



Miha Pešič,

Sara Gloria Meh, Daniel Djurić, Andraž Šterk, Žiga Kozinc

Povezanost izbranih morfoloških in živčno-mišičnih dejavnikov z uspešnostjo izvedbe mrtvega dviga pri zmerno do visoko treniranih preiskovancih

Izvleček

V raziskavi smo preučevali povezave med izbranimi morfološkimi in živčno-mišičnimi dejavniki ter uspešnostjo izvedbe mrtvega dviga pri zmerno do visoko treniranih posameznikih. V prečno-presečno študijo je bilo vključenih 12 moških (povprečna starost: $25,8 \pm 7,1$ leta). Meritve so zajemale jakost stiska pesti, jakost iztegovalk in upogibalk kolena, antropometrijo, debelino stegenskih mišic in uspešnost izvedbe mrtvega dviga (1 RM). Ugotovljena je bila visoka in statistično pomembna pozitivna korelacija med absolutnim 1 RM in jakostjo iztegovalk kolena ($r = 0,72$). Nobena druga spremenljivka ni pokazala pomembne korelacije z absolutnim ali s telesno maso normaliziranim 1 RM. V nasprotju s pričakovanji povezave z jakostjo upogibalk kolena niso bile ugotovljene, verjetno zaradi metodologij merjenja. Medtem ko debelina mišice in nekatere antropometrične mere veljajo za determinante mišične zmogljivosti, v tej študiji ni bila ugotovljena jasna povezava z zmogljivostjo mrtvega dviga. Raziskava kaže kompleksnost in prepletenost dejavnikov, ki vplivajo na uspešnost izvedbe mrtvega dviga, in nakazuje pomen jakosti iztegovalk kolena v kontekstu testiranja in treniranja. Omejitev študije je majhna velikost vzorca, ki so ga sestavljali samo moški. Potrebne so nadaljnje raziskave z večjimi, raznolikimi skupinami za potrditev ugotovitev in raziskovanje dodatnih spremenljivk, ki vplivajo na uspešnost mrtvega dviga.

Ključne besede: jakost kolena, stisk pesti, antropometrija, debelina mišic, dviganje uteži



The relationship of selected morphological and neuromuscular factors with the performance of the deadlift in moderately to highly trained subjects

Abstract

This study investigated the relationship between selected morphological and neuromuscular factors and deadlift performance in moderately to highly trained individuals. Utilizing a cross-sectional design, twelve male participants (mean age: 25.8 ± 7.1 years) underwent evaluations for grip strength, knee extensor and flexor strength, anthropometric measurements, thigh muscle thickness, and maximum deadlift strength (1RM). Notably, a high and statistically significant positive correlation was found between absolute 1RM and knee extensor strength ($r = 0.72$). However, no other variables showed a significant correlation with absolute or body mass-normalized 1RM. This highlights the critical role of knee extensor strength in deadlift performance. Contrary to expectations, connections with knee flexor strength were not established, possibly due to measurement methodologies. Additionally, while muscle thickness and anthropometry are considered determinants of muscle strength, no clear link with deadlift performance was found in this study. The research shows the complexity of factors influencing deadlift performance and suggests the importance of knee extensor strength during testing and training. Limitations of the study include a small, male-only sample size, suggesting further research with larger, diverse groups to validate findings and explore additional variables affecting deadlift performance.

Keywords: knee strength, grip strength, anthropometry, muscle thickness, weightlifting

Uvod

Povečana mišična zmogljivost (mišična jakost in mišična moč) je povezana z množico potencialnih koristi, med katere spadajo izboljšana telesna zmogljivost, zmanjšano tveganje obolenosti/smrti ter izboljšanje športne uspešnosti (Westcot, 2012; Suchomel, Nimphius in Stone, 2016). Mišična jakost je opredeljena kot sposobnost mišice za proizvajanje sile proti zunanjemu upor, medtem ko je mišična moč opredeljena kot sposobnost opravljanja mehanskega dela (Knudson, 2009). V športni diagnostiki se jakost najpogosteje ocenjuje z uporabo izokinetičnih dinamometrov. Kljub pogosti uporabi omenjene metode ima določene omejitve, glavna med njimi je visoka cena opreme, hkrati pa izokinetični dinamometer zahteva veliko prostora in usposobljene merilce (Martins idr., 2017). Kot alternativa temu se v praksi kot veljaven test mišične jakosti pogosto uporablja test dviga največjega bremena pri 1 ponovitvi (angl. 1 repetition maximum – 1RM) (Kraemer, Fry, Maud in Foster, 1995). Grgič, Lazinica, Schoenfeld in Pedisic (2020) so v svojem sistematičnem pregledu zaključili, da se testiranje 1 RM lahko uporablja kot zanesljiv pokazatelj mišične jakosti z dobro do odlično stopnjo ponovljivosti. Mrtvi dvig predstavlja eno izmed pogostejše uporabljenih vaj za jakost, uporablja se tako za izboljšanje mišične zmogljivosti kot za testiranje mišične jakosti v obliki testiranja 1 RM. Obenem za tekmovalce v troboju moči 1 RM predstavlja neposredno mero uspešnosti.

