



Darjan Spudić,
Ažbe Ribič

Vpliv postavitve rok na porazdelitev sil med nogama pri nordijskem spustu zadnje lože – pilotna študija

Izvleček

Nordijski spust zadnje lože je vaja, ki se pogosto uporablja v trenažnem procesu z namenom povečanja ekscentrične moči zadnjih stegenskih mišic in s tem izboljšanja gibalnih sposobnosti ter zmanjšanja možnosti za poškodbe zadnje lože. Izkazalo se je, da naklon goleni in položaj gležnja vplivata na mehanske spremenljivke pri izvedbi vaje. Nobena študija do zdaj pa ni preverjala vpliva različnega položaja rok na razporeditev obremenitve med nogama. Namen naše raziskave je bil zato preveriti vpliv položaja rok (*roke zaročene, desna odročena in leva odročena*) na proizveden največji navor v kolenu pri izvedbi nordijskega spusta zadnje lože. Različica izvedbe vaje bi lahko v prihodnje predstavljala v praksi uporaben način povečanja ekscentrične moči zadnjih stegenskih mišic in sočasno odpravo asimetrij v ekscentrični moči med nogama. Posledično bi to lahko pomenilo izboljšanje gibalnih sposobnosti športnikov in hkrati zmanjšanje možnosti za nastanek poškodb zadnje stegenske mišice. Izvedena je bila prečno-presečna študija na študentih Fakultete za šport. Ugotovili smo, da se vrednosti navora leve noge med različicami vaje ne razlikujejo. Prav tako se med različicami vaje ne razlikujejo vrednosti indeksa simetričnosti. Edine razlike v vrednostih smo ugotovili v vrednostih navora desne noge, kjer so se razlikovali rezultati med izvedbo z *rokami v zaročenju in levo odročeno roko* ter rezultati med *levo odročeno roko in desno odročeno roko*. Ugotovili smo, da položaj rok zanemarljivo vpliva na razporeditev navora med nogama pri izvedbi nordijskega spusta zadnje lože. Prihodnje raziskave na tem področju morajo stremeti k iskanju bolj optimalnih različic vaje z izboljšanim in bolj poglobljenim metodološkim pristopom.

Ključne besede: moč, preventiva, asimetrija, navor.



The influence of hand position on the distribution of forces between the legs in the Nordic hamstring exercise – a pilot study

Abstract

The Nordic hamstring exercise is commonly used in training to increase the eccentric strength of the hamstrings and consequently to improve physical abilities and reduce the risk of hamstring injuries. Changing the inclination of the lower leg support and the position of the ankle (i.e., plantar or dorsiflexion) has been shown to affect the observed mechanical variables during the Nordic hamstring strength test. No previous study has examined the effect of different hand positions on the distribution of load between the legs. Therefore, the aim of our study was to investigate the effects of upper extremity position (*hands behind the back, right arm extended, and left arm extended*) on the maximal knee torque generated during the Nordic hamstring test. In the future, the exercise variation could serve as a practical alternative to increase the eccentric strength of the hamstrings and simultaneously reducing asymmetries in eccentric strength between the hamstrings. As a result, this could improve the physical abilities of athletes while reducing the risk of hamstring injuries. A cross-sectional study was conducted including Faculty of Sport students. It was found that left leg torque and symmetry index values did not differ between the three exercise variations. The only differences were found in the results for the right leg, where differences were found between the variants with the *hands behind the back* and the *left arm extended*, and between the variants with *left arm extended* and the *right arm extended*. In conclusion, the position of the upper extremities has a negligible effect on the distribution of torque between the legs during the execution of the Nordic hamstring exercise. Future research in this area must aim to find more optimal variations of the exercise with an improved and more in-depth methodological approach.

Keywords: strength, prevention, asymmetry, torque.

■ Uvod

Ekscentrična moč zadnje stegenske mišice predstavlja predpogoj za gibalno učinkovitost in preventivni dejavnik pred poškodbami te mišice (Mendiguchia idr., 2020) zlasti pri športih, ki vključujejo hitra pospeševanja in pojemanja, spremembo smeri in tek pri največji hitrosti (Askling idr., 2003). V preteklosti je bilo z namenom preprečevanja poškodb zadnje stegenske mišice izvedenih veliko raziskav. Z vidika vrednotenja mišične moči se najpogosteje uporabljajo izokinetične meritve v koncentričnem in ekscentričnem režimu mišičnega krčenja, ki so se uveljavile kot zlati standard merjenja moči in kriterijev za vrnitev v šport (Claudino idr., 2021; Nishida idr., 2022a). Zaradi časovno potratnih meritev in finančno manj dostopnih naprav se je v zadnjem času za vrednotenje največje ekscentrične moči zadnje stegenske mišice v praksi vse pogosteje začel uporabljati terenski test nordijskega spusta zadnje lože (Claudino idr., 2021). Gre za test, ki se izvaja na prenosljivi napravi, opremljeni s tlačno-nateznimi senzorji. Senzorji so nameščeni tako, da ob izvedbi nordijskega spusta zabeležijo silo pritiska distalnega dela goleni v navpični smeri.

