



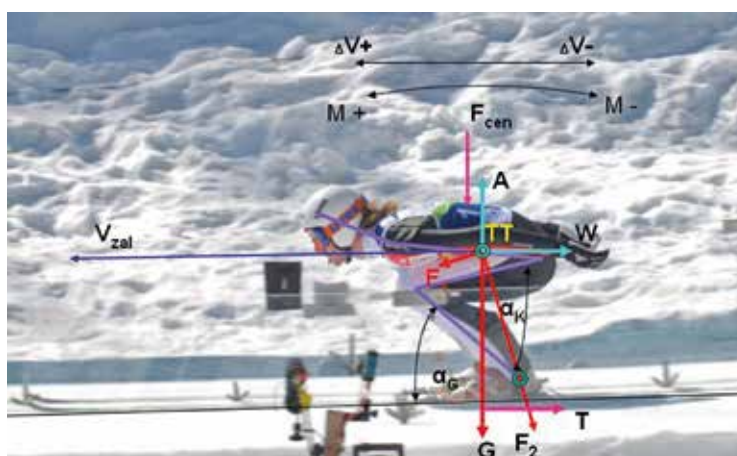
Bojan Jošt

Vpliv navora na izražanje izometrične odrivne moči smučarjev skakalcev

Izveček

Za razvoj in spremljanje moči iztegovalk kolenskega sklepa je bil razvit prototip specialne vadbeno-dia- gnostične naprave, ki omogoča merjenje mišične sile pri različnih ročicah njenega delovanja v kolens- kem sklepu. Na omenjeni napravi je bil izveden poseben eksperiment, v katerem je v letu 2017 so- delovalo petnajst slovenskih smučarjev skakalcev, starih od 16 do 20 let. Moč iztegovalk kolenskega sklepa je bila pri vsakem skakalcu izmerjena pri treh ročicah v zaletnem položaju (18 cm, 20 cm, 22 cm). V povprečju so bile izmerjene vrednosti izometrične sile potiska v kolenu največje pri varianti izvedbe gibalne naloge pri najmanjši ročici 18 cm. Pri ročici 20 cm se je v povprečju potisna sila zmanjšala glede na maksimalno za 9,85 % in pri ročici 22 cm za 16,14 %. Razlike v potisni sili med posameznimi ročicami, izražene v odstotkih, so bile velike in lahko značil- no vplivajo na uspešnost izvedbe odrida smučarjev skakalcev. Ne glede na povprečno velikost potisne sile se je ohranila vrednost navora potisne sile (naj- večja razlika je bila 2,3 %). Korelacije med manife- stnimi spremenljivkami potisne sile v kolenu v treh različnih navornih situacijah so bile visoke in stati- stično značilne ($p < 0,01$).

Ključne besede: smučarski skoki, izometrična moč, kolenski sklep



The impact of torque on the expression of isometric take-off power of ski jumpers

Abstract

In order to develop and monitor the power of the knee joint extensors, we developed a prototype of a special training-diagnostic device that enables measurement of muscle force with different lever arms in a knee joint. A special experiment was conducted in 2017, using the abovementioned device, including 15 Slovenian ski jumpers, aged between 16 and 20. The power of the knee joint extensors was measured for each ski jumper in three lever arms in the inrun phase (18 cm, 20 cm, 22 cm). On average, the measured values of the isometric thrust force in the knee were the highest when the movement was carried out with the smallest lever arm – 18 cm. When the lever arm was 20 cm, the thrust force decreased on average by 9.85% over the maximum value, and when the lever arm was 22 cm, the respective figure was 16.14%. The differences in the thrust force between individual lever arms, expressed as a percentage, are large and can significantly influence the performance of the ski jumpers' take off. Regardless of the average size of the thrust force, the value of the torque of the thrust force was preserved (the biggest difference was 2.3%). Correlation between the manifest variables of the thrust force in knees in three different torque situations was high and statistically significant ($p < 0.01$).

Key words: ski jumping, isometric power, knee joint

Uvod

Smučarski skoki sodijo med monostrukturne aciklične športne zvrsti. Celotna izvedba smučarskega skoka traja le nekaj sekund, odvisno od velikosti skakalnice in dolžine skoka. Na uspešnost smučarjev skakalcev vpliva mnogo različnih objektivnih in biopsihosocialnih dejavnikov (Jošt, 2009). Gibalna uspešnost tehnike gibanja je hipotetično odvisna od delovanja gibalnih spretnosti in sposobnosti. V vsakem trenutku izvedbe tehnike smučarskega skoka delujejo vse motorične sposobnosti hkrati, spreminjata se le njihov pomen in vloga glede na posamezno fazo smučarskega skoka. Zaradi kompleksnega in sinergističnega učinka je uspešnost gibalne izvedbe tehnike smučarskega skoka več kot le običajen matematični seštevek učinkov posameznih gibalnih sposobnosti.

V praksi se gibalne naloge smučarja skakalca pri izvedbi tehnike smučarskega skoka delijo na tehniko gibanja v fazi zaleta, odskoka, leta, doskoka in vožnje v iztek. V vsaki od teh faz imajo posamezne elementarne gibalne sposobnosti specifičen pomen in vlogo. V fazi odskoka, ki je po Komiju in Virnavirti (2000) najpomembnejša gibalna faza, mora smučar skakalec imeti velik potencial odzivne moči. Odrivna moč je sposobnost smučarja skakalca, da posamezne gibalne naloge tehnike smučarskega skoka v fazi odskoka izvede v optimalnem času z optimalno silo. V oporni fazi odziva mora skakalec razviti ustrezno odzivno hitrost gibanja skupnega težišča sistema skakalec-smuč, usmerjeno pravokotno na podlago. Omenjena hitrost omogoča skakalcu dvig skupnega težišča v fazi vzleta. Pri odzivu v oporni fazi odskoka se energija potrebne moči ustvari večinoma v kolenskem in kolčnem sklepu. Več kot 50 % energije oziroma moči se ustvari v kolenskem sklepu in od 30 do 40 % se ustvari v kolčnem sklepu. Delež energije, ki se ustvarja v drugih delih telesa, je minimalen (Sasaki, Tsunoda, Uchida, Hoshino in Ono, 1997). Osnova za izražanje moči odziva smučarja skakalca je mišična sila odziva. Na osnovi impulza mišične sile in njenega momenta (navora) se, v odvisnosti od značilnosti inercialnega okolja dinamičnih sil (sila teže, trenja, zračnega upora, aerodinamični vzgon, sile lepenja ...) in njihovih momentov, razvija oziroma spreminja hitrost gibanja telesnih segmentov oziroma telesa smučarja skakalca. V fizikalnem smislu sta mišična sila in hitrost povezani kot vzrok in posledica. Pri tem je mehanična hitrost telesa odvisna od

polnega impulza mišične sile, tj. od integrirane moči $I = \int F(t)dt$, in ne od splošne funkcije $F(t)$. Enaka končna vrednost hitrosti gibanja z vidika razmerja med impulzom mišične sile (I) in maso (m) ($v = I/m$) je lahko dosežena pri različni obliki funkcije $F(t)$ ob pogoju enakosti površine izpod krivulje »sila-čas« (Werschoshanskij in Tatjan, 1975). Ta naravni mehanični zakon v pogojih skakalčeve aktivnosti v fazi odskoka velja v omejeni meri, ker se oblika krivulje $F(t)$ odreja s cilji tehnike skoka, ki pa je poleg zadostnega izražanja moči pogojena tudi z aerodinamično učinkovitostjo (Virnavirta, Kivekäs in Komi, 2001).