Mrtvi dvig je večsklepna vaja, ki vključuje mišice spodnjih okončin (Woodley in Mercer, 2005; Koulouris in Connell, 2005), hrbta in trupa ter mišice rok (Camara idr., 2016). Ključna determinanta, ki vpliva na 1 RM mrtvega dviga, je mišična jakost, saj nakazuje na zmogljivost mišic za razvoj sile. Poznamo še nekaj drugih dejavnikov, ki neposredno vplivajo na zmogljivost pri tem dvigu, med njimi so antropometrične lastnosti (Cholewa, Atalag, Zinchenko, Johnson in Henselmans, 2019), tehnika dviga in z njo povezana mehanska učinkovitost (Swinton, Stewart, Agouris, Keogh in Lloyd, 2011), trenažna zgodovina (Grgič idr., 2020; Suchomel idr., 2016; Helms, Cronin, Storey in Zourdos, 2016) in živčno-mišična učinkovitost (Tillin in Folland, 2014). Zanimivo je preučevanje vpliva morfoloških značilnosti sinergističnih mišic (v tem primeru iztegovalk kolka) ter navsezadnje tudi jakosti podpornih mišic – na primer jakost stiska

pesti (Garhammer, 1993). Breme ali izvedba večjega števila ponovitev pri mrtvem dvigu lahko povečajo mehansko delo na mišice podlakti pri prijemu palice, ki pa se lahko čez čas utrudijo ali pa je sama jakost mišic premajhna, zato je posameznik prisiljen zmanjšati breme na palici. V tem smislu lahko sposobnost opravljanja mehanskega dela mišic podlakti pri posamezniku predstavlja omejitveni dejavnik med mrtvim dvigom, saj lahko omeji število zaporednih ponovitev oziroma onemogoči dvig maksimalnega bremena (Jukic idr., 2021).

Številne raziskave nakazujejo na veljavnost in uporabnost ultrazvoka pri merjenju debeline mišic (Ema idr., 2013; Betz idr., 2021; Hoffmann idr., 2021). Ultrazvok se je prav tako izkazal za dobro koreliran z drugimi slikovnimi metodami, kot npr. računalniška tomografija (Lambell idr., 2020). Poleg tega so zanesljivost ultrazvoka pri merjenju debeline mišic dosledno potrdile različne raziskave. Na primer, Liu idr. (2023) so opravili sistematični pregled, ki je pokazal visoko zanesljivost pri ocenjevanju arhitekture mišic spodnjih okončin s pomočjo ultrazvoka (večina ICC > 0,90). Jeong idr. (2016) so prav tako podprli zanesljivost in veljavnost ultrazvoka pri merjenju debeline mišic zgornjih vlaken trapeza in prečne trebušne mišice. Če povzamemo, več raziskav podpira veljavnost in zanesljivost ultrazvoka pri merjenju debeline mišic, zlasti mišic spodnjih okončin pri različnih populacijah in kliničnih okoljih.

Med izvedbo mrtvega dviga so aktivne predvsem zadnje stegenske mišice oziroma mišice semimembranosus, semitendinosus in biceps femoris. Te mišice omogočajo predvsem izteg kolka in upogib kolena (Woodley in Mercer, 2005; Koulouris in Connell, 2005). Martín-Fuentes idr. (2020) so med mrtvimi dvigi opazili nekoliko večjo aktivacijo mišice semitendinosus v primerjavi z mišico biceps femoris, vendar je najverjetneje težko sklepati o večji pomembnosti prve mišice za izvedbo mrtvega dviga, saj sta pri izvedbi mrtvega dviga pomembna oba sklopa mišic. Ob opisanem lahko rečemo, da je izvedba mrtvega dviga rezultat kompleksne kombinacije različnih dejavnikov. Z natančnim testiranjem in analizo različnih spremenljivk lahko pridobimo podroben vpogled v šibke točke posameznika in dejavnike, ki vplivajo na uspešnost izvedbe. Zato je cilj te raziskave preveriti, katere od izbranih spremenljivk so povezane z uspešnostjo izvedbe mrtvega dviga pri zmerno do visoko treniranih po-

sameznikih. Rezultati te raziskave bi lahko bili koristni tako za športne trenerje pri načrtovanju vadbenih programov kot za posameznike pri izboljšanju njihove izvedbe mrtvega dviga. Vrh obrazca

Metode

Preiskovanci

V raziskavi je sodelovalo 12 preiskovancev (starost: $25,8 \pm 7,1$ leta; telesna masa: $86 \pm 5,3$ kg). Preiskovanci so poročali o rednem izvajanju vadbe proti upor (trenažni status: $5,1 \pm 2,2$ leta), v svoj trenažni proces so vključevali mrtvi dvig vsaj enkrat na teden, kar je bil tudi pogoj za vključitev v raziskavo. Izključitveni kriteriji so bile hujše poškodbe ali bolezni v zadnjih šestih mesecih pred izvedbo raziskave ali bolečine, ki bi lahko vplivale na izvedbo meritev. Po predstavitvi morebitnih tveganj, koristi in poteka raziskave so preiskovanci podpisali informirano privolitev v sodelovanje pri raziskavi, ki je v skladu s Helsinško deklaracijo. Preiskovancem je bila predstavljena tudi možnost odstopa od raziskave med procesom brez posledic. Raziskavo je potrdila Komisija Republike Slovenije za medicinsko etiko (št. 0120-690/2017/8) in je v skladu z zahtevami raziskovalne etike.

