: zan.nikolov@gmail.com

Prispelo: 21. 09. 2025

Sprejeto: 09. 12. 2025

## UVOD

Mišična jakost je največja merljiva sila, ki jo mišica ali mišična skupina lahko proizvede pri enkratnem maksimalnem naporu. Izboljšamo jo lahko z vadbo proti uporu (VPU), s katero se izboljša živčni nadzor skeletne mišice in spodbudi njena hipertrofija, ki sta glavni komponenti mišične jakosti (1). Statično raztezanje ima glede na literaturo poleg povečanja sklepne gibljivosti potencial za povečanje mišične jakosti raztezanih mišic (2). Mehanska obremenitev, ne glede na to, ali je povzročena z mišično kontrakcijo ali raztegom, lahko spremeni fiziološke, strukturne in kontraktilne lastnosti mišičnih vlaken (3). Domneva se, da je za doseganje sprememb v mišični jakosti poleg visoke intenzitete statično raztezanje treba izvajati daljše časovno obdobje z dolgimi intervali mišične elongacije (2, 4).

Mehanske teorije, ki pojasnjujejo povečanje sklepne gibljivosti z raztezanjem skeletnih mišic, so plastična deformacija vezivnega tkiva, kratkotrajna viskoelastična deformacija mišic, podaljšanje mišic z zaporednim dodajanjem sarkomer in njihova živčno-mišična relaksacija (5). Za povečanje sklepne gibljivosti ob mišični skrajšavi se uporabljajo različne tehnike raztezanja, zlasti statičnega (6), vendar obstajajo dokazi, da lahko tudi VPU poveča obseg giba v sklepu (7).

Dinamično raztezanje je nadzorovano premikanje skozi aktivni obseg giba v sklepu (8), statično raztezanje pa pomeni elongacijo tkiv do točke odpora in zadrževanje raztegnjenega položaja skeletnih mišic določen čas (9). Tako dinamično raztezanje kot VPU sta aktivni, dinamični obliki raztezanja mišic, zato razlika v poimenovanju zaradi razlike v zunanji obremenitvi mogoče ni ustrezna (10). VPU bi torej lahko bila učinkovita tudi za povečanje sklepne gibljivosti, saj predstavlja obliko dinamičnega raztezanja mišic z dodano obremenitvijo (10). Predvideva se, da so mehanizmi povečanja obsega giba z VPU verjetno podobni mehanizmom dinamičnega raztezanja (7).

Kljub možnemu prekrivanju mehanizmov med obema pristopoma ni jasno, ali lahko VPU in statično raztezanje vplivata na mišično jakost ter sklepno gibljivost v primerljivi meri. Zato je bil namen pregleda literature podrobno analizirati učinek vadbe proti uporu in statičnega raztezanja na

mišično jakost in sklepno gibljivost ter oceniti možnosti njune sočasne uporabe in morebitne zamenljivosti v praksi.

## METODE

Literatura je bila iskana v podatkovni zbirki PubMed s kombinacijo ključnih besed *resistance training AND stretching AND (range of motion OR flexibility) AND strength*. Iskanje literature je potekalo novembra in decembra 2024. V pregled literature so bile vključene raziskave, objavljene v angleškem jeziku po 1. januarju 2010, v katerih so raziskovali vpliv VPU in raztezanja na mišično jakost in sklepno gibljivost z natančno opisanimi protokoli intervencij. Izključeni so bili sistematični pregledi literature in eksperimentalne raziskave, v katerih so preučevali vpliv VPU ali statičnega raztezanja izključno na mišično jakost ali izključno na sklepno gibljivost, ter raziskave, v katerih je raztezna vadba poleg statičnega raztezanja vključevala katerokoli drugo vrsto raztezanja.

## REZULTATI

Pri iskanju raziskav je bilo z uporabo ključnih besed najdenih 133 zadetkov. Po natančnejšem pregledu je z upoštevanjem vključitvenih in izključitvenih kriterijev za podroben pregled ostalo primernih šest raziskav – pet randomiziranih kontroliranih poskusov (11–14, 16) ter ena kontrolirana raziskava brez popolne randomizacije (15). V štirih raziskavah (11–14) so bili preiskovanci telesno dejavni posamezniki, v dveh (15, 16) pa so sodelovali tisti s sedečim življenjskim slogom. Najmanjše število preiskovancev v pregledanih raziskavah je bilo 18 (13), največje pa 105 (14). V štirih raziskavah so sodelovali moški in ženske (11–13, 15), v eni raziskavi spol preiskovancev ni bil natančno opredeljen (14), v eni pa so sodelovale le ženske (16). V večini raziskav so bili preiskovanci stari med 18 in 36 let, razen raziskave Fukuchija in sodelavcev (14), v kateri je bila starost preiskovancev med 55 in 75 let. V vseh raziskavah so bili preiskovanci razvrščeni v tri skupine, pri čemer so v eni izvajali le VPU, v drugi le statično raztezanje, tretja pa je bila kontrolna. Preiskovanci v kontrolni skupini so ohranili običajno raven telesne dejavnosti, brez dodatne intervencije. V raziskavi Simãa in sodelavcev (16) so bili preiskovanci poleg navedenih treh skupin razvrščeni še v četrto skupino, v kateri so izvajali kombinacijo VPU in statičnega raztezanja, vendar