Test nordijskega spusta zadnje lože se je v dosednji literaturi izkazal kot zanesljiv, vendar so rezultati študij z vidika kriterijske veljavnosti (v primerjavi z izokinetičnimi meritvami, ki predstavljajo zlati standard) kontradiktorni. Nizka povezanost ($r = 0,35$) je bila ugotovljena med vrednostmi nordijskega spusta zadnje lože in ekscentrične moči na izokinetični napravi pri 60°/s v sedečem položaju (van Dyk idr., 2018) in statistično značilna povezava je bila odkrita med vrednostmi nordijskega spusta zadnje lože in ekscentrične moči na izokinetični napravi pri 30°/s v ležečem položaju (kolk v iztegnjenem položaju) (Wiesinger idr., 2020). Iz prejšnjih raziskav je torej mogoče sklepati, da je povezanost med različnimi merilnimi sistemi in metodami večja, če sta hitrost krčenja mišice ob izvedbi giba (Hill, 1922) in dolžina, pri kateri deluje mišica, določena s kotom v kolku in kolenu (Hill, 1950), poenoteni. Izkazalo se je tudi, da je dober pokazatelj ekscentrične moči zadnje stegenske mišice največji kot, ki ga lahko posameznik doseže ob spustu v predklon ($r = 0,81$) (Sconce idr., 2015), in da je kot mogoče zanesljivo oceniti na podlagi videoposnetka.

Nordijski spust zadnje lože je vaja, ki se pogosto uporablja v trenažnem procesu z namenom povečanja ekscentrične moči zadnje stegenske mišice in s tem zmanjšanja možnosti za poškodbe zadnje lože. Kljub temu da sicer dvosklepna zadnja stegenska mišica pri vaji opravlja delo samo v kolenskem sklepu, se je progresiven program krepitve v literaturi že večkrat izkazal kot pozitiven v smislu izboljšanja gibalnih sposobnosti, npr. višine skoka in hitrosti teka (Bautista idr., 2021; Clark idr., 2005; Krommes idr., 2017), in (sočasno) zmanjšanja incidence poškodb zadnje lože (Muniz Medeiros idr., 2021; Severo-Silveira idr., 2018). Verjetno zaradi vseh pozitivnih lastnosti obremenjevanja mišic z ekscentričnim tipom mišičnega naprezanja. Bistvene so večja mehanska učinkovitost (razvoj večjih sil in nižja energijska potratnost kot izometrična in koncentrična kontrakcija), selektivna rekrutacija večjih/hitrejših motoričnih enot, večja kortikalna aktivnost in nižja živčna aktivnost na ravni motoričnih enot, pospešena aktivnost satelitskih celic in izboljšanje delovanja signalnih faktorjev v hitrih mišičnih vlaknih, ki so pri ekscentričnih kontrakcijah v večji meri aktivirana, obremenjena in tudi poškodovana, večja sinteza beljakovin v mišici, hipertrofija z zaporednim dodajanjem sarkomer in s tem podaljšanjem mišičnih fasciklov (Douglas idr., 2017; Franchi in Maffiuletti, 2019) ter druge. Ena izmed pomembnih praktičnih prednosti vaje je tudi enostavnost izvedbe, pri čemer vadeči potrebuje zgolj oporo za goleni (pete) ali pomoč partnerja.

Medtem ko v nekaterih študijah kot dejavnik tveganja navajajo tudi nesorazmerje med nogama v ekscentrični moči zadnje stegenske mišice ($> 15\%$) (Croisier in Crielaard, 2000; Fousekis idr., 2011), se ta v bližnji preteklosti ni izkazala kot občutljiva mera za napovedovanje poškodb zadnje lože (Croisier idr., 2008; Opar idr., 2021). Prav tako asimetrija v ekscentrični moči zadnjih lož ne odraža razlik med športniki s predhodno poškodbo zadnje stegenske mišice in med zdravimi športniki (Claudino idr., 2021; Ribeiro-Alvares idr., 2020), ne glede na način merjenja – izokinetične meritve ali meritve nordijskega spusta zadnje lože (Claudino idr., 2021). Medtem ko je bilo ugotovljeno, da povečanje ekscentrične moči zadnjih stegenskih mišic pozitivno vpliva na hitrost teka (Bautista idr., 2021) in višino skoka (Clark idr., 2005), v literaturi primanjkuje študij, ki bi preverjale posledice asimetrij med nogama v ekscentrični

moči zadnjih stegenskih mišic na športno učinkovitost (hitrost teka, spremembe smeri, višina skoka). Za zmanjšanje asimetrij v obremenjevanju nog pri izvajanju nordijskega spusta ob sonožni izvedbi je bila v preteklosti preizkušena vadba s povratno informacijo, pri kateri so avtorji ugotovili, da se ob povratni informaciji preiskovanec v večji meri upre gibanju s šibkejšo nogo, kar posledično poveča skupni navor, proizveden z zadnjimi stegenskimi mišicami. Presenetljivo, način izvedbe občutneje ne pripomore k odpravi razlik v največjem proizvedenem navoru med nogama (Chalcker idr., 2018).

Naklon goleni (Šarabon idr., 2019) in položaj gležnja (Vicente-Mampel idr., 2022) vplivata na mehanske spremenljivke pri izvedbi nordijskega spusta zadnje lože, kot so amplituda izvedbe vaje, sila pritiska goleni, amplituda giba in čas trajanja kontrakcije. Nobena študija do zdaj pa ni preverjala vpliva različnega položaja rok na razporeditev obremenitve med nogama. Namen naše raziskave je bil zato preveriti vpliv položaja rok (*roke zaročene, desna odročena in leva odročena*) na proizveden največji navor med nogama pri izvedbi nordijskega spusta zadnje lože. Predvidevali smo, da se ob spustu z odročenjem ene roke poveča navor, proizveden s kontralateralno nogo. Različica izvedbe vaje bi lahko v prihodnje predstavljala v praksi uporaben način povečanja ekscentrične moči zadnje stegenske mišice in sočasno odpravo asimetrij v ekscentrični moči med zadnjima stegenskima mišicama. Posledično bi to lahko pomenilo izboljšanje gibalnih sposobnosti športnikov in zmanjšanje možnosti za nastanek poškodb zadnje stegenske mišice.