Potek študije

Raziskava je presečna. Za vse preiskovance je bil potreben le en obisk, hkrati smo jim naročili, naj na meritve pridejo spočiti, naj zaužijejo primeren energijski obrok in poskrbijo za hidracijo. Sočasno sta meritve opravljala dva preiskovanca. Preiskovancu smo najprej opisali potek raziskav, tveganja in koristi. Izpolnil je list z osebni podatki ter kratek vprašalnik o zgodovini poškodb in značilnostih trenažnega procesa, na koncu pa še informirano privolitev za sodelovanje v raziskavi. Sledile so antropometrične meritve, pri katerih smo vključili višino preiskovanca, obsege podlakti (meritev je bila izvedena na sredini podlakti in na najširšem delu, izračunano je bilo povprečje vseh 4 meritev) in nadlakti (meritev je bila izvedena na sredini nadlakti, izračunano je bilo povprečje 2 meritev), obseg bokov in obseg stegna (meritev je bila izvedena na proksimalnem delu, na sredini stegna in na distalnem delu stegna, izračunano je bilo povprečje 6 meritev). Nato je sledila meritev bioelektrične impedance z uporabo telesnega analizatorja Tanita (BV 418MA). Preiskovanci so postopek nato nadaljevali z ogrevanjem, in sicer so izvedli 5 minut sto-

panja na višjo podlago, dinamične raztezne vaje celotnega telesa po 10 ponovitev (kroženja – glave, ramen, rok, bokov, kolen, gležnjev) in 5 krepilnih vaj (10 počepov z dvigom na prste s 4- ali 6-kilogramsko utežjo, 10 enonožnih mrtvih dvigov s 4- ali 6-kilogramsko utežjo, 10 upogibov komolca v supiniranem in proniranem položaju podlakti s 4- ali 6-kilogramsko utežjo v vsaki roki ter 10 enonožnih dvigov mostu). Preiskovanci so nato opravili meritve jakosti stiska pesti, meritve jakosti iztegovalk in upogibalk kolena ter meritve 1 RM pri mrtvem dvigu.

Merilni postopki

V prvem sklopu so bile opravljene antropometrične meritve, meritve telesne analize s telesnim analizatorjem Tanita ter meritve debeline mišic dolge glave biceps femoris, mišice semitendinosus in velike zadnjične mišice z uporabo ultrazvoka. Antropometrične meritve so bile izvedene po priporočilih standardov za oceno antropometrije (Norton, 2018). V meritve smo vključili višino preiskovancev, obsege in dolžine zgornjih okončin (dlan, zapestje, podlaket, nadlaket, prsni koš), pasu ter spodnjih okončin (stegnenico in golenico). Nato so preiskovanci opravili bioelektrično impedanco, pri čemer smo zabeležili telesno maso, mišično maso, kostno maso, BMI, maščobno maso in delež vode v telesu (angl. Total body water).

Za meritev debeline mišic smo uporabili diagnostični ultrazvok Resona 7 (Mindray, Shenzhen, Kitajska) in srednje veliko linearno sondo (Model L11-3U, Mindray, Shenzhen, Kitajska). Merilca sta bila predhodno usposobljena za ultrazvočne meritve. Pri vseh preiskovancih smo debelino mišice izmerili na dominantni nogi ter zajeli tri ločene meritve pri vsaki mišici. Izmed treh zajetih slik posamezne mišice smo izbrali tisto z vidnejšimi mišičnimi vlakni in aponevrozo. Preiskovanci so ležali sproščeno na fizioterapevtski postelji, kot je razvidno s Slike 1 (kot v kolku in kolenu je bil 0°). Mišično-tetivni kompleks je bil označen s pomočjo palpacije in izometrične kontrakcije mišice. Zajem slike posamezne mišice je bil po celotni dolžini od narastišča do izvora, čemur je sledila določitev debeline mišice na treh mestih (proksimalni, srednji in distalni del mišice). Srednji del je bil določen pri največji debelini, proksimalni in distalni del pa 2 cm višje in nižje. Med zajemom slike smo sondo premikali s 3–5-sekundnim zamikom po prej označeni liniji ter jo ustrezno

obračali, da je ostala pravokotno na sondo in usmerjena glede na orientacijo mišičnih fasciklov. Med zajemom slike smo uporabili minimalen pritisk. Za izboljšanje stika med kožo in sondo smo uporabili ultrazvočni gel (AquaUltra Basic, Ultragel, Budimpešta, Madžarska).



Slika 1: Primer meritve debeline mišice dolge glave biceps femoris

Drugi sklop meritev je bil opravljen z ročnim dinamometrom za vrednotenje maksimalne jakosti mišic podlakti. Merjenci so meritev opravili dvakrat posamično na vsaki roki in dvakrat z obema rokama hkrati. Merjenec je opravil po dve poskusni meritvi in dve največji hoteni kontrakciji stiska pesti v vsakem pogoj. Med ponovitvami so imeli vsaj 30 sekund odmora. Zabeležili



Slika 2: Merjenje jakosti stiska pesti z dinamometrom

smo največje sile, ki jih je preiskovanec dosegel v unilateralnih in bilateralnih poskusih. Preiskovanec je držal dinamometer oziroma dinamometra tako, da je posnemal položaj mrtvega dviga, z rahlim upogibom rame in komolcem v iztegnjenem položaju (Slika 2). Merjenec je stisnil in zadržal dinamometer z največjo možno silo vsaj pet sekund. Preiskovance smo med testiranjem glasno verbalno spodbujali.