Pri odskoku smučarja skakalca, kjer pri relativnem majhnem zunanem odporu prevladuje mišično naprežanje eksplozivno-balističnega tipa, je izpopolnjevanje delovnega učinka povezano s koncentracijo velikosti delovnega napora na začetnem delu amplitude gibanja, tj. z značilnim povečanjem maksimalnega napora in skrajševanjem potrebnega časa, da se ta doseže. Takšne tendence pa zahtevajo zadostno razvito eksplozivno moč smučarja skakalca. Za njo je karakteristična sposobnost mišic za realizacijo velikih dinamičnih naprežanj v minimalnem času. Razvoj specialne odzivne moči se mora po Komiju in Virnavirti (1997) izvajati ob upoštevanju specifičnega režima mišičnega delovanja, ki se pojavlja ob izvedbi tehnike smučarskega skoka. Specialna moč smučarja skakalca se lahko razvije le z ustrezno adaptacijo živčno-mišičnega sistema. Sposobnost prilagajanja tehniki gibanja predstavlja predvsem specifično »zmožnost« živčno-mišičnega sistema, ki se po Matvejevu (1986) oblikuje v procesu treniranja. Neupoštevanje te okoliščine je groba napaka, ki lahko stane smučarja skakalca mnogo let težkega in neučinkovitega dela. Za smučarja skakalca je pomemben kriterij hitrost razvoja maksimalnega napora (sile), ki dopolnjuje kriterij absolutne velikosti moči.

Odrivna moč smučarja skakalca je povezana z optimalno izvedbo tehnike odskoka. Začetek odskoka predstavlja izhodiščni položaj smučarja skakalca v skakalnem počepu. Ta mora omogočiti skakalcu čim boljše osnovno hitrost gibanja in optimalni položaj za razvoj odzivne sile. Skakalec mora izpolniti oba pogoja pri polnem ravnotežnem položaju v fazi počepa, ki pa je odvisen od kompleksnega učinkovanja zunanjih in notranjih fizikalnih sil in njihovih navorov. V nekaterih dosedanjih raziskavah (Virnavirta in Komi, 1993; Virnavirta in

Komi, 1994; Virnavirta in Komi, 2001; Virnavirta, Isolehto, Komi, Schwameder, Pigozzi in Massazza, 2009) so bile večinoma proučevane velikosti delujočih sil, manj ali pa nič njihovi navori. Ti so pri veliki hitrosti gibanja velika težava pri ohranjanju optimalnega ravnotežnega položaja skakalca.

Pri opazovanju tehnike gibanja se analizira zaletni položaj tik pred odzivom. Trenerji lahko že na oko opazijo porušenje zaletnega položaja. Majhni premiki se lahko še nadomestijo v poznejšem poteku odziva, pri večjih premikih skupnega težišča pa je negativen vpliv lahko zelo velik in povzroči slabšo izvedbo tehnike odziva (Ettema in Braten, 2007). Pri veliki hitrosti gibanja se športniki te težave niti ne zavedajo in težko razložijo ta problem na podlagi zavestnih občutkov gibanja. V teoriji treniranja se poudarja pomen optimalnih gibalnih občutkov pri izvedbi odskoka. Te se razvija s številnimi imitacijskimi vajami, pri katerih se razvija sposobnost gibalnega občutenja pri različnih gibalnih okoliščinah. Imitacijske vaje oziroma sredstva treniranja se lahko loči tudi glede na primarni vpliv na izbrane gibalne sposobnosti (moč, koordinacijo, ravnotežje, gibljivost, vzdržljivost).

Predmet te raziskave je usmerjen na proučevanje zaletnega položaja v fazi počepa z vidika potencialne moči odziva v kolenskem sklepu. Skakalci imajo po Vaverki (1987) v fazi počepa povsem individualni gibalni položaj, ki je odvisen od njihovih morfoloških značilnosti in zahtev tehnike gibanja. Za vsakega skakalca se mora najti optimalen individualni položaj, ki bo ustrezal njegovim morfološkim in motoričnim značilnostim. Uspešnost optimalnega zaletnega položaja je močno odvisna od velikosti momentov delujočih sil. Skakalec po startu na vrhu zaletišča hitro vzpostavi položaj počepa tako, da izvede gibanje sočasno v kolčnem, kolenskem in skočnem sklepu. Hitrost zniževanja skupnega težišča je večinoma kontrolirana z regulacijo iztegovalk nog. Omenjene mišice glede na svojo lokacijo dinamično delujejo v kolčnem, kolenskem in skočnem sklepu z ekscentričnim naprežanjem. Skakalec izvede počep na celih stopalih. Spušcanje na celih stopalih pa pomeni gibanje nazaj. Da se pri tem ne bi porušilo ravnotežje, se opravi kompenzacijski gib, ki potegne goleni in s tem celotno kinetično verigo, ki je zaprta od spodaj, v smeri naprej. Pri tem prihaja sočasno do kompenzacijskega giba tudi v predelu kolčnega sklepa in sklepov v predelu hrbteničnega stebra. S tem gibom se

izvede maksimalni upogib v kolčnem predelu. Prsni koš se nasloni na sprednje strani stegen. Tako se ustvari nov položaj, za katerega je praviloma značilna odsotnost aktivnega naprežanja iztegovalk kolčne sklepa. Te mišice so v času upogibanja sicer delovale z ekscentrično kontrakcijo. Četudi je prišlo do močnega upogiba v kolčnem predelu, to še ni povzročilo maksimalne zategnitve dvoglave mišice (m. biceps femoris) na zadnji strani stegna, ker se je tudi v kolenskem sklepu hkrati izvedlo upogibanje. V kolenskem sklepu nastane vrtilni moment s težnjo po nadaljnjem upogibanju. Temu se zoperstavljajo iztegovalk kolena, in sicer v času spuščanja v počep z ekscentričnim naprežanjem in v času vzdrževanja gibalnega položaja z izometričnim naprežanjem. Za skakalca je bistveno ravnotežje, ki pa ga stalno motijo vsakokrat delujoče sile in njihovi navori. Nekateri navori obračajo skakalca v smeri naprej (moment sile trenja M_T in moment pospeševalne komponente sile teže M_{F1}). Moment sile zračnega upora M_W povzroča obračanje skakalca v smeri nazaj. Momenta centrifugalne sile M_{Fcen} in komponente sile teže M_{F2} lahko vplivata, glede na položaj skupnega težišča telesa, v smeri naprej ali nazaj. Momentno enačbo ravnotežnega položaja skakalca v počepu se lahko razume kot sestavo posameznih momentov z naslednjim odnosom: $J \cdot \epsilon = M_T + M_{F1} + M_W + M_{F2} + M_{Fcen}$. Ravnotežni položaj se definira glede na pogoj: $J \cdot \epsilon = 0$. Simbol J v enačbi pomeni moment vztrajnosti glede na os rotacije, ki se nahaja v osi skočnega sklepa, in ϵ kotna hitrost na to os. Zaletni položaj tako predstavlja precej kompleksno momentno situacijo delujočih sil.