■ Metode

Preiskovanci

V raziskavi je sodelovalo 28 (16 moških, 12 žensk) študentov Fakultete za šport. Vsi so bili izkušeni na področju vadbe za moč in dobro seznanjeni z izvedbo nordijskega spusta zadnje lože (za podrobnosti glej Tabelo 1). Vključitveni kriterij so bile izkušnje z vadbo za moč, opredeljene z zgodovino vadbe, ki je v zadnjem letu vključevala vaje za moč vsaj dvakrat na teden. Izključitveni kriteriji so bili poškodbe kolena (npr. poškodbe vezi, meniskusa ali hrustanca), kronična zdravstvena stanja (sistemске bolezni, bolezni srca in/ali dihal ter živčno-mišične poškodbe), anamneza bolečine

v križu ali akutna poškodba stegenskih mišic v zadnjih šestih mesecih, ki bi lahko negativno vplivala na največjo ekscentrično moč upogibalk kolena. Velikost vzorca predhodno ni bila izračunana, ampak je bila ocenjena na podlagi prejšnjih relevantnih študij (Moreno-Pérez, 2020; Nishida, 2022, n = 20 in n = 16), v katerih so rezultate ekscentrične moči pri nordijskem spustu zadnje lože primerjali z izometrično in ekscentrično močjo zadnje stegenske mišice na izokinetičnem dinamometru. Predpostavili smo, da je velikost vzorca (n = 28) ustrezna za doseglo glavnega namena te raziskave.

Pred testiranjem so preiskovanci izvedli standardiziran 10-minutni protokol ogrevanja. Ta je obsegal pet minut kolesarjenja na cikloergometru z intenzivnostjo 1,5 W/kg na 60 RPM. Uvodnemu delu ogrevanja so sledile dinamične raztezne vaje za upogibalke kolka, iztegovalke kolena, upogibalke kolena in iztegovalke gležnja (po 10 počasnih tekočih ponovitev vaje) in naslednje dinamične krepilne gimnastične vaje: vzponi na prste, počepi in izpadni koraki (po 8 počasnih tekočih ponovitev vaje). Pred izvedbo testiranja je vsak udeleženec izvedel še eno ponovitev nordijskega spusta zadnje lože v okviru specialnega dela ogrevanja. Pred izvedbo testiranja so preiskovanci odgovorili na vprašanja iz vprašalnika o pripravljenosti na vadbo (Bredin idr., 2013) in se strinjali, da se meritev udeležujejo na lastno odgovornost. Seznanjeni so bili s tem, da lahko od raziskave kadarkoli odstopijo brez posledic. Preiskovanci so dobili navodilo, da dva dni pred meritvami ne izvajajo visoko intenzivne vadbe za moč spodnjih okončin. Celoten eksperiment je bil izveden v skladu s Helsinško deklaracijo (WHO, 2013).

Tabela 1
Lastnosti preiskovancev

Spremenljivka	Povprečje (SD)	Min; Max
Višina (m)	1,76 (0,09)	1,63; 1,95
Masa (kg)	71,1 (11,2)	49,0; 90,0
Indeks telesne mase (kg·m ⁻²)	22,9 (2,0)	17,2; 26,0
Starost (leta)	23,0 (1,5)	20,0; 27,0
Izkušnje s treningom (leta)	14,5 (1,9)	10,0; 17,0
Dolžina goleni (m)	0,42 (0,03)	0,36; 0,48

Opombe. SD – standardni odklon

Postopek meritev in pripomočki

Meritve so bile izvedene na namensko skonstruirani napravi za izvedbo nordijskega spusta zadnje lože (Slika 1 in 2). Vsak udeleženec je pri vsaki različici izvedbe vaje izvedel tri ponovitve, ločene s 30 sekundami pasivnega odmora. Izvedba testa je prikazana na Sliki 1. Preiskovanci so spust začeli v kleku na mehki podlagi s koleno v širini bokov. Naprava je omogočala, da so bili tlačno-natezni senzori in na njih opore za goleni nameščeni pravokotno glede na razvoj sile goleni. Preiskovanci so dobili navodilo, da se iz začetnega položaja čim počasneje spustijo čim nižje, pri čemer ostanejo kolki v iztegnjenem položaju. Izvedene so bile tri različice vaje, in sicer a) z rokami v zaročenju, b) z levo roko odročeno in c) z desno roko odročeno (Slika 2). Ker je bilo ugotovljeno, da položaj gležnja vpliva na mehanske spremenljivke nordijskega spusta zadnje lože (Vicente-Mampel idr., 2022), je bil položaj gležnja standardiziran v nevtralnem položaju (kot 90°). Gležnja sta bila nameščena pod blazinicno tlačno-nateznega senzorja tik nad lateralnim maleolom. Ročica goleni je bila pred izvedbo testa izmerjena od lateralnega kondila stegenice do sredine blazinice tlačno-nateznega senzorja (razdalja v metrih). Ves čas izvedbe je preiskovance glasno spodbujal merilec. Minimalen obseg giba ni bil določen. Končni položaj je bil zavarovan z mehko penasto