Tretji sklop meritev je bil opravljen na izometričnem dinamometru (S2P, Science to Practice) z vgrajenimi senzorji sil (model 1-Z6FC3/200 kg) z namenom vrednotenja največje izometrične jakosti upogiba in iztega kolena (Slika 3). Meritve smo opravili kvazirandomizirano in uravnoteženo, kar pomeni, da smo v nekaterih primerih začeli z upogibom, nato z iztegom ter prav tako v nekaterih primerih z bilateralnim iztegom oziroma upogibom in nato z unilateralnimi iztegi oziroma upogibi in obrnjenjo. Dinamometer je bil pred testom kalibriran po navodilih proizvajalca. Preiskovanec se je usedel na stol dinamometra, pri tem je bil celoten hrbet v stiku z naslonjalom (koti: kolk 100° in koleno 120°). Nastavitve stola so bile prilagojene tako, da je bilo prostora med sedežem in nogo toliko, da ni oviral izvedbe posamezne naloge in da je bila os kolenskega sklepa poravnana z osjo dinamometra. Prav tako je bila delovna noga preiskovanca v nevtralnem položaju, brez zunanje in notranje rotacije v kolčnem sklepu. Ročica dinamometra je bila prilagojena dolžini noge preiskovanca, vpetje je bilo tako nad lateralnim maleolom (5 cm proksimalno) in močno zatesnjeno. Za boljše stabilnost med testom je bilo preiskovancu naročeno, naj uporablja ročici na robu se-



Slika 3: Položaj preiskovanca med merjenjem jakosti upogiba in iztega kolena

Tabela 1.
Opisna statistika

Spremenljivka	Povprečje	SO	Minimum	Maksimum
1 RM (kg)	177,8	25,4	150,0	220,0
1 RM (kg/kgTM)	2,2	0,3	1,8	2,7
Debelina mišice (BF)	38,1	6,9	27,9	48,0
Debelina mišice (ST)	32,7	4,8	24,1	40,0
Debelina mišice (GM)	48,5	4,8	40,2	52,4
Odstotek telesne maščobe (%)	16,8	3,2	11,5	21,3
Telesna masa (kg)	82,1	2,6	79,6	86,2
Pusta telesna masa (kg)	64,9	2,7	61,2	69,7
Jakost stiska pesti (N)	594,2	86,2	500,1	797,2
Jakost iztegovalk kolena (N)	715,1	103,6	611,0	912,0
Jakost upogibalk kolena (N)	357,2	37,4	304,0	432,0
Jakost iztegovalk kolena (N/kgTM)	8,7	1,1	7,4	10,6
Jakost upogibalk kolena (N/kgTM)	4,3	0,4	3,8	5,0
Višina skoka (cm)	41,3	5,5	31,5	48,5
Obseg bokov (cm)	101,5	3,1	98,0	107,0
Obseg stegna (cm)	55,4	2,5	52,7	59,0
Obseg podlakti (cm)	29,1	0,9	27,4	30,5
Obseg nadlakti (cm)	34,2	1,5	32,0	36,5

SO – standardni odklon; kgTM – normalizirano na kilogram telesne mase

Tabela 2.
Korelacijska analiza

Spremenljivka	1 RM	1 RM – Normaliziran
Debelina mišice (BF)	.032	.155
Debelina mišice (ST)	.277	.295
Debelina mišice (GM)	.378	.363
Odstotek telesne maščobe (%)	.157	.097
Telesna masa (kg)	.455	.250
Pusta telesna masa (kg)	.198	.100
Jakost stiska pesti (kg)	.147	-.033
Jakost iztegovalk kolena (N)	.718*	.611
Jakost upogibalk kolena (N)	.359	.280
Jakost iztegovalk kolena (N/kgTM)	.717*	.646
Jakost upogibalk kolena (N/kgTM)	.244	.225
Višina skoka (cm)	-.099	.015
Obseg bokov (cm)	.264	.129
Obseg stegna (cm)	.455	.317
Obseg podlakti (cm)	.532	.460
Obseg nadlakti (cm)	.164	.068

kgTM – normalizirano na kilogram telesne mase; * – statistično značilna povezava

deža za oprijem. Za vsako nalogo je merjenec opravil tri poskusne ponovitve s 50, 75 in 90 % ocenjene največje zmogljivosti, temu so sledile tri ponovitve največje ho-

tene kontrakcije, med katerimi so bili enominutni odmori. Tudi pri tej nalogi so imeli preiskovanci pri vsaki ponovitvi glasno verbalno spodbudo.