*Preglednica 1: Merjenje mišične jakosti in sklepne gibljivosti v raziskavah*

Raziskava	Merjena spremenljivka	Meritve	Način merjenja
Warneke et al., 2023a (11)	mišična jakost	MVIC	trenažerji, opremljeni z merilniki sile (potisk z nogami, trenažer za mečne mišice sede)
	sklepna gibljivost	OG dorzalne fleksije	goniometrija s pomočjo ortoze, merjenje dorzalne fleksije v gležnju stoje (test dotika stene s kolenom)
Wohlann et al., 2024 (12)	mišična jakost	MVIC	ortoza povezana z merilniki sile (supiniran položaj za m. pectoralis major)
	sklepna gibljivost	OG ramenskega sklepa	merjenje razdalje med iztegnjenima rokama ob premiku palice nad glavo in za hrbet
Morton et al., 2011 (15)	mišična jakost	maksimalni navor pri 5 PM	dinamometrija pri kotni hitrosti $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ (ekstenzorji, fleksorji kolena)
	sklepna gibljivost	OG ekstenzije kolena, fleksije in ekstenzije kolka, ekstenzije ramena	goniometrija, OG ramenskega sklepa po protokolu Corbin & Lindsay (18)
Simão et al., 2011 (16)	mišična jakost	breme pri 10 PM	test na trenažerjih (potisk z nogami, potisk s prsi)
	sklepna gibljivost	razteznost ekstenzorjev kolka in trupa	test dosega naprej v sedečem položaju
Rosenfeldt et al., 2024 (13)	mišična jakost	MVIC	izometrični mrtvi dvig pri 50 % in 95 % polnega obsega giba
	sklepna gibljivost	razteznost ekstenzorjev kolka in trupa	test dosega naprej v sedečem položaju
Fukuchi et al., 2016 (14)	mišična jakost	MVIC	dinamometrija (abduktorji ekstenzorji kolka, plantarni fleksorji gležnja)
	sklepna gibljivost	OG addukcije, ZR in NR kolčnega sklepa ter dorzalne fleksije gležnja	goniometrija in inklinometrija

*Legenda: MVIC – maksimalna hotena izometrična kontrakcija, PM – ponovitveni maksimum, s – sekunda, OG – obseg giba, ZR – zunanja rotacija, NR – notranja rotacija.*

rezultatov te skupine v pregledu literature nismo obravnavali.

V štirih raziskavah (11–14) so spremembe mišične jakosti merili z maksimalno hoteno izometrično kontrakcijo (angl. maximum voluntary isometric contraction – MVIC) z uporabo dinamometrije na različnih napravah. Morton in sodelavci (15) so spremembe v mišični jakosti merili na podlagi maksimalnega navora pri petih maksimalnih ponovitvah s konstantno kotno hitrostjo. Simão in sodelavci (16) pa so spremembe mišične jakosti merili na podlagi maksimalnega bremena med izvedbo desetponovitvenega maksimuma (10 PM).

V treh raziskavah (11, 14, 15) je bila za merjenje sklepne gibljivosti uporabljena goniometrija, v raziskavi Fukuchija in sodelavcev (14) pa še

inklinometrija. Wohlann in sodelavci (12) so za meritev sklepne gibljivosti ramenskega sklepa uporabili test, podrobneje opisan v raziskavi Warnekeja in sodelavcev (17). Morton in sodelavci (15) so za merjenje sklepne gibljivosti v ramenskem sklepu uporabili protokol, ki sta ga opisala Corbin in Lindsay (18). Za merjenje gibljivosti ekstenzorjev kolka in trupa je bil v dveh raziskavah uporabljen test dosega v sedečem položaju (13, 16). Načini merjenja mišične jakosti in sklepne gibljivosti so predstavljeni v preglednici 1.