Še prav poseben pomen ima navorna situacija v kolenskem sklepu, kjer se tvori največji del odrivne sile med odskokom skakalca. V tem sklepu deluje predvsem moment sile teže, ki ga morajo izničiti iztegovalk v kolenskem sklepu. Večji moment sile teže pomeni večjo potrebo po mišični sili najprej pri vzpostavitvi ustreznega gibalnega položaja in potem tudi pri poteku odriva v fazi odskoka. V procesu izoblikovanja tehnike smučarskega skoka skakalci razvijajo optimalni položaj počepa, ki ga določajo številni dejavniki in motorični mehanizmi z namenom, da se v kolenskem sklepu moment sile teže optimizira glede na zahteve tehnike odskoka (Ettema, Braten in Bobbert, 2005). Pri tendenci minimiziranja velikosti momenta sile teže v kolenskem sklepu imajo pomembno vlogo skakalčeve morfološke značilnosti tele-

sa. Skakalci z dolgo stegenico in kratkim zgornjim delom telesa imajo večji negativni moment sile teže kot skakalci s krajšo stegenico in daljšim trupom telesa (Jošt, S. in Jošt, B., 2010). Prvi imajo veliko več težav pri občutljivosti za momentno situacijo in se jim tudi hitreje lahko poruši tehnika skoka. V praksi so ti skakalci lahko podvrženi večjim nihanjem tekmovalne uspešnosti. Hkrati izvedba odskoka terja od teh skakalcev več odrivne sile v kolenskem sklepu, ki pa praviloma poteka tudi v daljšem odrivnem času. To pa lahko povzroči dodatne negativne učinke tehnike gibanja v fazi odskoka. Pri vrhunskih skakalcih se vzpostavi precejšnja selekcija, ki v mnogočem izloči morfološko manj primerne skakalce. Tako so tudi razlike v morfološki zgradbi telesa skakalcev manjše. Sprememba momenta sile teže v kolenskem sklepu se lahko pojavi tudi pri posameznem skakalcu zaradi različne gibalne izvedbe poteka tehnike odriva. Posamezni skakalec si lahko pomanjša ali poveča moment sile teže telesa v kolenskem sklepu na različne načine. V praksi se praviloma manifestirajo povečanja momenta sile teže v kolenskem sklepu z zniževanjem uspešnosti tehnike odskoka. Večja ročica sile teže povzroči močnejši negativni vrtilni moment v kolenskem sklepu, kar pa morajo potem preprečiti iztegovalk kolenskega sklepa z dodatnim tvorjenjem ustrezne mišične sile.

Hipotetično so pogoji za mišično delovanje ugodnejši pri manjši ročici sile teže in manj ugodni pri večji ročici. Ta hipotetična predpostavka je tudi osrednji problem in cilj pričujoče raziskovalne študije. Dejstvo je, da pri enaki mišični sili v kolenskem sklepu obstajajo različni navori sile teže, ki jih mora mišična sila premagovati. V kolenskem sklepu nastane zaradi mišičnega delovanja pospešeno krožno gibanje, ki ga povzroči predvsem balistična kontrakcija najmočnejše iztegovalk kolena (m. quadriceps femoris) in njeni sinergisti v kolčnem sklepu. Pri krožnem gibanju se razvije ustreznna kotna hitrost, ki je pri odrivu določena tudi z večjim pospeškom, saj se mora odziv smučarja skakalca končati v kratkem času. Pri tem se razvije določena vrtilna količina, ki je odvisna od velikosti impulza mišične sile iztegovalk kolenskega sklepa in njene ročice.

V oporni fazi odskoka smučarja skakalca prihaja do aktivnega koncentričnega naprežanja mišič iztegovalk v kolčnem in kolenskem sklepu z eksplozivnim oziroma balističnim tipom mišičnega naprežanja. Velikost delovanja mišične sile iztegovalk

kolena (štiriglave stegenske mišice) in velike zadnjične mišice (m. gluteus maximus) ter pomožnih iztegovalk nog je precejšnja, saj te mišice večinoma delujejo proti sili težnosti. V trenutku začetka gibanja v oporni fazi odskoka morajo predvsem te mišice z aktivnim dinamičnim naprežanjem premagati vztrajnostni moment sile teže in zračnega upora, ki so ga do zdaj premagovale z izometričnim režimom naprežanja (tonični tip). Vztrajnostni moment ima v statiki podobno vlogo kot masa pri postopnem gibanju. Velikost vztrajnostnega momenta pri zaletnem položaju skakalca je odvisna od mase in kvadrata ustrezne ročice. Iztegovalk kolenskega sklepa morajo ves čas izometričnega naprežanja vzdrževati ravnotežni položaj tako, da se zoperstavljajo vztrajnostnemu momentu. Navor sile teže v kolenu premagujejo le vertikalne projekcije tangencialne komponente mišične sile iztegovalk kolena.

Za optimalen izkoristek kinetične energije iztegovalk kolenskega sklepa pri odrivu skakalca je najugodnejše, da se minimizira vztrajnostni moment sile teže pred začetkom krožnega gibanja. S tem bo skakalec lahko več sile učinkovito porabil za razvoj pospeška in hitrosti in manj za premagovanje negativnega navora sile teže. Ko začnejo iztegovalk kolka in kolena tvoriti mišično silo z eksplozivnim oziroma balističnim režimom mišičnega naprežanja, se v času dinamičnega mišičnega naprežanja spreminjajo tudi vztrajnostni momenti sile teže in zračnega upora v odvisnosti od položaja skupnega težišča telesa. Mišična sila v oporni fazi odskoka je primarno namenjena učinkovitemu premagovanju vztrajnostnega momenta sile teže, trenja in sile zračnega upora. Samo od položaja skupnega težišča telesa in velikosti mišične sile je odvisno, kolikšen del mišične sile se bo porabil za premeščanje skupnega težišča v vertikalni in horizontalni smeri. Skakalci lahko tehniko gibanja pri odrivu izvedejo na različne načine. Navori mišične sile imajo v posameznih sklepih, z ozirom na tendenco premikanja skupnega težišča v sagitalni smeri, različen predznak. Iztegovalk kolčnega sklepa imajo negativen predznak (-), iztegovalk kolenskega sklepa imajo pozitiven predznak (+), medtem ko imajo iztegovalk skočnega sklepa lahko pozitiven ali negativen predznak, odvisno od položaja točke skupnega težišča telesa.