Zadnji sklop meritev je zajemal merjenje maksimalne jakosti (1 RM) pri mrtvem dvigu. Preiskovanci so ogrevanje začeli s prazno palico ter postopoma dvigovali breme po lastnem občutku. Po prvih nekaj ogrevalnih serijah so izvajali le po eno ponovitev pri nadaljnjih bremenih, da bi se izognili vplivu utrujenosti. Ogrevanje, dodajanje bremena in odmor so si preiskovanci lahko določili sami, pri izvedbi pa so bili glasno verbalno spodbujani. Za testiranje 1 RM so imeli na voljo tri ponovitve. V analize smo vzeli tako absolutni 1 RM (v kg) in 1 RM, normaliziran na telesno maso (kg/kg).

Statistična analiza

Za statistično analizo smo uporabili program IMB SPSS Statistics 25 (IBM, New York, USA). Za vse parametre smo izračunali opisno statistiko (povprečne vrednosti, standardni odklon, minimum in maksimum). Normalnost porazdelitve podatkov smo preverili s Shapiro-Wilkovim testom in histogramom. Za ugotavljanje povezanosti spremenljivk smo uporabili Pearsonov korelacijski koeficient (r), pri čemer smo rezultate interpretirali kot: 0,1–0,29 majhna povezanost; 0,3–0,49 zmerne povezanost; 0,5–0,69 velika povezanost; 0,7–0,89 zelo velika povezanost; 0,9–0,99 popolna povezanost (Akoglu, 2018). Pri ordinalnih spremenljivkah ali nenormalno porazdeljenih spremenljivkah smo uporabili Spearmanov korelacijski koeficient (ρ). Statistična značilnost je bila sprejeta pri stopnji zaupanja $\alpha < 0,05$.

Rezultati

Opisna statistika

V Tabeli 1 je zbrana opisna statistika meritev.

Korelacije

Opazili smo pomembno pozitivno korelacijo med absolutnim 1 RM in jakostjo iztegovalk kolena, tako surovo ($r = .718$, $p < .05$) kot normalizirano ($r = .717$, $p < .05$). Nobena druga spremenljivka ni pokazala pomembne korelacije z 1 RM. Za normaliziran 1 RM ni bilo nobene statistično značilne povezave, zaznan je bil trend povezave z normalizirano jakostjo iztegovalk kolena ($r = 0,646$, $p = 0,06$), kar kaže na trend, ki bi ga lahko raziskali v nadaljnjih študijah z večjimi velikostmi vzorcev. Tabela 2 prikazuje korelacijske koeficiente med 1 RM in drugimi spremenljivkami.

Razprava

Namen naše raziskave je bil preveriti, katere spremenljivke so povezane z 1 RM pri mrtvem dvigu pri zmerno do visoko treniranih posameznikih. Merili smo jakost stiska pesti, jakost iztegovalk in upogibalk kolena, antropometrijo, debeline zadnjih stegenskih mišic in velike zadnjične mišice ter navsezadnje 1 RM pri mrtvem dvigu. Rezultati raziskave so potrdili pomembno pozitivno korelacijo med absolutnim 1 RM in jakostjo iztegovalk kolena, prav tako je bil zaznan trend povezave z normalizirano jakostjo iztegovalk kolena. Nobena druga spremenljivka ni pokazala pomembne korelacije z 1 RM.

Korelacija med jakostjo iztegovalk kolena in 1 RM pri mrtvem dvigu v naši raziskavi je bila pričakovana, saj imajo iztegovalke kolena veliko vlogo pri izvedbi mrtvega dviga (Escamilla idr., 2000). V nasprotju s pričakovanji nismo odkrili nobene povezave z upogibalkami kolena in 1 RM pri mrtvem dvigu. Meritve sEMG pri mrtvem dvigu so pokazale večjo aktivnost iztegovalk kolena v primerjavi z upogibalkami kolena, vendar so avtorji raziskav še vedno neenotni (Martín-Fuentes idr., 2020). Eden izmed razlogov za dobljene rezultate v naši raziskavi bi lahko bil kot v kolenu pri meritvah jakosti upogiba kolena. Escamilla idr. (2000) so izvedli biomehansko analizo dveh različnih mrtvega dviga pri 24 dvigalcih uteži (sumo in konvencionalni način izvedbe). Pri mrtvem dvigu so zabeležili kot v kolenu $126^\circ \pm 8^\circ$ (sumo različica) oz. $124^\circ \pm 9^\circ$ (konvencionalna različica) v začetnem delu giba ter $153^\circ \pm 8^\circ$ (sumo različica) oz. $161^\circ \pm 8^\circ$ (konvencionalna različica), ko je palica prečkala koleno, kar je v nasprotju s kotom v kolenu v začetnem položaju na izometričnem dinamometru v naši raziskavi, ki je obsegal 120° . Prav tako lahko v ozir vzamemo položaj kolkov. V omenjeni raziskavi so zabeležili v začetnem delu dviga kot v kolkih $77^\circ \pm 7^\circ$ (sumo različica) oz. $72^\circ \pm 13^\circ$ (konvencionalna različica) ter $106^\circ \pm 8^\circ$ (sumo različica) oz. $114^\circ \pm 11^\circ$ (konvencionalna različica), ko je palica prečkala koleno, medtem ko so preiskovanci v naši raziskavi na izometričnem dinamometru imeli kot v kolkih 100° .