Mišične skupine, za katere so preiskovanci v pregledanih raziskavah izvajali VPU ali statično raztezanje, so se med raziskavami razlikovale, vključene pa so bile mišice zgornjega in spodnjega dela telesa. V raziskavah so bile opredeljene mišične skupine, za katere se je vadba izvajala,

Preglednica 2: Vadbeni parametri, trajanje vadbenega programa in izvedene vaje v raziskavah

Avtor	Vrsta vadbe	F	I	Št. nizov krat št. ponovitev (trajanje VE)	Trajanje VP	Izvedene vaje
Warneke et al., 2023a (11)	VPU	3x/ teden	10–12 PM	5 × 10–12 (15 min.)	6 tednov	krepitev plantarnih fleksorjev – trenažer
	SR	7x/ teden	VAL (7–8/10)	1 × 1 (60 min.)	6 tednov	raztezanje mečnih mišic z ortozo
Wohlann et al., 2024 (12)	VPU	3x/ teden	10–12 PM	5 × 10 –12 (≈ 10 min.)	8 tednov	horizontalna ADD za m. pectoralis major na trenažerju
	SR	4x/ teden	največji toleriran razteg	1 × 1 (15 min.)	8 tednov	raztezanje m. pectoralis major na klopi
Morton et al., 2011 (15)	VPU	3x/ teden	65 % 1 PM	4 × različno med tedni (45–60 min.)	5 tednov	krepitev mišic zgornjega in spodnjega dela telesa
	SR	3x/ teden	/	1 ali 3 × 1, 20 ali 30 s (25–35 min.)	5 tednov	raztezanje mišic, ki jih je VPU skupina krepila
Simão et al., 2011 (16)	VPU	3x/ teden	narašča med tedni	3 × različno med meseci (≈ 60 min.)	16 tednov	krepitev mišic zgornjega in spodnjega dela telesa
	SR	3x/ teden	blago nelagodje	4 × 1, 15–60 s (≈ 30 min.)	16 tednov	raztezanje mišic zgornjega in spodnjega dela telesa
Rosenfeldt et al., 2024 (13)	VPU	3x/ teden	RPE (8/10)	4–8 × 8 (≈ 10–20 min.)	8 tednov	mrtvi dvig z iztegnjenimi nogami in »Jefferson curl«
	SR	3x/ teden	VAL (8/10)	4–8 × 1, 32 s (≈ 10–20 min.)	8 tednov	statično raztezanje v obliki dosega sede z iztegnjenimi nogami
Fukuchi et al., 2016 (14)	VPU	6x/ teden	RPE (5–8/10)	3 × 15 (≈ 25 min.)	8 tednov	krepitev mišic kolka, kolena in gležnja
	SR	6x/ teden	blago nelagodje	4 × 1, 15–30 s (≈ 9–16 min)	8 tednov	raztezne vaje za mišice kolka, kolena in gležnja

Legenda: VPU – vadba proti uporin, SR – statično raztezanje, F – frekvenca, I – intenziteta, št – število, VE – vadbena enota, VP – vadbeni program, VAL – vizualna analogna lestvica, RPE – stopnja zaznanega napora (angl. rate of perceived exertion), ADD – addukcija, PM – ponovitveni maksimum, min – minuta, s – sekunda, / - ni podatka.

vadbeni parametri in izvedene vaje (preglednica 2). Trajanje vadbene enote je bilo v raziskavah navedeno ali pa smo ga lahko na podlagi drugih parametrov ocenili.

V dveh raziskavah (11, 12) ni bilo statistično značilnih razlik v spremembah mišične jakosti med intervencijskima skupinama, je pa prišlo do statistično značilnega izboljšanja pri obeh intervencijskih skupinah v primerjavi s kontrolno. V raziskavi Mortona in sodelavcev (15) ni bilo statistično značilnih razlik v spremembah mišične

jakosti med intervencijskima skupinama ali med skupino s statičnim raztezanjem in kontrolno skupino, je pa prišlo do statistično značilnega izboljšanja pri skupini VPU v primerjavi s kontrolno. V raziskavi Fukuchija in sodelavcev (14) ni prišlo do statistično značilnih sprememb mišične jakosti pri mišicah kolka v primerjavi z začetnimi vrednostmi. Do statistično značilnega izboljšanja v primerjavi z začetnimi vrednostmi je pri vseh skupinah prišlo le pri plantarnih fleksorjih (14), med skupinami pa ni bilo statistično značilnih razlik. V dveh raziskavah (13, 16) je prišlo do statistično

Preglednica 3: Spremembe mišične jakosti glede na začetne vrednosti v posamezni skupini