blazino. Višina blazine v končnem položaju je bila individualno prilagojena med postopkom specialnega ogrevanja. Izvedba testa je bila ponovljena, če je prišlo do pretiranega upogiba v kolku ali nekontroliranega spusta v začetnem delu izvedbe vaje (Opar idr., 2013). Signali sile v navpični smeri so bili sočasno zajeti za levo in desno nogo z uporabo tlačno-nateznih senzorjev (S-Type 200 kg Steel Weighting Sensor, Changsha TAIHE Electronic Equipment Co., Kitajska), ki so bili nameščeni vodoravno na trden aluminijast okvir. Surovi analogni signali so bili pretvorjeni z A/D pretvornikom (Loadcell senzor 24-bit ADC - HX711, Circuit Systems, Indija), zajeti z mikrokontrolnikom Arduino-Uno (ATmega328P, Robot Italija, Italija) in na koncu analizirani z namensko napisano programsko opremo (github.com/robert-cv/HipStrengthTesterGUI, Črnomelj, Slovenija). Podatki so bili vzorčeni s 100 Hz. V statistično analizo smo vstopili z najboljšo izmed treh ponovitev posamezne različice vaje. Najvišja vrednost sile je bila nato pomnožena z ročico goleni in normalizirana na telesno maso udeleženca (Nm/kg). Dodatno je bila izmerjena dolžina navorne ročice na trup v metrih, in sicer kot vodoravna razdalja od sredine prsnice do glave tretje metakarpalne kosti z iztegnjeno odročeno roko 90° v stran z dlanjo v pesti (Slika 2).



Slika 1. Prikaz izvedbe nordijskega spusta zadnje lože

Slika 1 prikazuje izvedbo nordijskega spusta zadnje lože na namensko skonstruirani izometrični upornici.



Slika 2. Prikaz izvedbe nordijskega spusta zadnje lože z odročeno roko

Slika 2 prikazuje izvedbo Nordijskega spusta zadnje lože z odročeno desno roko na namensko skonstruirani izometrični upornici.

Statistična analiza

Izračunana je bila opisna statistika za lastnosti vzorca preiskovancev in rezultate treh pogojev izvedbe testa (*roke zaročene*, *desna odročena* in *leva odročena*), in sicer posebej za levo in desno nogo. Indeks simetričnosti je bil izračunan po enačbi 1: $(\text{leva}/\text{desna}) \times 100$ (1). Indeks je bil izbran, ker poleg velikosti simetrije (asimetrije) odraža tudi njeno smer (Bishop idr., 2016), pri čemer < 100 % pomeni manj navora, proizvedenega z levo nogo, in > 100 % pomeni več navora, proizvedenega z desno nogo. Razlike med pogoji so bile preverjene z enostransko analizo variance za ponovljene meritve. Ob morebitnih statistično značilnih razlikah je bil med pari pogojev izveden še Bonferronijev post hoc test. Moč povezanosti med pogoji je bila izračunana s Pearsonovim korelacijskim koeficientom (r). Pred izvedbo analiz je bila prisotnost osamelcev preverjena z razsevnim grafikonom, normalnost porazdelitve spremenljivk pa s Shapiro-Wilkovim testom ($p > 0,05$; normalna porazdelitev). Mauchlyjev test je bil uporabljen za preverjanje homogenosti varianc razlik med kombinacijami faktorjev (sferičnosti) ($p > 0,05$; homogenost varianc razlik). V primeru neizpolnjevanja predpostavke sferičnosti je bil uporabljen Greenhouse-Geisserjev popravek. Vrednosti r , manjše od 0,5, pomenijo slabo, vrednosti 0,5–0,75 srednje veliko, 0,75–0,9 dobro in večje od 0,9 odlično povezanost rezultatov med pogoji (Koo in Li, 2016). Za obdelavo podatkov je bil uporabljen SPSS

za Windows 25.0 (IBM Corporation, New York, ZDA). Statistična značilnost je bila sprejeta z dvostransko 5-odstotno napako alfa.

Rezultati

Tabela 1 prikazuje opisno statistiko rezultatov, posebej za vsak pogoj izvedbe testa (*roke zaročene*, *desna odročena* in *leva odročena*), nogo in izračunan indeks simetrije med nogama. Dolžina navorne ročice na trup je v povprečju znašala 0,82 (95-odstotni interval zaupanja: 0,8–0,84) metra. Z enostransko analizo variance za ponovljene meritve smo odkrili statistično značilne razlike v rezultatih med pogoji izvedbe nordijskega spusta (*roke zaročene*, *desna odročena* in *leva odročena*) samo za navor, **proizveden z desno nogo** ($F = 8,207$, $p < 0,001$, $r = 0,950$). S post hoc testom smo ugotovili statistično značilne razlike v navoru desne noge med izvedbo nordijske-

ga spusta med *levo odročeno* in *desno odročeno* roko ($p = 0,002$, $r = 0,971$, Tabela 2: *) ter med *izvedbo z rokami v zaročenju* in *levo odročeno* ($p < 0,001$, $r = 0,946$, Tabela 2: †), medtem ko statistično značilnih razlik ni bilo med *izvedbo z rokami v zaročenju* in *desno odročeno* ($p = 0,296$, $r = 0,950$). Vrednosti navorov za levo nogo se med različnimi izvedbami testov niso razlikovale ($F = 2,413$, $p = 0,099$, $r = 0,959$). Prav tako se med različnimi izvedbami testov niso razlikovale vrednosti indeksa simetričnosti ($F = 1,480$, $p = 0,237$, $r = 0,679$). Povezanost vrednosti navora med različnimi izvedbami nordijskega spusta je bila odlična ($r > 0,9$), razen v primeru asimetriji, kjer je bila povezanost srednje velika ($r = 0,679$).