Ker so zadnje stegenske mišice dvosklepne mišice (Kellis in Blazevich, 2022) in ker je mrtvi dvig dinamična vaja (Camara idr., 2016), poleg tega je bila v našem primeru meritev upogibalk kolena izvedena v statičnem, fiksnem položaju in zunaj meja kotov, ki jih vadeči zajame skozi gib, sta lahko to razloga za pomanjkanje korelacij z 1 RM.

Zato bi bilo treba za relevantnejše rezultate v prihodnje izmeriti jakost mišic v različnih kotih, ki imitirajo mrtvi dvig. Omeniti je treba tudi razlike med mrtvim dvigom in upogibom kolena na dinamometru. Mrtvi dvig je – na grobo opisano – izteg gležnjev, kolen in bokov (Camara idr., 2016) oziroma dinamično izveden gib, medtem ko smo v naši raziskavi merili jakost upogibalk kolena v statičnih pogojih, kar lahko dodatno podkrepi pomanjkanje korelacij z uspešnostjo izvedbe mrtvega dviga. V prihodnje bi bilo treba meriti jakost upogibalk kolena pri različnih kotih v kolenu ter tudi v dinamičnih pogojih oz. med samo izvedbo mrtvega dviga.

V prejšnjih raziskavah je bilo dokazano (Jukic idr., 2021), da je lahko jakost prijema oziroma prijem palice omejitveni dejavnik, saj lahko zmanjša število opravljenih ponovitev ali pa zmanjša % bremena, ki ga bi bil posameznik sicer sposoben dvigniti. Če je omejitveni dejavnik jakost mišic podlakti, so lahko rešitev dvižni trakovi (Jukic idr., 2021), saj prenesejo del bremena s prstov na zapestja ter s tem omogočajo večji prenos sile in dvig večjih obremenitev. Omeniti pa je treba, da jih tekmovalci po pravilih mednarodne powerlifting zveze na tekmovanjih ne smejo uporabljati, lahko pa služijo kot pripomoček v trenažnem procesu. Povezave z 1 RM pri mrtvem dvigu in jakostjo prijema v naši raziskavi nismo opazili. Razlog za to bi lahko bil položaj držanja ročnega dinamometra. V naši raziskavi so preiskovanci posnemali položaj držanja palice pri izvajanju mrtvega dviga, kar je vključevalo rahel upogib rame ob iztegnjenem komolcu. Ta pristop se razlikuje od splošnih priporočil za izvedbo testa stiska jakosti pesti, kar lahko vpliva na rezultate. Raziskava Ng in Fan (2001) poudarja, da lahko spremenjen položaj komolca vpliva na natančnost meritev jakosti stiska pesti. Zato bi lahko odstopanje pri rezultatih v naši raziskavi delno pripisali tej specifični metodi držanja dinamometra. Da bi bolje razumeli vpliv tega dejavnika, bi bilo smiselno izvesti dodatne analize in morda prilagoditi postopek testiranja oziroma testirati jakost stiska pesti v različnih kotih komolca. Poleg tega bi lahko raziskave v prihodnje preučile druge dejavnike, ki bi lahko vplivali na povezavo med jakostjo stiska pesti in spodnjimi okončinami, ter tako pripomogle k celovitejšemu razumevanju teh kompleksnih medsebojnih odnosov.

Raziskave potrjujejo hipotezo, da je prečni presek mišice močan napovedovalec

mišične jakosti in živčno-mišične učinkovitosti (kot npr. maksimalni vertikalni skok) pri moških in ženskah. Sklepamo lahko, da služi prečni presek mišice kot pomembna osnova za gradnjo tako mišične jakosti kot mišične moči (Suchomel in Stone, 2017). Suchomel in Stone sta v svoji raziskavi pri 17 treniranih moških preučevala povezavo med prečnim presekom, jakostjo in drugimi dejavniki. Ugotovili so, da imata prečni presek mišice vastus lateralis in biceps femoris pozitiven vpliv na 1 RM pri počepu, in dodajajo, da se morajo posamezniki osredotočiti na povečanje prečnega preseka predvsem mišic spodnjih okončin, če želijo povečati 1 RM. Kljub temu, da je debelina mišice pomembna determinanta mišične jakosti, v naši raziskavi nismo odkrili jasne povezave z uspešnostjo mrtvega dviga.

Prav tako smo se v raziskavi osredotočili na vpliv telesnih mer na maksimalno jakost, pri čemer smo se zgledovali po prejšnjih ugotovitvah, opravljenih na visoko treniranih športnikih, kot je raziskava Mayhew idr. iz leta 1993. Njihova študija je zajemala 58 igralcev ameriškega nogometa in pokazala, da ima antropometrija pomemben vpliv na 1 RM pri mrtvem dvigu, potisku s prsi in počepu, zlasti na obseg in prečni presek rok ter obseg nog. Čeprav smo v raziskavi podrobno izmerili omenjene antropometrične parametre (ter druge) in so bili preiskovanci dobro trenirani, nam ni uspelo odkriti korelacij med temi merjenji in maksimalno jakostjo pri mrtvem dvigu. To neujemanje s prejšnjimi raziskavami kaže, da bi bili rezultati morda drugačni, če bi vključili večji vzorec preiskovancev, zlasti pa, če bi populacijo razširili na oba spola.