Avtor	Meritev	VPU	SR	KS
Warneke et al., 2023a (11)	MVIC – plantarni fleksorji, ekstenzirano koleno	+ 213,8 ± 483,8 N*	+ 274,2 ± 481,2 N*	+ 28,5 ± 408,1 N
	MVIC – plantarni fleksorji, flektirano koleno	+ 136,6 ± 388,3 N*	+ 125,9 ± 449,8 N*	+ 5,6 ± 311,6 N
Wohlann et al., 2024 (12)	MVIC – m. pectoralis major	+ 51,1 ± 277,7 N*	+ 46,8 ± 285,9 N*	+ 3,6 ± 254,6 N
Morton et al., 2011 (15)	5 PM – štiriglava stegenska mišica	+ 7,3 ± 10,8 Nm*	+ 3,0 ± 8,7 Nm	+ 2,2 ± 9,9 Nm
	5 PM – zadnje stegenske mišice	+ 5 ± 6,1 Nm	+ 0,8 ± 6,9 Nm	- 2,8 ± 8,3 Nm
Simão et al., 2011 (16)	10 PM – potisk z nogami	+ 50 ± 14,1 kg*	+ 5 ± 14,1 kg	0 ± 14,1 kg
	10 PM – potisk s prsi	+ 10 ± 3,5 kg*	0 ± 5,6 kg	0 ± 3,5 kg
Rosenfeldt et al., 2024 (13)	MVIC – mrtvi dvig pri 95 % polnega obsega giba	+ 145 ± 27 N*	- 16 ± 57 N	+ 49 ± 44 N
	MVIC – mrtvi dvig pri 50 % polnega obsega giba	+ 139 ± 53 N*	+ 17 ± 28 N	+ 23 ± 27 N
Fukuchi et al., 2016 (14)	MVIC – abduktorji kolka	- 0,1 % TM	- 1,7 % TM	+ 0,2 % TM
	MVIC – ekstenzorji kolka	- 2,5 % TM*	- 3,7 % TM*	- 2,4 % TM*
	MVIC – plantarni fleksorji	+ 3,9 % TM*	-	+ 5,1 % TM*

Legenda: MVIC – maksimalna hotena izometrična kontrakcija, PM – ponovitveni maksimum, N – Newton, NM – Newton meter, TM – telesna masa, \* - statistično značilna sprememba pri  $p < 0,05$ , - - ni spremembe.

Preglednica 4: Spremembe gibljivosti glede na začetne vrednosti v posamezni skupini

Avtor	Meritev	VPU	SR	KS
Warneke et al., 2023a (11)	OG dorzalne fleksije stoje	+ 1,1 ± 3,1 cm*	+ 1,3 ± 3,6 cm*	+ 0,5 ± 3 cm
	OG dorzalne fleksije z ortozo	+ 0,7 ± 2,1 cm*	+ 1 ± 2,5 cm*	0 ± 1,6 cm
Wohlann et al., 2024 (12)	OG ramenskega sklepa	- 1,1 ± 11,4 cm	- 3,8 ± 16,2 cm*	- 0,2 ± 14,2 cm
Morton et al., 2011 (15)	OG ekstenzije kolena	+ 32,9 ± 18,5°*	+ 32,3 ± 13,2°*	+ 13,8 ± 11,1°
	OG fleksije kolka	- 10,6 ± 7,3°*	+ 5,4 ± 7,2°*	+ 0,6 ± 7,9°
	OG ekstenzije kolka	+ 9,9 ± 4,3°*	+ 4,7 ± 6,9°*	+ 1,5 ± 8,1°
	OG ramenskega sklepa	+ 2,8 ± 2,2°	+ 1,8 ± 2°	+ 1,2 ± 1,6°
Simão et al., 2011 (16)	razteznost ekstenzorjev kolka in trupa	+ 6 ± 3,6 cm*	11 ± 3,6 cm*	0 ± 2,83 cm
Rosenfeldt et al., 2024 (13)	razteznost ekstenzorjev kolka in trupa	+ 6,6 ± 2,6 cm*	+ 6,1 ± 1,4 cm*	+ 0,8 ± 1,4 cm
Fukuchi et al., 2016 (14)	OG addukcije kolka	+ 2,8°*	+ 1,7°*	+ 2,9°*
	OG ZR kolka	- 1,8°	- 0,4°	- 1,3°
	OG NR kolka	+ 0,1°*	+ 3°*	+ 3,2°*
	OG dorzalne fleksije (iztegnjeno koleno)	+ 2,3°*	+ 1,8°*	+ 2,7°*
	OG dorzalne fleksije (pokršeno koleno)	+ 3,4°*	+ 1°*	+ 3,3°*

Legenda: OG – obseg giba, ZR – zunanja rotacija, NR – notranja rotacija, \* - statistično značilna sprememba pri  $p < 0,05$ .

značilnega povečanja mišične jakosti pri skupini VPU v primerjavi s skupino s statičnim raztezanjem in v primerjavi s kontrolno skupino. Podatki o spremembah mišične jakosti glede na začetne vrednosti so predstavljeni v preglednici 3.

V štirih raziskavah (11, 13, 15, 16) je prišlo do statistično značilnega izboljšanja sklepne gibljivosti pri obeh intervencijskih skupinah v primerjavi s kontrolno skupino, med intervencijskima skupinama pa ni bilo statistično značilnih razlik. V raziskavi Warnekeja in sodelavcev (11) pri meritvah dorzalne fleksije stoje z dotikom stene s kolenom ni bilo statistično značilnih razlik med skupinami. Prav tako ni bilo statistično značilnih razlik med skupinami pri meritvah sklepne gibljivosti ramenskega sklepa v raziskavi Mortona in sodelavcev (15). V raziskavi Fukuchija in sodelavcev (14) ni prišlo do statistično značilnih razlik med skupinami, čeprav se je sklepna gibljivost pri večini merjenih gibov pri vseh skupinah izboljšala glede na začetne vrednosti. V raziskavi Wohlanna in sodelavcev (12) je prišlo do statistično značilnega povečanja sklepne gibljivosti pri skupini, ki je izvajala statično raztezanje, v primerjavi z drugima skupinama. Podatki o spremembah sklepne gibljivosti glede na začetne vrednosti so predstavljeni v preglednici 4.