Razprava

Namen naše raziskave je bil preveriti vpliv položaja rok (*roke zaročene*, *desna odročena* in *leva odročena*) na razporeditev navora v kolenu pri izvedbi nordijskega spusta zadnje lože. Ugotovili smo, da se vrednosti navora leve noge med različnimi vaje ne razlikujejo. Prav tako se med različnimi vaje ne razlikujejo vrednosti indeksa simetričnosti. Razlike v vrednostih smo ugotovili le v vrednostih navora desne noge, kjer so se razlikovali rezultati med izvedbo z *rokami v zaročenju* in *levo odročeno* roko ter rezultati med *levo odročeno* roko in *desno odročeno* roko. Z drugimi besedami, pri izvedbi nordijskega spusta položaj rok (*zaročene*, *odročene v levo ali v desno*) ne vpliva statistično značilno na razporeditev obremenitve med nogama. Na podlagi rezultatov torej lahko zavrnemo našo predpostavko. Razlike med različnimi vaje smo ugotovili v navoru desne noge, vendar razlike ne kažejo pričakovanega trenda, torej večjega navora, proizvedenega z nogo, ki je na nasprotni strani telesa od odročene roke pri izvedbi vaje.

V preteklosti je bilo ugotovljeno, da položaj gležnja vpliva na mehanske spremenljivke

Tabela 2
Opisna statistika rezultatov

Noga	Roke zaročene [Nm/kg] (95 % IZ)	Leva odročena [Nm/kg] (95 % IZ)	Desna odročena [Nm/kg] (95 % IZ)
Desna	1,73 (1,57; 1,88) †	1,63 (1,47; 1,79) *†	1,70 (1,54; 1,85) *
Leva	1,66 (1,50; 1,82)	1,62 (1,44; 1,81)	1,67 (1,50; 1,84)
Simetrija	96,46 (91,97; 100,95)	99,01 (94,85; 103,17)	98,76 (94,91; 102,60)

Opombe. IZ – interval zaupanja. *† – medsebojna statistično značilna razlika

pri nordijskem spustu zadnje lože, in sicer so bili preiskovanci pri večjem kotu upogiba gležnja (dorzalni fleksiji) sposobni proizvesti večje napore v kolenu in izvesti gib z večjo amplitudo, zato so ponovitve trajale dalj časa. Aktivacija mišic zadnje lože se med različicami vaje ni razlikovala (Vicente-Mampel idr., 2022). Ugotovljeno je bilo tudi, da naklon goleni in upogib v kolku vplivata na proizveden navor v kolku in kolenu pri izvedbi nordijskega spusta zadnje lože. Večji naklon goleni je preiskovancem omogočal izvedbo vaje v večji amplitudi, medtem ko ni vplival na proizveden največji navor v kolenu in kolku. Večja fleksija v kolku pa je povzročila večje napore v kolku in kolenu. Aktivacija mišic zadnje lože se med različicami vaj ni razlikovala (Šarabon idr., 2019), niti v primerjavi s klasično izvedbo nordijskega spusta zadnje lože. V literaturi nismo našli študije, ki bi preiskovala razporeditev obremenitve med nogama pri izvedbi nordijskega spusta zadnje lože. Glavna ideja za našo raziskavo se je pojavila zaradi asimetrij v ekscentrični moči med zadnjima stegenskima mišicama, ki jih ugotavljamo na podlagi izokinetičnih meritev pri diagnostiki vrhunskih športnikov. Nordijski spust je vaja, ki se je v prejšnjih raziskavah izkazala kot praktično uporabna in učinkovita za povečanje ekscentrične moči zadnjih lož (Bautista idr., 2021), pri čemer je bilo manj poudarka namenjeno asimetrijam med nogama. Če bi s spremembo položaja zgornjih okončin lahko vplivali na razporeditev obremenitve med nogama (večji poudarek na nogo, ki se je izkazala za deficitarno v ekscentrični moči), bi lahko v praksi sočasno s povečanjem maksimalne ekscentrične moči zadnjih stegenskih mišic pozitivno vplivali tudi na odpravo asimetrij v maksimalni ekscentrični moči med nogama. Tako bi z individualnim pristopom in s tem optimizacijo trenážnega procesa pozitivno vplivali na gibalne sposobnosti športnikov in hkrati zmanjšali možnosti za nastanek poškodb.

Predvidevali smo, da bo odročenje roke v stran (Slika 2) povzročilo premik masnega središča delov telesa, ki se premikajo, v smer odročene roke. Če predpostavimo, da gre za tog sistem z osjo vrtenja vzdolž hrbtenice, premik središča mase ob izvedbi vaje povzroči povečanje navora na trup v smeri odročene roke (navzdol) in sočasno povečanje navora na nivoju medenice v smeri odročene roke (navzdol). Z anatomskega vidika pa gre verjetno za dva sistema, in sicer za sistem nad medenico (navor na trup) in pod medenico (medenica-kolena).