Eden izmed ključnih omejitvenih dejavnikov naše raziskave je omejeno število preiskovancev, ki bi lahko vplivalo na splošno reprezentativnost rezultatov. Raziskava Mayhewa idr. (1993) je zajemala 58 igralcev ameriškega nogometa, kar je morda prispevalo k jasnejšemu razumevanju povezav med antropometrijo in maksimalno jakostjo. Ob teh ugotovitvah bi bilo smiselno razmisliti o nadaljnjih raziskavah, ki bi vključevale večji in homogenejši vzorec preiskovancev, saj bi to lahko pripomoglo k celovitejšemu razumevanju morebitne povezanosti morfoloških in funkcionalnih spremenljivk z uspešnostjo pri izvedbi mrtvega dviga.

■ Zaključek

Mišična jakost ima ključno vlogo v celovitem razvoju športnika, zlasti v disciplinah, pri katerih je izvajanje kompleksnih gibalnih nalog ključno. To velja predvsem za športe, kot je troboj moči, pri katerem največja jakost neposredno določa uspešnost izvedbe nalog in zmanjšuje tveganje za poškodbe. V jakostnih športih je jakost pomembna, saj ima tesno povezavo s tekmovalnim uspehom. Mrtvi dvig je večsklepna vaja, ki vključuje mišice celega telesa, zato je v središču športne diagnostike in uvrščena v trenažni proces športnikov. V okviru naše raziskave smo se osredotočili na identifikacijo ključnih dejavnikov, ki bi lahko vplivali na uspešnost pri izvedbi mrtvega dviga. Rezultati naše študije so pokazali, da obstaja korelacija med jakostjo iztegovalk kolena in maksimalno jakostjo pri mrtvem dvigu. Ugotovili smo, da nobena druga analizirana spremenljivka ni pokazala korelacije z 1 RM. Pomembno je poudariti, da moramo biti pri interpretaciji rezultatov previdni, saj smo v raziskavo vključili omejeno število preiskovancev moškega spola, le 12 posameznikov. Za pridobitev zanesljivejših in generaliziranih zaključkov bi bilo v prihodnjih raziskavah smiselno vključiti večji vzorec preiskovancev obeh spolov z bolj podobnimi trenažnimi procesi. Naša raziskava lahko služi kot temelj in vodilo za nadaljnje študije, kjer bi bilo treba razširiti vzorec in upoštevati širši spekter spremenljivk, ki bi lahko vplivale na rezultate. Raziskave s homogeno skupino športnikov obeh spolov bodo omogočile boljše razumevanje kompleksnih interakcij med uspešnostjo pri izvedbi mrtvega dviga in različnimi dejavniki, kar bo imelo pomembne implikacije za oblikovanje učinkovitih trenažnih programov in periodizacijo športnikov v teh zahtevnih disciplinah.

■ Literatura

1. Beenakker, K. G., Ling, C. H., Meskers, C. G., et al. Patterns of muscle strength loss with age in the general population and patients with a chronic inflammatory state. *Ageing Res Rev.* 2010;9(4):431–436.
2. Betz, T. M., Wehrstein, M., Preisner, F., Bendszus, M., & Friedmann-Bette, B. (2021). Reliability and validity of a standardised ultrasound examination protocol to quantify vastus lateralis muscle. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 53(7), jrm00212. <https://doi.org/10.2340/16501977-2854>
3. Buckley, C., Stokes, M., & Samuel, D. (2018). Muscle strength, functional endurance, and

health-related quality of life in active older female golfers. *Aging clinical and experimental research*, 30(7), 811–818. <https://doi.org/10.1007/s40520-017-0842-4>