## RAZPRAVA

Do primerljivega povečanja mišične jakosti z VPU in statičnim raztezanjem je prišlo v štirih raziskavah (11, 12, 14, 15). Predpostavlja se, da sta za povečanje mišične jakosti in hipertrofijo skeletnih mišic s statičnim raztezanjem bistvenega pomena zadostna količina (11, 12) in intenzivnost (12) raztezne vadbe. Toda pri tem je treba izpostaviti, da je bila v raziskavi Warnekeja in sodelavcev (11) tedenska količina vadbe statičnega raztezanja približno dvakrat večja kot VPU, kar ni praktično. Zato bi bila smiselna alternativa le pri posameznikih, ki so dalj časa imobilizirani (11) ali nimajo dostopa do ustrezne opreme za VPU (11, 12). V preostalih dveh raziskavah (13, 16) pa je bilo izboljšanje mišične jakosti večje z VPU kot z raztezanjem mišic. To je lahko posledica kombinacije prekratkega časa trajanja posameznega statičnega raztega mišice in posledično premajhnih količin vadbe statičnega raztezanja (< 30 min. raztezanja na vadbeno enoto) ter izvajanja VPU v

polnem obsegu giba, kar dodatno razteza mišice med vadbo in spodbuja mišično hipertrofijo (13).

Znano je, da je mehanska napetost bistvena za povečanje mišične hipertrofije in jakosti. Povečanje mišične jakosti z VPU je namreč posledica z mehansko napetostjo sproženih morfoloških sprememb mišice, vključno s povečanjem količine kontraktilnih proteinov (hipertrofija), spremembami tipizacije mišičnih vlaken in/ali elongacijo mišično-tetivne enote (11). Ker je povečana mehanska napetost lahko dosežena tudi z raztegom skeletnih mišic, bi torej lahko bil mehanizem povečanja mišične jakosti s statičnim raztezanjem enak kot z VPU (11). Poleg tega raziskave na živalih kažejo, da dalj časa trajajoče raztezanje poveča število sarkomer v vrsti (20), kar zaradi optimizacije razmerja med dolžino in napetostjo skeletne mišice poveča njeno jakost (11). Povečana mehanska napetost mišice, ne glede na to, ali je povzročena s statičnim raztezanjem ali z VPU, lahko aktivira za hipertrofijo ključno anabolno signalno pot Akt/mTOR (19). Poleg hipertrofije so za povečanje mišične jakosti pomembne tudi spremembe živčnega nadzora skeletnih mišic. Morton in sodelavci (15) povečanje mišične jakosti pri skupini z VPU pojasnjujejo predvsem z izboljšanjem živčnega nadzora, saj je bilo trajanje raziskave prekratko, da bi prišlo do znatne hipertrofije skeletnih mišic. Nasprotno Warneke in sodelavci (11) predpostavljajo, da je povečanje mišične jakosti v skupini, ki je izvajala statično raztezanje, morda posledica nevroloških prilagoditev. Spremembe v živčnem nadzoru skeletnih mišic s statičnim raztezanjem so sicer slabo pojasnjene, vendar se domneva, da nastopijo pozneje kot morfološke (21). Zaradi omejene količine dokazov in nasprotujočih si interpretacij nevroloških sprememb pri statičnem raztezanju, ki bi vplivale na mišično jakost, ostajajo slabo pojasnjene.

V petih raziskavah (11, 13–16) je prišlo do povečanja sklepne gibljivosti pri obeh intervencijskih skupinah, brez statistično značilnih razlik med njima. Izjema je bila raziskava Wohlanna in sodelavcev (12), v kateri so izmerili statistično pomembno povečanje sklepne gibljivosti le pri skupini, ki je izvajala statično raztezanje, ne pa tudi v skupini, ki je izvajala VPU. Fiziološki mehanizmi povečanja obsega giba z VPU niso

zadovoljivo raziskani in pojasnjeni. Predvideva se, da do povečanja gibljivosti pri VPU podobno kot pri statičnem raztezanju pride zaradi živčno-mišičnih sprememb, sprememb mehanskih lastnosti mišičnega in vezivnega tkiva ali spremembe refleksne aktivnosti GTO in mišičnega vretena (22, 23). Povečana mehanska napetost, ki podaljša mišično ter vezivno tkivo in je potrebna za povečanje sklepne gibljivosti, je namreč lahko povzročena z VPU ali statičnim raztezanjem (24). VPU poleg povečanja napetosti v tetivah in ligamentih izboljša kontraktilnost skeletnih mišic, kar lahko pripomore k povečanju obsega giba (16).