Sistem pod medenico je s koleni uprt v tla, torej gre verjetno v večji meri za torzijsko obremenitev. Če bi šlo za tog sistem, bi lahko pričakovali, da dvig kolena (sočasno kolka in ramena) na nasprotni strani od odročene roke preprečimo s povečanjem navora v kolenu noge, ki je nasprotna odročeni nogi. S pritiskom nasprotnega kolena v tla bi torej preprečili rotacijo togega sistema trup-medenica-ramena okoli vzdolžne osi (vzdolž hrbtenice). Zaradi kolena, uprtih v tla, lahko naše rezultate v večji meri pojasnimo z anatomskega vidika. Z namenom simetrične izvedbe vaje (zadrževanje nevtralnega položaja medenice in trupa kljub odročeni roki) smo predvidevali, da se pri izvedbi vaje aktivirajo mišice trupa, ki proizvajajo protinavor odročeni roki in s tem zadržijo trup v nevtralnem položaju, ter mišice medenice in stegna na ipsilateralni strani odročene roke, ki preprečujejo nagib medenice iz nevtralnega položaja zaradi delovanja mišic trupa – torej v nasprotni smeri delovanja mišic trupa. S tem se navor vzdolž hrbtenice izenači/kompenzira na nivoju medenice s povečanjem navora v kolenu ipsilateralne noge iztegnjeni roki, s katerim povzročimo večji pritisk kolena v tla in se upremo premiku/dvigu kolena zaradi torzije. Kot kažejo naši rezultati, je navor, ki ga ustvari iztegnjena roka na trup, premajhen, da bi povzročil tako velike spremembe, da bi vplivale na navor pod medenico. Po drugi strani pa je mogoče, da se je povzročen navor na trup kompenziral s sukalkami kolka na nivoju medenice, česar z našim protokolom nismo bili sposobni zabeležiti. Delovanje mišic zadnje strani stegna smo s pripravljeno opremo in protokolom lahko izmerili in ugotovili, da odročena roka v zanemarljivi meri vpliva na prerezporeditev sil med nogama. Vrednosti simetričnosti proizvedenega navora se namreč med nogama niso statistično značilno razlikovale (96-, 99- in 99-odstotna simetričnost je bila ugotovljena za *soročno* izvedbo, *levo* in *desno odročeno* roko). Ko je bila roka odročena, smo izmerili povprečno nižje vrednosti največjega navora, verjetno zaradi tehnične izvedbe vaje, ki je koordinacijsko zahtevnejša in posledično lahko vpliva na večjo koaktivacijo mišic v sklepih in s tem manjši neto navor tudi v kolenskem sklepu (Latash, 2018). Poleg tega, da odročenje roke povzroči navor na trup v vzdolžni osi, se zaradi prenosa roke proti glavi poveča ročica do središča mase premikajočih se segmentov. S tega vidika je mogoče, da je vaja zahtevnejša in posledično so bili preiskovanci sposobni izvesti

manjšo amplitudo spusta zaradi nevtralnih varovalnih mehanizmov, ki se lahko pojavijo ob preveliki sili v mišicah, predvsem pri manj treniranih posameznikih (Aagaard idr., 2000). Edina študija, v kateri so preiskovali razporeditev navora med nogama pri izvedbi nordijskega spusta zadnje lože pri različicah iste vaje, je vključevala ponovitve s povratno informacijo s pomočjo aplikacije. Ugotovili so, da kljub povratni informaciji ni bilo izboljšanja simetričnosti pri obremenjevanju med levo in desno nogo, kljub temu da se nekoliko poveča obremenitev noge, ki se pri izvedbi brez povratne informacije izkaže kot šibkejša. Rezultati so lahko posledica izbire spremenljivke (največji navor), saj je zelo težko pričakovati, da se lahko preiskovanec ob izvedbi največje hotene ekscentrične kontrakcije opira na povratno informacijo in s tem korigira proizveden navor (Chalker idr., 2018). Dodatno je mogoče sklepati, da so se merjenci v večji meri upirali na močnejšo nogo, ne glede na smer odročene roke. Ta zagotovi enostavnejšo/varnejšo kompenzacijo gibanja ob odsotnosti delovanja varovalnih nevtralnih mehanizmov. Zadnja naša predpostavka je, da je strategija zadrževanja nevtralnega položaja trupa in medenice ob spustu individualno odvisna. Medtem ko nekateri merjenci v večji meri nevtralen položaj zadržijo po opisanem principu togega telesa, se drugi v večji meri opirajo na opisan anatomskega sistema delovanja mišično-skeletnega sistema.

Največja pomanjkljivost naše študije je, da smo v analizo vključili samo eno spremenljivko, tj. največji navor, izmerjen v celotnem obsegu giba, posebej za levo in desno nogo. V predhodnih študijah sta se kot verodostojni spremenljivki pri ugotavljanju ekscentrične moči zadnje stegenske mišice pri nordijskem spustu izkazala tudi t. i. točka preloma oziroma obseg giba izvedbe vaje, ki sta povezana tudi s kotom razvoja največjega navora v kolenu (Wiesinger idr., 2020) in posledično s tveganjem za nastanek poškodb zadnje lože (Delextat idr., 2020; Nara idr., 2022). Tudi za to ugotovitev v literaturi najdemo kontradiktorne zaključke (Timmins idr., 2016). Pripravljeni protokol in oprema nista omogočala vpogleda v amplitudo izvedbe giba. Prav tako v raziskavi nismo opredelili navora na trup, ki se je ustvaril zaradi odročenja roke. Ta je (enako kot navor v kolenu) ob spreminjanju naklona trupa pri izvedbi vaje zaradi vpliva gravitacije variabilen in s tem je analiza otežena. Prav tako na navor vpliva distribucija mase po telesnih segmentih med posamezniki.

Sklepamo lahko tudi, da bi bolj zaupanja vredne rezultate dobili, če bi v odročeno roko dodali primerno težko utež. Za to se nismo odločili, ker bi bila tovrstna izvedba vaje manj individualizirana in bi lahko prišlo do premajhne amplitude aktivnega zaviranja ob spustu. Mogoče je tudi, da je odročena roka predstavljala premajhen navor na trup v vzdolžni osi, zaradi premajhnih amplitud izvedbe vaje. Navor na trup, ki ga povzroči odročena roka, se namreč povečuje s povečevanjem amplitude giba in je teoretično največji v končnem položaju izvedbe vaje (tik pred dotikom s tlemi). Amplituda izvedbe vaje pa je v veliki meri odvisna od moči preiskovancev (Wiesinger idr., 2020). Najbolj verodostojen vpogled v vlogo mišic pri izvedbi izbranih različic vaje v naši raziskavi bi dobili z analizo elektromiografskih signalov iz mišic trupa, kolka in stegna, sočasno z zajemom mehanskih spremenljivk (navora v kolenu in/ali pritiska kolen v tla) in kinematično analizo, kjer bi rezultate lahko potrdili z analizo po principu inverzne dinamike. Tovrstne analize je smiselno izvesti v prihodnje za podrobnejši vpogled v razporeditev obremenitev med nogama pri različicah izvedbe nordijskega spusta zadnje lože. Raziskave smo se lotili v obratnem vrstnem redu, torej z analizo mehanskih spremenljivk, prek katerih smo želeli sklepati na delovanje mišic pri različnih pogojih izvedbe vaje. Problema bi se lahko lotili tudi obratno – najprej z vidika mehanizmov delovanja mišic (elektromiografija) in tehnično izvedbo (kinematična analiza). Tovrstno strategijo smo izbrali z namenom takojšnjega vpogleda v končne spremenljivke (navor v kolenu). Na podlagi ugotovitev je bil nato namen sprejeti odločitev o nadaljnjih, podrobnejših analizah o mehanizmih in gibalni kontroli v ozadju.