4. Cawthon, P. M., Fullman, R. L., Marshall, L., et al. Physical performance and risk of hip fractures in older men. *J Bone Miner Res.* 2008;23(7):1037–1044.
5. Camara, K. D., Coburn, J. W., Dunnick, D. D., Brown, L. E., Galpin, A. J., & Costa, P. B. An Examination of Muscle Activation and Power Characteristics While Performing the Deadlift Exercise With Straight and Hexagonal Barbells. *Journal of Strength and Conditioning Research* 30(5):p 1183–1188, May 2016. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001352
6. Deng, M., Yan, L., Tong, R., Zhao, J. J., Li, Y., Yin, Y., ... & Zhou, X. (2022). Ultrasound assessment of the rectus femoris in patients with chronic obstructive pulmonary disease predicts sarcopenia. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, Volume 17, 2801–2810. <https://doi.org/10.2147/copd.s386278>
7. Ema, R., Wakahara, T., Mogi, Y., Miyamoto, N., Komatsu, T., Kanehisa, H., ... & Kawakami, Y. (2013). in vivo measurement of human rectus femoris architecture by ultrasonography: validity and applicability. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 33(4), 267–273. <https://doi.org/10.1111/cpf.12023>
8. Escamilla, R. F., Francisco, A. C., Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Welch, C. M., Kaye, A. V., Speer, K. P., & Andrews, J. R. (2000). A three-dimensional biomechanical analysis of sumo and conventional style deadlifts. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(7), 1265–1275. <https://doi.org/10.1097/00005768-200007000-00013>
9. Fonseca, J., Machado, F. V. C., Santin, L. C., Andreello, A. C., Schneider, L. P., Fernandes Belo, L., Rodrigues, A., Fernandes Rugila, D., Furlanetto, K. C., Hernandez, N. A., & Pitta, F. (2021). Handgrip Strength as a Reflection of General Muscle Strength in Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD: *Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 18:3, 299–306, DOI: 10.1080/15412555.2021.1919608
10. Fragala, M. S., Alley, D. E., Shardell, M. D., et al. Comparison of hand-grip and leg extension strength in predicting slow gait speed in older adults. *J Am Geriatr Soc.* 2016;64(1):144–150.
11. Garhammer, John. A Review of Power Output Studies of Olympic and Powerlifting: Methodology, Performance Prediction, and Evaluation Tests. *Journal of Strength and Conditioning Research* 7(2):p 76–89, May 1993.
12. Hoffmann, R. M., Ariagno, K., Pham, I. V., Jarrett, D. Y., Mehta, N. M., & Kantor, D. (2021). Ultrasound assessment of quadriceps femoris muscle thickness in critically ill children*. *Pediatric Critical Care Medicine*, 22(10), 889–897. <https://doi.org/10.1097/pcc.0000000000002747>
13. Jeong, J., Han, J. H., Cho, J., & Lee, W. (2016). Reliability and validity of a personal computer based muscle viewer for measuring upper trapezius and transverses abdominis muscle thickness. *Physical Therapy Rehabilitation Science*, 5(3), 155–161. <https://doi.org/10.14474/ptrs.2016.5.3.155>
14. Jukic, I., García-Ramos, A., Baláš, J., Malecek, J., Omčirk, D., & Tufano, J. J. (2021). Ergogenic effects of lifting straps on movement velocity, grip strength, perceived exertion and grip security during the deadlift exercise. *Physiology & Behavior*, 229, 113283. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113283>
15. Kellis, E., Blazeovich, A. J. Hamstrings force-length relationships and their implications for angle-specific joint torques: a narrative review. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2022 Sep 5;14(1):166. doi: 10.1186/s13102-022-00555-6. PMID: 36064431; PMCID: PMC9446565.
16. Knudson, D. V. (2009). Correcting the use of the term "power" in the strength and conditioning literature. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(6), 1902–1908.
17. Lambell, K., Tierney, A. C., Wang, J. C., Nanjaya, V. B., Forsyth, A., Goh, G. S., ... & King, S. D. (2020). Comparison of ultrasound-derived muscle thickness with computed tomography muscle cross-sectional area on admission to the intensive care unit: a pilot cross-sectional study. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 45(1), 136–145. <https://doi.org/10.1002/jpen.1822>
18. Lauretani, F., Russo, C. R., Bandinelli, S., et al. Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol.* 2003;95(5):1851–1860.
19. Liu, W., Wu, H. D., Ling, Y. T., Shea, Q. T. K., Nazari, V., Zheng, Y., ... & Zong-Hao, C. (2023). Reliability and validity of assessing lower-limb muscle architecture of patients with cerebral palsy (cp) using ultrasound: a systematic review. *Journal of Clinical Ultrasound*, 51(7), 1212–1222. <https://doi.org/10.1002/jcu.23498>
20. Martien, S., Delecluse, C., Boen, F., Seghers, J., Pelssers, J., Van Hoecke, A. S., & Van Roie, E. (2015). Is knee extension strength a better predictor of functional performance than handgrip strength among older adults in three different settings?. *Archives of gerontology and geriatrics*, 60(2), 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2014.11.010>
21. Martins, J., da Silva, J. R., da Silva, M. R. B., Bevilacqua-Grossi, D. Reliability and Validity of the Belt-Stabilized Handheld Dynamometer in Hip- and Knee-Strength Tests. *J Athl Train.* 2017 Sep;52(9):809–819. doi: 10.4085/1062-6050-52.6.04. Epub 2017 Aug 8. PMID: 28787180; PMCID: PMC5634229.

22. Mayhew, J. L., Piper, F. C., & Ware, J. S. (1993). Anthropometric correlates with strength performance among resistance trained athletes. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 33(2), 159–165.
23. Ng, G. Y., & Fan, A. C. (2001). Does Elbow Position Affect Strength and Reproducibility of Power Grip Measurements? *Physiotherapy*, 87(2), 68–72. [https://doi.org/10.1016/S0031-9406\(05\)60443-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(05)60443-9)
24. Norton, K. (2018). Standards for Anthropometry Assessment. 10.4324/9781315385662-4.
25. Rantanen, T., Era, P., Kauppinen, M., et al. Maximal isometric muscle strength and socioeconomic status, health, and physical activity in 75-year-old persons. *J Aging Phys Act.* 1994;2(3):206–220.7.
26. Suchomel, T. J., & Stone, M. H. (2017). The Relationships between Hip and Knee Extensor Cross-Sectional Area, Strength, Power, and Potentiation Characteristics. *Sports (Basel, Switzerland)*, 5(3), 66. <https://doi.org/10.3390/sports5030066>
27. Tieland, M., Verdijk, L. B., de Groot, L. C., & van Loon, L. J. (2015). Handgrip strength does not represent an appropriate measure to evaluate changes in muscle strength during an exercise intervention program in frail older people. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 25(1), 27–36. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2013-0123>

dr. Žiga Kozinc, doc.,
Univerza na Primorskem,
Fakulteta za vede o zdravju
ziga.kozinc@fvz.upr.si