Skakalci lahko rešujejo navorne situacije na različne načine. Tisti, ki razpolagajo z nizko močjo in pri katerih je tehnika gibanja pri

odskoku porušena, prenašajo skupno težišče pred oporišče v kolenskem sklepu tako, da kolena potiskajo v smeri nazaj, s čimer sicer dvigujejo skupno težišče telesa in zagotavljajo potrebno rotacijo, vendar pa je z vidika končne uspešnosti smučarja skakalca to gibanje zelo neugodno. V trenutku, ko vztrajnostni moment sile teže dobi v celoti pozitiven predznak, bi že samo izometrično naprežanje iztegovalk nog povzročilo iztegovanje nog. Medtem ko je še zlasti v začetku oporne faze odskoka vztrajnostni moment sile teže maksimiziran v območju kolenskega in kolčnega sklepa, se v nadaljevanju gibanja povečuje vztrajnostni moment sile teže v skočnem sklepu, ki pa ima glede na tehniko gibanja večinoma pozitiven predznak. Verjetno prav navorna situacija v skočnem sklepu odločilno vpliva na skakalčevo uspešnost. Iztegovalke skočnega sklepa (m. triceps surae) v prvi fazi samo amortizirajo nastale pritiske vertikalnih projekcij radialnih sil v kolčnem in kolenskem sklepu. V drugi fazi se aktivirajo sprednje mišice goleni (m. tibialis anterior), ki vzpostavijo trdnost skočnega sklepa in ustrezno gibljivost, s pomočjo katere se po Virnavirti in Komiju (1997) v fazi vzleta stabilizira položaj smuči in omogoči hiter prehod skakalčevega telesa v položaj za let. V skladu s tehniko gibanja na skakalnici oziroma biomehanskimi zakonitostmi odskoka se v skočnem sklepu teži k temu, da bi bil kot med smučmi in koleni kar najmanjši oziroma optimalen. S tem lahko skakalec izpolni pogoj, po katerem mora kar najhitreje preiti v najugodnejši aerodinamični položaj za let. Pri tem so najbolj aktivne sprednje golenične mišice (upogibalke stopala). Iztegovalke skočnega sklepa v začetku gibalne akcije v oporni fazi odskoka najprej amortizirajo nastale pritiske vertikalnih projekcij radialnih sil, nastalih v kolčnem in kolenskem sklepu, ki se prenašajo na skočni sklep. Prav tako akumulirajo vso silo, ki nastane kot posledica radialnega pospeška tako v kolčnem kot tudi v kolenskem sklepu.

Tehnika gibanja v fazi odskoka zahteva precej hiter prehod v aerodinamičen položaj za let. Zaradi te zahteve je skupno težišče telesa v trenutku aktivnega dinamičnega koncentričnega naprežanja iztegovalk skočnega sklepa (eksplozivni oziroma balistični tip mišičnega naprežanja) že pred osjo skočnega sklepa. Tak položaj skupnega težišča omogoča rotacijo nog pri odri-
vu. Seveda pa skakalec ne more poljubno spreminjati položaja skupnega težišča z ozirom na temeljno oporišče delujočih sil v

toku izvedbe gibalne akcije v fazi odskoka. Variabilnost položajev je omejena z zahtevami optimalne tehnike odskoka. Kolikšen bo vztrajnostni moment sile teže, sile trenja in zračnega upora, je navsezadnje še najbolj odvisno od sile odri-
va, ki se kaže tako v velikosti kot tudi smeri delovanja. Skakalec, ki zelo premika skupno težišče v smeri naprej, si povečuje pozitivni vztrajnostni moment, s čimer sicer olajša delo iztegovalkam nog, vendar pa je učinek z vidika velike sile odri-
va zmanjšan. V vsakem trenutku gibalne akcije v oporni fazi odskoka se mora zagotoviti takšen položaj skupnega težišča telesa v odnosu na os skočnega sklepa, da bosta dosežena optimalna navorna situacija ter maksimalni mišični učinek.

Pri izvedbi odskoka na skakalnici je v fazi odri-
va momentna situacija v posameznih sklepih sestavljena, zapletena in kompleksna. Navorne situacije so si v posameznih sklepih lahko, glede na pomik skupnega težišča v skočnem sklepu, tudi različne po svoji smeri in velikosti učinkovanja. Vse skupaj pa mora biti vedno podrejeno optimalni izvedbi odskoka skakalca. Pri tej izvedbi se mišična sila v kolenskem in kolčnem sklepu vedno pojavlja v vlogi pozitivnega potencialnega dejavnika. S to predpostavko je bil načrtovan in izveden tudi eksperiment, s katerim se je želelo ugotoviti potencial izometrične mišične moči iztegovalk kolenskega sklepa v treh navornih situacijah uporne sile na posebni vadbeno-
merilni napravi. V zaletnem položaju se je

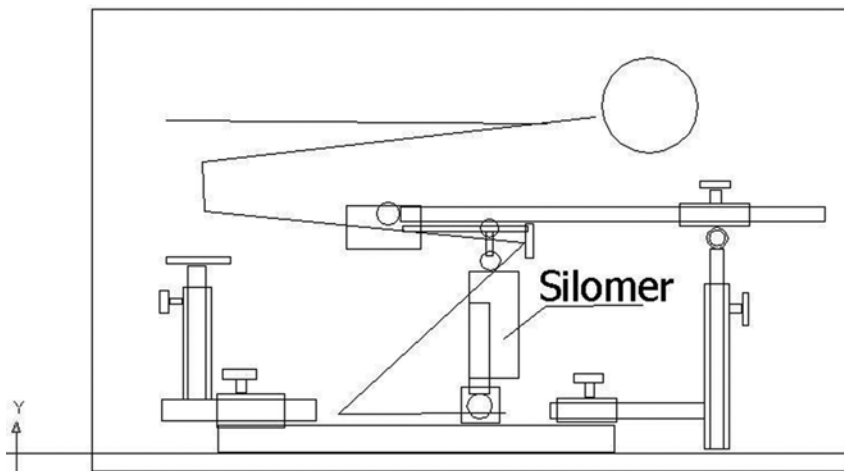
pri izvedbi eksperimenta spreminjala velikost ročice uporne sile na merilni napravi. Tako je bilo mogoče preveriti hipotezo, da bo odnos med velikostjo ročice uporne sile na napravi in njeno potencialno velikostjo obratno sorazmeren (manjša ročica bo povzročila večjo uporno silo in obratno). Točka uporne sile na vadbeni napravi je bila v bližini težiščnice, ki v zaletnem položaju skakalca poteka nekje na sredini stopala. Težišče telesa je v zaletnem položaju skakalcev lahko na različni oddaljenosti glede na os kolenskega sklepa. To lahko predstavlja tudi značilno intervartabilnost med posameznimi skakalci. Ugodnejše izhodišče so imeli predvsem skakalci, pri katerih je bila težiščnica bližje osi kolenskega sklepa saj se jim je negativni skupni navor sile teže v kolenskem sklepu minimiziral.