V štirih raziskavah (11, 13, 15, 16) je posebej izpostavljeno, da je bil pri skupini VPU poudarek na izvedbi vaj v polnem obsegu giba, kar naj bi bilo bistveno za povečanje sklepne gibljivosti z VPU (25), čeprav v nobeni pregledani raziskavi obseg giba pri VPU ni bila opazovana spremenljivka. Do podobnih ugotovitev so v pregledu literature prišli tudi Pallarés in sodelavci (26), ki so ugotovili, da je podaljšanje mišičnih fasciklov večje, če je VPU izvedena v polnem obsegu giba. V pregledu literature Alizadeh in sodelavci (7) prav tako navajajo, da je obseg giba pri VPU verjetno pomembnejši od zunanje obremenitve, kadar je cilj povečanje sklepne gibljivosti. Vseeno dodatna zunanja obremenitev lahko še izboljša rezultate (27). Med pregledanimi raziskavami posebej izstopata raziskavi Warnekeja in sodelavcev (11) ter Wohlanna in sodelavcev (12), v katerih je do primerljivih rezultatov med intervencijskima skupinama prišlo kljub bistveno nižji frekvenci vadbe in krajšemu trajanju vadbene enote VPU v primerjavi s statičnim raztezanjem. Pregledana literatura ne kaže pomembnosti količine VPU za povečanje gibljivosti, prav tako pa so ugotovitve raziskav, ki so raziskovale učinek količine VPU na gibljivost, nesoglasne. Júnior in sodelavci (28) so ugotovili, da večja količina VPU poveča gibljivost bolj kot manjša količina vadbe, vendar Leite in sodelavci (29) niso prišli do enakih rezultatov.

Rosenfeldt in sodelavci (13) domnevajo, da bi primerljivo povečanje sklepne gibljivosti med intervencijskima skupinama lahko pripisali daljšemu trajanju ekscentrične kontrakcije pri skupini VPU, ni pa znano, ali je do povečanja sklepne gibljivosti prišlo zaradi strukturnih sprememb mehkega tkiva ali zaradi nevroloških

adaptacij. Raziskav, ki bi primerjale spremembe sklepne gibljivosti pri različnih trajanjih ekscentrične kontrakcije, ni, zato domneve Rosenfeldta in sodelavcev (13) niso podprte z znanstvenimi dokazi. Do povečanja obsega giba pa ne pride nujno zaradi povečane raztegljivosti obklesnih mehko tkivnih struktur. Morton in sodelavci (15) so primerljivo povečanje sklepne gibljivosti pri intervencijskih skupinah pojasnili z živčno-mišičnimi spremembami. Dinamična VPU, izvedena v polnem obsegu giba, je z nevroanatomskega vidika namreč oblika aktivnega oziroma PNF-raztezanja (15). Pri VPU so mišice med izvajanjem vaj v polnem obsegu giba najprej kontrahirane za premagovanje obremenitve, v končnem obsegu giba pa ostajajo aktivne in hkrati raztegnjene pod obremenitvijo. Ta položaj je podoben statično raztegnjeni izometrično kontrahirani skeletni mišici pri PNF-raztezanju. Mehanizmi povečanja sklepne gibljivosti z VPU bi torej lahko bili podobni živčno-mišičnim spremembam pri PNF-raztezanju. Poleg tega je PNF-raztezanje učinkovitejše za povečanje sklepne gibljivosti v primerjavi s pasivnim raztezanjem, kadar je vzrok zmanjšane sklepne gibljivosti mišična skrajšava (21).

Raziskava Fukuchija in sodelavcev (14) je bila edina, ki je vključevala starejše odrasle, rezultati pa kažejo, da lahko VPU poveča sklepno gibljivost tudi v tej starostni skupini, kar nakazuje potrebo po dodatnih raziskavah. VPU ima poleg učinka na mišično jakost in domnevnega učinka na gibljivost tudi pozitivne vplive na kardiovaskularno funkcijo in mineralno kostno gostoto (30), zato bi lahko posamezniki s časovno omejitvijo v nekaterih primerih izvajali izključno VPU ter tako dosegli sočasne učinke na mišično jakost in gibljivost (16). Seveda pa z VPU ne moremo nadomeščati drugih učinkov raztezanja, ki jih pogosto uporabljamo v fazi ogrevanja, da mehko tkivo postopno pripravimo na intenzivnejšo vadbo ali za sproščanje mišic po vadbi (7).