Naša raziskava je pokazala, da položaj rok zanemarljivo vpliva na razporeditev navora med nogama pri izvedbi nordijskega spusta zadnje lože. Če je namen izvedbe nordijskega spusta zadnje lože večje obremenjevanje ene noge v primerjavi z drugo, predstavljeni način izvedbe vaje ni najbolj optimalen. Bralec naj bo pozoren na to, da so nekatere predpostavke naše študije zgolj hipotetične, saj v literaturi primanjkuje študij, ki bi nedvoumno potrjevale, da asimetrija med nogama v ekscentrični moči zadnjih stegenskih mišic negativno vpliva na gibalne sposobnosti (hitrost, odzivna moč), raziskave glede asimetrij v ekscentrični moči med zadnjima stegenskima mišicama in z njimi povezanega tveganja za nastanek poškodb pa so kontradiktorne.

Literatura

1. Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., Halkjær-Kristensen, J. in Dyhre-Poulsen, P. (2000). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: Effects of resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 89(6), 2249–2257. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.6.2249>
2. Askling, C., Karlsson, J. in Thorstensson, A. (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload, 244–250.
3. Bautista, I. J., Vicente-Mampel, J., Baraja-Vegas, L., Segarra, V., Martín, F. in Van Hooren, B. (2021). The effects of the Nordic hamstring exercise on sprint performance and eccentric knee flexor strength: A systematic review and meta-analysis of intervention studies among team sport players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(9), 931–938. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.03.009>
4. Bishop, C., Read, P., Chavda, S. in Turner, A. (2016). Asymmetries of the Lower Limb: The Calculation Conundrum in Strength Training and Conditioning. *Strength and Conditioning Journal*, 38(6), 27–32. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000264>
5. Bredin, S. S. D., Gledhill, N., Jamnik, V. K. in Warburton, D. E. R. (2013). PAR-Q+ and ePAR-med-X+ New risk stratification and physical activity clearance strategy for physicians and patients alike. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 59(3), 273–277. [https://doi.org/10.1016/0368-2048\(92\)80003-Q](https://doi.org/10.1016/0368-2048(92)80003-Q)
6. Chalker, W. J., Shield, A. J., Opar, D. A., Rathbone, E. N. in Keogh, J. W. L. (2018). Effect of acute augmented feedback on between limb asymmetries and eccentric knee flexor strength during the Nordic hamstring exercise. *PeerJ*, 2018(6), 1–14. <https://doi.org/10.7717/peerj.4972>
7. Clark, R., Bryant, A., Culp, J. P. in Hartley, B. (2005). The effects of eccentric hamstring strength training on dynamic jumping performance and isokinetic strength parameters: A pilot study on the implications for the prevention of hamstring injuries. *Physical Therapy in Sport*, 6(2), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2005.02.003>
8. Claudino, J. G., Cardoso Filho, C. A., Bittencourt, N. F. N., Gonçalves, L. G., Couto, C. R., Quintão, R. C., ... Serrão, J. C. (2021). Eccentric Strength Assessment of Hamstring Muscles with New Technologies: a Systematic Review of Current Methods and Clinical Implications. *Sports Medicine - Open*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-021-00298-7>
9. Croisier, J. L. in Crielaard, J. (2000). Hamstring muscle tear with recurrent complaints: An isokinetic profil. *Isokinetics and Exercise Science*, 8, 175–180.
10. Croisier, J. L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M. in Ferret, J. M. (2008). Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1177/0363546508316764>
11. Delestrat, A., Bateman, J., Ross, C., Harman, J., Davis, L., Vanrenterghem, J. in Cohen, D. D. (2020). Changes in Torque-Angle Profiles of the Hamstrings and Hamstrings-to-Quadriceps Ratio After Two Hamstring Strengthening Exercise Interventions in Female Hockey Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(2), 396–405. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003309>
12. Douglas, J., Pearson, S., Ross, A. in McGuigan, M. (2017). Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Medicine*, 47(4), 663–675. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0624-8>
13. Fousekis, K., Tsepis, E., Poulmedis, P., Athanasopoulos, S. in Vagenas, G. (2011). Intrinsic risk factors of non-contact quadriceps and hamstring strains in soccer: A prospective study of 100 professional players. *British Journal of Sports Medicine*, 45(9), 709–714. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2010.077560>
14. Franchi, M. V. in Maffiuletti, N. (2019). Distinct modalities of eccentric exercise: Different recipes, not the same dish. *Journal of Applied Physiology*, 127(3), 881–883. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00093.2019>
15. Hill, A. V. (1922). The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most economical speed. *J. Physiol.*, 56, 19–41. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1922.sp001989>
16. Hill, A. V. (1950). Mechanics of the contractile element of muscle. *Nature*, 166(4219), 415–419.
17. Koo, T. K. in Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
18. Krommes, K., Petersen, J., Nielsen, M. B., Aagaard, P., Hölmich, P. in Thorborg, K. (2017). Sprint and jump performance in elite male soccer players following a 10-week Nordic Hamstring exercise Protocol: A randomised pilot study. *BMC Research Notes*, 10(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/s13104-017-2986-x>
19. Latash, M. L. (2018). Muscle coactivation: Definitions, mechanisms, and functions. *Journal of Neurophysiology*, 120(1), 88–104. <https://doi.org/10.1152/jn.00084.2018>
20. Mendiguchia, J., Conceição, F., Edouard, P., Fonseca, M., Pereira, R., Lopes, H., ... Jiménez-Reyes, P. (2020). Sprint versus isolated eccentric training: Comparative effects on hamstring architecture and performance in soccer players. *PLoS ONE*, 15(2), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228283>