Metode

V raziskavo so bili vključeni mlajši smučarji skakalci (n = 15), stari od 16 do 20 let. Vsi merjenci so bili vključeni v reden sistem treniranja in tekmovanja. Vsi so bili že vključeni v mednarodni tekmovalni sistem. Med njimi je bil tekmovalec, ki je že večkrat zmagal na tekmah svetovnega pokala. V skupini so bili tudi tekmovalci, ki so kot mladinci osvojili točke svetovnega pokala. Vsi merjenci so tako že usvojili visoko raven tehnike smučarskega skoka tako v celoti kakor tudi v njenih posameznih fazah.



Slika 1. Vadbena-merilna naprava za razvoj odrivne moči smučarjev skakalcev (izdelal B. Jošt)



Slika 2. Načrt vadbeno-merilne naprave (izdelal B. Jošt)



Slika 3. Vpetost silomera na napravi



Slika 4. Nastavitev navora v kolenu

Za izvedbo eksperimenta je bila izdelana posebna vadbeno-merilna naprava (Slika 1). Na njej merjenec vzpostavi optimalen zaletni položaj, pri čemer se s koleni dotakne sprednje opornice naprave. Nato se s posebno verigo prilagodi višina počepa.

Na napravi lahko vadeči razvijajo različne oblike odzivne moči pri pogojih povsem izometričnega mišičnega delovanja ali pa pri kombiniranem izometrično-dinamičnem mišičnem delovanju. Naprava je narejena tako, da se lahko vsakemu merjencu zagotovi optimalen počep. Prilagoditev naprave je precej enostavna in hitra. Naprava ima majhne dimenzije in je precej lahka. Skakalci jo lahko prenašajo na treninge na različnih mestih in vadbenih prostorih. Hkrati naprava omogoča stalno kontrolo potenciala moči odnosa s preprostim merilnim pripomočkom – silomerom, ki se ga namesti na konstrukcijo osnovne vadbene naprave (Slika 2).

Silomer podaja podatke o tem, kako veliko silo razvije skakalec v zaletnem položaju v kolenskem sklepu. Na silomeru (Imada Z series, HTG2, DTX2) se po opravljeni meritvi shrani najvišja izmerjena sila v času pritiska. Silomer je pritrjen na konstrukcijo med obema nogama, kot se vidi na Sliki 3.

Izvedba eksperimenta je zahtevala prilagoditev izbrane ročice, ki določa navor uporne sile v kolenskem sklepu (Slika 4). Za raziskavo je bil uporabljen navor pri 18 cm, 20 cm in 22 cm.

Merjenci so izvedli testne gibalne naloge v treh različnih navornih situacijah. Merjenec je najprej vzpostavil optimalen položaj počepa. Potem se mu je namestila ustrezna ročica uporne sile. Na startni signal je merjenec poskušal v čim krajšem času razviti največjo mišično silo v izometričnem režimu mišičnega naprežanja. To je moral merjenec zadržati vsaj tri sekunde. S silomerom se je potem izmerila najvišja vrednost izometrične sile (N) odnosa v počepu. Pri meritvah je vsak merjenec izvedel posamezno gibalno nalogo (navor 18 cm, navor 20 cm, navor 22 cm) trikrat. Za nadaljnjo obdelavo podatkov so bili uporabljeni najboljši dosežki pri posamezni gibalni testni nalogi. Med ponovitvami vsake variante testne naloge je bil najmanj minuto dolg odmor. Eksperimentalne meritve so bile izvedene v letu 2017 pod vodstvom Gašperja Vodana, ki je poskrbel tudi za evidentiranje rezultatov meritev.

■ Rezultati in razprava

V Preglednici 1 so prikazani rezultati izometrične odzivne moči pri izbranih različnih navora potisne sile v kolenu za vsakega merjenca.

V Preglednici 2 so prikazani koeficienti korelacije med tremi spremenljivkami potisne sile v kolenih pri treh različnih navornih situacijah.

V Preglednici 3 so prikazani koeficienti faktorjske analize manifestnih spremenljivk

potisne sile v kolenih pri treh različnih navornih situacijah.

V povprečju so bile izmerjene vrednosti izometrične sile potiska v kolenih (Slika 5) največje pri varianti izvedbe gibalne naloge pri najmanjši ročici potisne sile v kolenskem sklepu (ročica 18 cm).

Pri ročici 20 cm se je v povprečju potisna sila zmanjšala glede na maksimalno za 9,85 % in pri ročici 22 cm za 16,14 %. Razlike pri rezultatih izražanja velikosti mišične sile med posameznimi ročicami so bile velike. Na drugi strani pa so bile povprečne vrednosti navora mišične sile (Slika 6) skoraj enake pri vseh treh ročicah njenega izražanja (maksimalna razlika je znašala zgolj 2,4 %).

Rezultati eksperimenta kažejo, da povečanje ročice mišične sile iztegovalk kolenskega sklepa v zaletnem položaju skakalca ohranja velikost njenega navora na eni strani in na drugi zmanjšuje maksimalno velikost sile potiska. Ta pa je po Komiju in Virnavirti (1997) bistvena za uspešno izražanje odzivne moči skakalcev pri odskoku. Ko skakalec začne gibanje v oporni fazi odskoka, se z eksplozivnim oziroma balističnim naprežanjem vključijo iztegovalke kolčnega in kolenskega sklepa, ki težišče telesa pomikajo v smeri naprej v odvisnosti od nastavnega kota smučič-goleni. Zaradi tega se pozitivni vztrajnostni moment sile teže močno poveča in hkrati pomaga iztegovati noge. Tak potek gibanja bi lahko povzročil izgubo ravnotežja in padec telesa v smeri naprej. Da se to ne bi zgodilo, skakalci izvajajo ustrezne kompenzacijske mehanizme. Boljši skakalci preprečijo to s tem, da razvijejo veliko silo v kolenskem in kolčnem sklepu, še preden prenesejo težišče telesa naprej, s tem pa opazno povečajo gibalno količino v smeri pravokotne komponente sile teže na podlago. Zaradi velikega pospeška in hitrosti dviga skupnega težišča se skakalcem tudi ohranja optimalno razmerje s potrebno rotacijo. Neugodni pa so kompenzacijski mehanizmi, pri katerih skakalec uravnava rotacijo s tem, da premika skupno težišče telesa v smeri nazaj s pomikom goleni v tej smeri. S tem gibom sicer dvigne skupno težišče, vendar pa opazno zmanjša vertikalno hitrost odskoka v vzletni fazi. Skakalec s tem gibom rešuje zapleteno momentno situacijo po poti najmanjšega napora. Zagotovi si varen vzlet. Ker pa so iztegovalke skočnega sklepa pri premiku kolenskega sklepa v smeri nazaj že v veliki meri porabile svojo energijo, niso sposobne generirati doda-