Avtorji raziskav kot pomanjkljivosti navajajo premajhno število preiskovancev (13, 15) ter prekratko trajanje raziskave (11, 15). Poleg tega so bile v posameznih raziskavah med poskusno in kontrolno skupino razlike v intenzivnosti (11, 14–16) in količini vadbe (11, 14, 15). Interpretacija rezultatov je dodatno otežena zaradi subjektivnega

določanja intenzivnosti VPU v dveh raziskavah (13, 14) in intenzivnosti statičnega raztezanja v vseh vključenih raziskavah. V dveh raziskavah (13, 14) preiskovanci niso bili podrobno spremljani skozi celotno trajanje vadbenega programa v vseh skupinah, zato ni znano, ali so vsi dosledno sledili protokolu. Warneke in sodelavci (11) ter Rosenfeldt in sodelavci (13) pa navajajo, da sta bila VPU in merilni protokol za merjenje mišične jakosti ter statično raztezanje in merilni protokol za merjenje sklepne gibljivosti podobna. Specifičnost vadbenega programa glede na posamezen merilni postopek bi lahko pristransko vplivala na učinke VPU na jakost in statično raztezanje na gibljivost. V dveh raziskavah je vprašljiva tudi zanesljivost meritev gibljivosti sklepov. Čeprav so protokoli meritev sklepne gibljivosti natančno pojasnjeni, vsi postopki niso bili standardizirani (12, 15). Pri merjenju mišične jakosti je vprašljiva ustreznost izbire merilnih postopkov glede na vrsto mišične kontrakcije, saj izometrična in izotonična mišična jakost ne korelirata popolnoma. VPU je bila namreč v vseh raziskavah izotonična (koncentrično-ekscetrična), jakost pa so v štirih raziskavah (11–14) ocenjevali z največjo hoteno izometrično kontrakcijo, kar bi lahko vplivalo na senzitivnost meritev.

Omejitev našega pregleda literature je vključitev raziskav, v katerih so preučevali različne mišične skupine, ki imajo že same po sebi različne lastnosti, zato je pri posploševanju ugotovitev potrebna dodatna previdnost. Ugotavljanje razlik med VPU in statičnim raztezanjem dodatno otežuje odsotnost enotnih vadbenih parametrov obeh vrst vadbe med raziskavami. Večina raziskav (11–13, 15–16) je preučevala ljudi, stare med 18 in 36 let, zato ugotovitve pregleda literature veljajo za to starostno skupino in niso neposredno prenosljive na druge starostne skupine.

## ZAKLJUČKI

Glede na pregledano literaturo sklepamo, da z uporabo ustreznih vadbenih parametrov tako VPU kot statično raztezanje lahko povečata mišično jakost in sklepno gibljivost. Ugotovitve veljajo za mlajše posameznike s sedečim načinom življenja in telesno dejavne posameznike, smiselne pa bi bile nadaljnje raziskave tudi pri mladostnikih in starejših odraslih. Pomanjkljivosti pregledanih raziskav in pregleda literature otežujejo interpretacijo

rezultatov in opredeljevanje glede učinkovitosti posamezne vrste vadbe, zato za zdaj ni mogoče sklepati, da so učinki VPU in statičnega raztezanja na mišično jakost in sklepno gibljivost enakovredni. Potrebne so nadaljnje, metodološko enotnejše in kakovostnejše raziskave, ki bi primerjale učinek obeh vrst vadbe na mišično jakost in sklepno gibljivost, ter raziskave, ki pojasnjujejo mehanizme delovanja VPU na sklepno gibljivost in statičnega raztezanja na mišično jakost.

## LITERATURA

1. Lysenko EA, Vinogradova OL, Popov DV (2021). The mechanisms of muscle mass and strength increase during strength training. *J Evol Biochem Physiol* 57: 862–75.
2. Arntz F, Markov A, Behm DG, Behrens M, Negra Y, Nakamura M, Moran J, Chaabene H (2023). Chronic effects of static stretching exercises on muscle strength and power in healthy individuals across the lifespan: a systematic review with multi-level meta-analysis. *Sports Med* 53(3): 723–45.
3. Franchi MV, Atherton PJ, Reeves ND, Flück M, Williams J, Mitchell WK, Selby A, Beltran Valls RM, Narici MV (2014). Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiol* 210(3): 642–54.
4. Panidi I, Donti O, Konrad A, Dinas PC, Terzis G, Mouratidis A, Gaspari V, Donti A, Bogdanis GC (2023). Muscle architecture adaptations to static stretching training: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med Open* 9(1): 47.
5. Weppeler CH, Magnusson SP (2010). Increasing muscle extensibility: a matter of increasing length or modifying sensation? *Phys Ther* 90(3): 438–49.
6. Alizadeh S, Daneshjoo A, Zahiri A, Anvar SH, Goudini R, Hicks JP, Konrad A, Behm DG (2023). Resistance training induces improvements in range of motion: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 53(3): 707–22.
7. Nuzzo JL (2019). The case for retiring flexibility as a major component of physical fitness. *Sports Med* 50(5): 853–70.
8. Behm DG, Chaouachi A (2011). A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *Eur J Appl Physiol* 111(11): 2633–51.
9. Kisner C, Colby LA (2018). *Therapeutic exercise: foundations and techniques*. 7th ed. Philadelphia: F.A. Davis Company.
10. Moscão JC, Vilaça-Alves J, Afonso J (2020). A review of the effects of static stretching in human mobility and strength training as a more powerful alternative: towards a different paradigm. *Motricidade* 16(1): 18–27.