21. Moreno-Pérez, V., Méndez-Villanueva, A., So-ler, A., Del Coso, J. in Courel-Ibáñez, J. (2020). No relationship between the nordic hamstring and two different isometric strength tests to assess hamstring muscle strength in professional soccer players. *Physical Therapy in Sport*, 46, 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.08.009>
22. Muniz Medeiros, D., Marchiori, C. in Manfre-dini Baroni, B. (2021). Effect of Nordic Ham-string Exercise Training on Knee Flexors Eccentric Strength and Fascicle Length: A Sys-tematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Sport Rehabilitation*, 30(3), 482–491. <https://doi.org/10.1123/JSR.2019-0388>
23. Nara, G., Samukawa, M., Oba, K., Koshino, Y., Ishida, T., Kasahara, S. in Tohyama, H. (2022). The deficits of isometric knee flexor strength in lengthened hamstring position after hamstring strain injury. *Physical Therapy in Sport*, 53, 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.11.011>
24. Nishida, S., Nakamura, M., Kiyono, R., Sato, S., Yasaka, K., Yoshida, R. in Nosaka, K. (2022a). Relationship between Nordic hamstring strength and maximal voluntary eccen-tric, concentric and isometric knee flexion torque. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264465>
25. Nishida, S., Nakamura, M., Kiyono, R., Sato, S., Yasaka, K., Yoshida, R. in Nosaka, K. (2022b). Relationship between Nordic hamstring strength and maximal volun-tary eccentric, concentric and isometric knee flexion torque. *PLoS ONE*, 17(2 Febru-ary), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264465>
26. Opar, D. A., Piatkowski, T., Williams, M. D. in Shield, A. J. (2013). A novel device using the nordic hamstring exercise to assess eccentric knee flexor strength: A reliability and retro-spective injury study. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 43(9), 636–640. <https://doi.org/10.2519/jospt.2013.4837>
27. Opar, D. A., Timmins, R. G., Behan, F. P., Hickey, J. T., van Dyk, N., Price, K. in Maniar, N. (2021). Is Pre-season Eccentric Strength Testing During the Nordic Hamstring Exercise As-sociated with Future Hamstring Strain Inju-ry? A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 51(9), 1935–1945. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01474-1>
28. Ribeiro-Alvares, J. B., Oliveira, G. D. S., De Li-ma-E-Silva, F. X. in Baroni, B. M. (2020). Eccen-tric knee flexor strength of professional fo-tball players with and without hamstring injury in the prior season. *European Journal of Sport Science*, 21(1), 131–139. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1743766>
29. Šarabon, N., Marušič, J., Marković, G. in Ko-zinc, Ž. (2019). Kinematic and electromyo-graphic analysis of variations in Nordic ham-string exercise. *PLoS ONE*, 14(10), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223437>
30. Sconce, E., Jones, P., Turner, E., Comfort, P. in Graham-Smith, P. (2015). The validity of the nordic hamstring lower for a field-based as-sessment of eccentric hamstring strength. *Journal of Sport Rehabilitation*, 24(1), 13–20. <https://doi.org/10.1123/JSR.2013-0097>
31. Severo-Silveira, L., Dornelles, M. P., Lima-E-Silva, F. X., Marchiori, C. L., Medeiros, T. M., Pappas, E. in Baroni, B. M. (2018). Progressive Workload Periodization Maximizes Effects of Nordic Hamstring Exercise on Muscle Injury Risk Factors. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(4), 1006–1013. <https://doi.org/https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002849>
32. Timmins, R. G., Shield, A. J., Williams, M. D. in Opar, D. A. (2016). Is There Evidence to Sup-port the Use of the Angle of Peak Torque as a Marker of Hamstring Injury and Re-Injury Risk? *Sports Medicine*, 46(1), 7–13. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0378-8>
33. van Dyk, N., Witvrouw, E. in Bahr, R. (2018). Interseason variability in isokinetic strength and poor correlation with Nordic ham-string eccentric strength in football players. *Scandinavian Journal of Medicine and Sci-ence in Sports*, 28(8), 1878–1887. <https://doi.org/10.1111/sms.13201>
34. Vicente-Mampel, J., Bautista, I. J., Martín, F., Maroto-Izquierdo, S., Van Hooen, B. in Bara-ja-Vegas, L. (2022). Effects of ankle position during the Nordic Hamstring exercise on range of motion, heel contact force and hamstring muscle activation. *Sports Biomechanics*, 00(00), 1–13. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.2025416>
35. WHO. (2013). Declaration of Helsinki Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/doi:10.1001/jama.2013.281053>
36. Wiesinger, H. P., Gressenbauer, C., Kösters, A., Scharinger, M. in Müller, E. (2020). Device and method matter: A critical evaluation of eccentric hamstring muscle strength asses-sments. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30(2), 217–226. <https://doi.org/10.1111/sms.13569>

dr. Darjan Spudić, asist.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
darjan.spudic@fsp.uni-lj.si