Preglednica 1

Velikost sile potiska v kolenih (N) pri treh navornih situacijah

		Sila – ročica 18 cm (N)	Sila – ročica 20 cm (N)	Sila – ročica 22 cm (N)
1.	D. P.	2187	1734	1401
2.	B. P.	1573	1384	1820
3.	T. Z.	2441	2148	2254
4.	J. S.	1841	1587	1335
5.	M. T.	2260	2186	1901
6.	B. D.	1541	1234	977
7.	N. K.	1222	946	777
8.	K. K.	1065	640	855
9.	Ž. M.	1356	1189	1166
10.	J. B.	843	665	411
11.	T. J.	2052	2281	2342
12.	V. P.	1424	1748	1482
13.	R. O.	1389	1251	888
14.	U. R.	1833	1417	1211
15.	Ž. J.	2235	2366	2348
	Povprečna vrednost	1684,1	1518,4	1411,2
	Minimalni rezultat	843	640	411
	Maksimalni rezultat	2441	2366	2348
	Standardni odklon	481,2	558,2	606,3
	Razlika v % glede na povprečno vrednost	0	9,85	16,14 (6,29)
	Povprečni navor potisne sile v kolenu (kp/m)	30,3	30,3	31,0 +2,3

Preglednica 2

Korelacijski koeficienti spremenljivk velikost sile potiska v kolenih (N) pri treh navornih situacijah

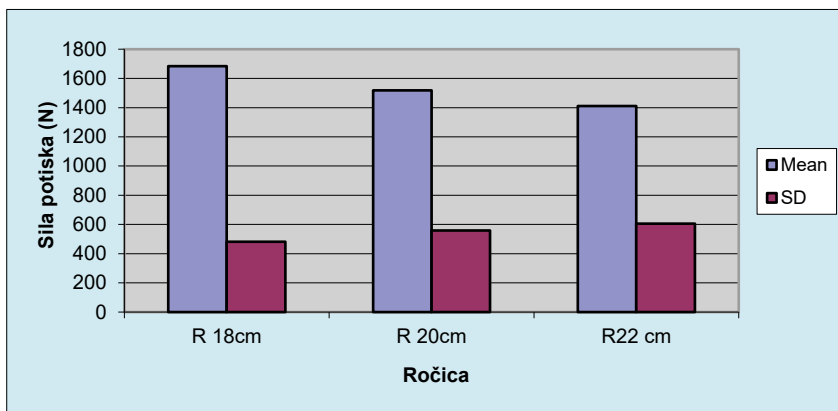
Ime spremenljivke	Sila – ročica 18 cm (N)	Sila – ročica 20 cm (N)	Sila – ročica 22 cm (N)
Sila ročica 18 cm (N)	1.00	.91**	.84**
Sila ročica 20 cm (N)	.91**	1.00	.92**
Sila ročica 22 cm (N)	.84**	.92**	1.00

** sig $r < 0,01$

Preglednica 3

Faktorska struktura spremenljivk potisne sile v kolenih pri treh navornih situacijah

Ime spremenljivke	Faktor potisne moči (faktorska utež)	Kumulativno
Sila ročica 18 cm (N)	.95	.90
Sila ročica 20 cm (N)	.98	.96
Sila ročica 22 cm (N)	.95	.91
Lastna vrednost	2,78	
% skupne variance	92,8	

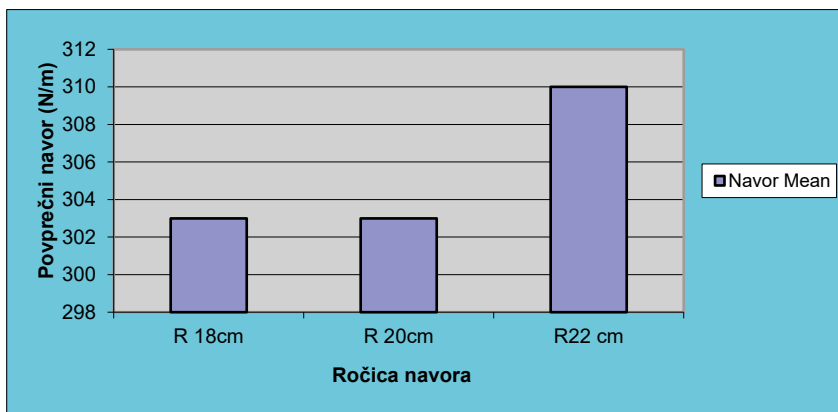


Slika 5. Velikost povprečne sile (Mean) in standardnega odklona (SD) pri treh ročicah navora potisne sile v kolnih

tnega impulza sile v zaključni fazi oporne faze odskoka. V nasprotnem primeru pa skakalci, ki med odzivom obdržijo ugoden nastavn kot smučji-goleni, omogočijo razviti celoten potencial iztegovalk nog in trupa pri njihovem dinamičnem naprežanju. Prav te mišice so znane po tem, da lahko v ugodnih položajih akumulirajo veliko dodatne energije, ki jo potem v obliki skupne sile manifestirajo v tehniki gibanja.

Pri izvedbi eksperimenta je bila navorna situacija uporne sile v kolenskem sklepu precej poenostavljena. Korelacije med manifestnimi spremenljivkami potisne sile v kolnih v treh različnih navornih situacijah so bile visoke in statistično značilne ($p < 0,01$). S faktorsko analizo je bilo mogoče potrditi obstoj enega skupnega značilnega faktorja potisne sile v kolnih ne glede na velikost navorne situacije. Na skakalnici je navorna situacija sile teže v kolenskem sklepu samo en del celotnega sistema delujočih mehanskih sil in njihovih momentov. Ima pa navor sile teže pomembno vlogo

in vsakršno njegovo povečanje lahko povzroči negativne učinke izrabe potencialne moči mišic. Učinek skakalca bo pri izvedbi tehnike odziva v oporni fazi odskoka največji takrat, kadar bo sunek navora mišičnih sil v kolčnem, kolenskem in skočnem sklepu dosegel celostno optimalno vrednost glede na zapleteno momentno situacijo delujočih zunanjsih sil (teže, trenja, zračnega upora, vzgona). Bistvo tehnike odziva se kaže v uspešnosti premagovanja vztrajnostnih momentov delujočih zunanjsih sil v posameznih sklepih glede na dani mišični potencial. Seveda je te odnose natančno težko ugotoviti, ker lokomotorni sistem oziroma njegovi delovni mehanizmi funkcionirajo glede na obliko tehnike skoka večinoma po zakonu korelacije in subordinacije. Končni cilj rotacijskih gibanj v posameznih sklepih je pri izvedbi tehnike odskoka zagotoviti čim bolj racionalen in učinkovit prehod, iz začetne oblike tehnike gibanja, ko skakalec vzdržuje ničelni (notranji) inercialni sistem v stiku s podlago, v drugo brezoporno obliko gibanja, pri kateri



Slika 6. Velikost povprečnega navora (Mean) potisne sile v kolnih (N/m)

skakalec vzdržuje ravnotežje momentov sil samo z regulacijo momentov sile teže in aerodinamičnih sil. Tehnika odskoka smučarja skakalca se je skozi svojo evolucijo empirično oblikovala na osnovi gibalnih položajev, ki so pri njeni izvedbi zagotavljali najugodnejše pogoje za realizacijo maksimalnih naporov v določenem času v povezanosti z optimalnim izkoristkom delujočih zunanjsih sil.