11. Warneke K, Wirth K, Keiner M, Lohmann LH, Hillebrecht M, Brinkmann A, Wohlann T, Schiemann S (2023a). Comparison of the effects of long-lasting static stretching and hypertrophy training on maximal strength, muscle thickness, and flexibility in the plantar flexors. *Eur J Appl Physiol* 123(8): 1773–87.
12. Wohlann T, Warneke K, Kalder V, Behm DG, Schmidt T, Schiemann S (2024). Influence of 8 weeks of supervised static stretching or resistance training of pectoral major muscles on maximal strength, muscle thickness, and range of motion. *Eur J Appl Physiol* 124(6): 1885–93.
13. Rosenfeldt M, Stien N, Behm DG, Saeterbakken AH, Andersen V (2024). Comparison of resistance training vs static stretching on flexibility and maximal strength in healthy physically active adults: a randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 16(1): 142.
14. Fukuchi RK, Stefanyshyn DJ, Stirling L, Ferber R (2016). Effects of strengthening and stretching exercise programmes on kinematics and kinetics of running in older adults: a randomised controlled trial. *J Sports Sci* 34(18): 1774–81.
15. Morton SK, Whitehead JR, Brinkert RH, Caine DJ (2011). Resistance training vs. static stretching: effects on flexibility and strength. *J Strength Cond Res* 25(12): 3391–98.
16. Simão R, Lemos A, Salles B, Leite T, Oliveira É, Rhea M, Reis VM (2011). The influence of strength, flexibility, and simultaneous training on flexibility and strength gains. *J Strength Cond Res* 25(5): 1333–38.
17. Warneke K, Hillebrecht M, Claassen-Helmers E, Wohlann T, Keiner M, Behm DG (2023b). Effects of a home-based stretching program on bench press maximum strength and shoulder flexibility. *J Sports Sci Med* 22(4): 597–604.
18. Corbin CB, Lindsay R (1997). *Fitness for life*. 4th ed. Glenview, Ill: Scott, Foresman and Company.
19. Tyganov S, Mirzoev T, Shenkman B (2019). An anabolic signalling response of rat soleus muscle to eccentric contractions following hindlimb unloading: a potential role of stretch-activated ion channels. *Int J Mol Sci* 20(5): 1165.
20. Antonio J, Gonyea WJ (1993). Progressive stretch overload of skeletal muscle results in hypertrophy before hyperplasia. *J Appl Physiol* 75(3): 1263–71.
21. Guissard N, Duchateau J (2006). Neural aspects of muscle stretching. *Exerc Sport Sci Rev* 34(4): 154–58.
22. Fowles JR, Sale DG, MacDougall JD (2000). Reduced strength after passive stretch of the human plantar flexors. *J Appl Physiol* 89(3): 1179–88.
23. Nelson DL, Hutton RS (1985). Dynamic and static stretch responses in muscle spindle receptors in fatigued muscle. *Med Sci Sports Exerc* 17(4): 445–50.
24. Knudson DV (2006). The biomechanics of stretching *J Exerc Sci Phys* 2: 3–12.
25. Afonso J, Ramirez-Campillo R, Moscão J, Rocha T, Zacca R, Martins A, Milheiro AA, Ferreira J, Sarmento H, Clemente FM (2021). Strength training versus stretching for improving range of motion: a systematic review and meta-analysis. *Healthcare* 9(4): 427.
26. Pallarés JG, Hernández-Belmonte A, Martínez-Cava A, Vetrovsky T, Steffl M, Courel-Ibãñez J (2021). Effects of range of motion on resistance training adaptations: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports* 31(10): 1866–1881.
27. Favro F, Roma E, Gobbo S, Bullo V, Di Blasio A, Cugusi L, Bergamin M (2025). The influence of resistance training on joint flexibility in healthy adults: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *J Strength Cond Res* 39(3): 386–97.
28. Júnior RS, Leite T, Reis VM (2011). Influence of the number of sets at a strength training in the flexibility gains. *J Hum Kinet* 29(A): 47–52.
29. Leite TB, Costa PB, Leite RD, Novaes JS, Fleck SJ, Simão R (2017). Effects of different number of sets of resistance training on flexibility. *Int J Exerc Sci* 10(3): 354–364.
30. Avers D, Wong RA (2020). *Guccione's geriatric physical therapy*. 4th ed. Elsevier.