Optimiziranje momenta sile teže v kolenskem sklepu predstavlja za posameznega skakalca, ob upoštevanju preostalih momentov delujočih sil, kar zapleteno gibalno nalogo. Pri tem pa na uspešnost optimiziranja vplivajo tudi morfološke značilnosti skakalcev. Te značilnosti povzročajo razlike med njimi, ki so lahko dokaj izrazite. Če k temu dodamo še gibalne značilnosti vožnje v počepu tik pred odskokom, se lahko po Januri, Vaverki, Elfemarku in Salingerju (1998) med posameznimi skakalci pojavijo velike intravariabilne (variacije posameznega skakalca) in intervartabilne razlike (variacije med različnimi skakalci). Te razlike na skakalnici nastanejo tudi zaradi velike osnovne hitrosti gibanja tik pred odskokom. Najboljši skakalci minimizirajo ročico sile teže v kolenskem sklepu z visoko gibljivostjo telesa v kolčnem sklepu. Pri zaletnem položaju lahko skakalci položijo zgornji del telesa na stegna, pri čemer se ne ustvarja notranja napetost iztegovalk kolčnega sklepa. Slaba gibljivost povzroči zakrčenost iztegovalk kolčnega sklepa, kar lahko privede celo do odmika trupa od stegen. Takšen odmik pa lahko povzroči močno povečanje navora sile teže v kolenskem sklepu. Optimiziranje navora sile teže v zaletnem položaju je tako kar precej otežena gibalna naloga skakalcev. Pri vožnji skakalca skozi prehodni lok zaletišča vznikne še centrifugalna sila, ki lahko močno poruši ravnotežje smučarja skakalca, pri čemer pride do odmika skupnega težišča telesa od idealne lege težiščnice. Na ravnem delu zaletišča skakalec po Ettemi, Bratenu in Bobbertu (2005) čuti pritisk na podlago v velikosti sile 0,88 G, pri vožnji v prehodnem loku pa se lahko ta pritisk poveča na silo 1,65 G. Tako povečani pritisk lahko močno poruši ravnotežni položaj skakalca v počepu. V tem primeru se pri skakalcu pojavi občutek porušene ravnotežnega položaja. Namesto da bi vso pozornost usmeril v optimalno izrabo odzivne moči pri odskoku, se mora najprej ukvarjati z uravnoteženjem zaletnega položaja in šele nato z izkoristkom potenciala odzivne moči. Te navidezno majhne premike lahko

izkušeni trenerji prepoznajo z lastnim očesom, saj se značilni premiki poznajo pri slabši izvedbi tehnike odskoka. Treba je upoštevati, da je čas odskoka v oporni fazi zelo kratek (od 0,15 do 0,25 s). V tako kratkem času je zavestna kontrola skakalca zelo omejena ali v največji meri nemogoča. Ko se sproži gibalna akcija odskoka, je skakalec že usmerjen na konec te pomembne faze, kjer mora vzpostaviti stabilen in ravnotežen položaj za let. Vzpostavitev optimalnega zaletnega položaja tik pred odskokom tako ni le vprašanje koordinacije tehnike skoka, ampak morda še bolj pomembno vprašanje potencialne moči v fazi odziva. Glede na rezultate pričujoče raziskovalne študije bi lahko sklepali, da vsakršni premiki skupnega težišča, ki pomenijo povečanje ročice navora sile teže v kolenskem sklepu, lahko precej poslabšajo izhodiščni položaj za tvorjenje odzivne sile. Obratno pa lahko pomiki skupnega težišča pred siceršnjo težiščnico prispevajo k značilnemu povečanju potenciala odzivne sile, ki pa v tem primeru prispeva tudi k močnejši in hitrejši vzdolžni rotaciji telesa skakalca pri prehodu v let. Za vrhunsko izvedbo tehnike odskoka skakalca tako niti ni najpomembnejši njegov potencial odzivne moči, ampak predvsem sposobnost optimalne izvedbe tega potenciala pri izvedbi odskoka v situacijskih pogojih na skakalnici (Vodičar in Jošt, 2010). V praksi imamo lahko izjemno sposobnega skakalca, ki razvija veliko odzivno moč, na skakalnici pa ni sposoben tega potenciala moči pretvoriti v optimalno izvedbo tehnike odskoka. Na drugi strani pa imamo lahko skakalca s šibkim potencialom odzivne moči in z njegovim visokim izkoristkom pri poteku odskoka. Smučarski skoki sodijo med izredno zahtevne gibalne zvrsti z visoko nevarnostjo pri morebitnih napakah. To povzroča pri vseh skakalcih posebno psihično napetost, ki lahko povzroči precej nestabilno izvedbo tehnike odskoka ali celo blokira njeno uspešno izvedbo. Pogosto se v smučarskih skokih srečujemo s tem fenomenom, ko posamezni skakalec niha iz ene skrajnosti v drugo. Samo skakalci z visoko in stabilno formo lahko tehnično optimalno izvedejo več skokov zapored. Vendar je teh skakalcev v posameznem daljšem časovnem obdobju zelo malo. Skakalci morajo vprašanju optimalne izvedbe tehnike odskoka na skakalnici posvetiti veliko pozornost in ob pomoči trenerjev razviti čim bolj uspešne metode treniranja, usklajene s psihološko pripravo skakalcev (Schwameder, Müller, Raschner in Brunner, 1996). Če skakalec pade v fazo utrujenosti,

se mu lahko zniža tudi psihološki potencial in to skupaj lahko privede do visoke ravni upadanja športne forme. Na največjih skakalnicah in letalnicah lahko pride tudi do popolne blokade uspešnosti tehnične realizacije, kar nato prispeva k slabim tekmovalnim dosežkom skakalcev. To se stalno pojavlja v športni praksi, še zlasti po zahtevnih dolgotrajnih turnejah. Zmagovalci teh turnej so na koncu povsem izgoreli v energijski in informacijski komponenti gibanja. Na naslednjih tekmovanjih so lahko bili ti tekmovalci le blede slika vrhunskega skakalca. Ta nihanja so pri najboljših skakalcih nujno prisotna. Lep primer je bil poljski šampion Kamil Stoch, ki je pred tremi leti štirikrat zmagal na novoletni skakalni turneji. Ko je nekaj dni po turneji nastopil na poletih v Kulmu, je deloval kot kak začetnik v smučarskih skokih. Tudi v letošnji sezoni je bilo opaziti nihanja norveškega skakalca Halvorja Graneruda, ki ima obdobje popolne vrhunske premoči nad tekmece in potem obdobja povsem nemočnega skakalca. Problem norveškega šampiona tako ni v siceršnjem splošnem potencialu odzivne moči, ampak v doseganju vsakokratne optimalne psihofizične zmogljivosti na izbranim tekmovanju. Zaradi tega se morajo vrhunski skakalci predvsem optimalno psihofizično pripraviti za najvišja tekmovanja, kot so svetovna prvenstva in olimpijske igre. Pri tej pripravi so lahko trenerjem v pomoč posebne vadbene naprave, ki usmerjeno razvijajo specialno odzivno moč skakalcev. Med temi je lahko tudi naprava, uporabljena v pričujoči raziskovalni študiji. Na napravi se lahko spreminja ročica delovanja mišične sile v kolenskem sklepu v zaletnem položaju. Spreminjanje ročice lahko povzroči večjo sposobnost skakalca za uspešno izvedbo odziva pri različnih začetnih pogojih odskoka. Ti so največkrat za skakalca na skakalnici nezavedni. Z vadbo na tej napravi pa mu lahko pomagamo sposobnost zavestne kontrole gibanja močno izboljšati. Pri tem lahko skakalci razvijejo tudi mehanizme motorične kontrole, ki jim bodo omogočali uspešno izvedbo tehnike odziva tudi pri slabših izhodiščnih pogojih. Ti pa se na skakalnici lahko hitro pojavijo. Z vadbo na napravi tako ne razvijamo le mišične sile, ampak predvsem kompleksne motorične mehanizme, ki lahko pripomorejo k uspešnejšemu razvoju mišične sile med odzivom skakalca tudi pri manj ugodnih pogojih mišičnega delovanja. Izražanje mišične sile iztegovalk kolenskega sklepa v prvi fazi odziva terja čim bolj ugodne pogoje, ki jih lahko po Virmavirti in

Komiju (1989) zagotavlja le optimalni navor sile teže in mišične sile v kolenskem sklepu. Regulacija te momentne situacije je pri izvedbi tehnike odskoka na skakalnici precej bolj otežena kot pri izvedbi eksperimentalne gibalne naloge. Skakalci se pri vsakem skoku srečujejo z oteženim problemom optimizacije navora telesne teže v zaletnem položaju, ki pa se dogaja v precej kompleksni strukturi delovanja preostalih mehanskih sil in njihovih momentov. Z dolgoročno usmerjenim procesom tehnične vadbe se tako izgrajuje ustrezna motorična kontrola, ki omogoča optimalno vzpostavitev gibalnega zaletnega položaja tik pred začetkom odziva. Če skakalcu ne uspe vzpostaviti optimalnega zaletnega položaja, se bo lahko znatni del potenciala sile iztegovalk kolenskega sklepa uporabil za uravnoteženje gibalnega položaja, ne pa za pospešek skupnega težišča pri odzivu. To pa bo znižalo učinkovitost izrabe mišične sile za razvoj vertikalne hitrosti odskoka skakalca in za doseganje optimalnega položaja za let ob koncu vzletne faze odskoka.

■ Zaključek

Rezultati in ugotovitve pričujoče raziskovalne študije kažejo na kompleksnost in zapletenost pri razlagi fenomena motoričnega delovanja človeka v povezavi z biomehanskimi spremenljivkami. Izražanje velikosti sile je odvisno od številnih navornih situacij, ki so v posameznih sklepih venomer prisotne in lahko znatno vplivajo na velikost izražanja sile v posameznem sklepu ali kumulativno v več sklepih. V športnih gibanjih z enostavno gibalno strukturo, kamor sodijo tudi smučarski skoki, je mogoče razmeroma natančno ugotoviti odnos med velikostjo silo in njenim navorom v posameznem sklepu. V bolj motorično kompleksnih športnih gibanjih pa je ta odnos težko natančno proučevati, ker so pač gibalne rešitve možne s praktično neomejenim številom različnih gibalnih tehnik oziroma vzorcev. Vsekakor pa se mora v procesu treniranja tehnike športnih gibanj, še zlasti v enostavnih gibalnih tehnikah, upoštevati možnost izrazitega vpliva navornih situacij na uspešnost športnikov. To preprosto lahko tudi pomeni, da za vrhunsko uspešnost športnikov ni pomembna zgolj odlična pripravljenost z vidika potenciala mišične moči, ampak predvsem sposobnost, da se mišična moč v danem trenutku izvedbe tehnike gibanja realizira v optimalnih navornih situacijah. V smučarskih skokih, kjer se tehnika gibanja izvede pri veliki osnovni

hitrosti gibanja, se čez noč lahko bistveno spremenijo rezultati vrhunskih skakalcev. To se često pokaže kot dokaj nerazumljiva značilnost spreminjajoče se športne forme skakalcev. Vzrok za to se skriva v psiholoških značilnostih, ki vplivajo na informacijsko zasnovano in izvedbo tehnike gibanja. Skakalcu se v trenutku lahko porušijo gibalni občutki in prek njih tudi gibalni programi. Nezmožnost nadzora optimalnega gibalnega programa potem ob istem potencialu moči povzroči znatno znižanje tehnične uspešnosti in posledično tudi tekmovalne uspešnosti športnikov. V takih primerih se lahko zgodi povsem zmotno prepričanje, da je vzrok znižanja športne forme skrit v znižanju potenciala moči. Dejanski vzroki pa ležijo povsem drugje v športnikovi psihični strukturi osebnosti. Trenerji morajo zato v takih primerih najprej poskrbeti za regeneracijo psiholoških dejavnikov potencialne tekmovalne uspešnosti, da se pri športniku znova vzpostavi optimalni psihomotorični nadzor in kontrola tehnike gibanja.

Literatura

- Ettema, G. in Braten, S. (2007). On the role location of centre of mass in ski jumping. V Linnamo, P. V. Komi in E. Müller (ur.). *Science and Nordic Skiing (Proceedings book of the International Congress on Science and Nordic Skiing, Vuokatti, Finland, June 18–20, 2006)* (str. 197–204). Oxford: Meyer & Meyer Sport.
- Ettema, G. J. C., Braten, S. in Bobbert, M. F. (2005). Dynamics of the in-run in ski jumping: a simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*, 21(3), 247–259.
- Janura, M., Vaverka, F., Elfmark, M. in Salinger, J. (1998). A longitudinal study of intra-individual variability in the execution of the in run position in ski jumping. V H. J. Riehle. in M. M. Vieten., (ur.) *ISBS- Conference Proceeding Archive, 16 International Symposium on Biomechanics in Sport, Konstanz-Germany, July 21–25, 1998* (str. ni-ni). Konstanca, Nemčija: Society of Biomechanics in Sports.
- Jošt, B. (2009). Teorija in metodika smučarskih skokov. Ljubljana: Fakulteta za šport.
- Jošt, B. (2010). The hierarchical structure of selected morphological and motor variables in ski jumping. *Human movement*, 11(2), 124–131.
- Jošt, S. in Jošt, B. (2010). Struktura modela morfoloških razsežnosti smučarjev skakalcev. *Šport*, 58 (3–4), 136–141.
- Komi, P. V. in Virmavirta, M. (1997). Ski-jumping take off performance: determining factors and methodological advances. V E. Müller, H. Schwameder, E. Kornexl, E. in C. Raschner (ur.). *Science and Skiing (Proceedings book of the First International Congress on Skiing and Science, St. Christoph a. Arlberg, Austria, January 7–13, 1996)* (str. 3–26). Cambridge: Cambridge University Press.
- Komi, P. V. in Virmavirta, M. (2000). Determinants of successful ski-jumping performance. V Vladimir M. Zatsiorsky (ur.), *Biomechanics in sport, Chapter 17* (str. 349–362). Oxford (UK); Malden, (MA) USA: Blackwell science, 2000.
- Sasaki, T., Tsunoda, K., Uchida, E., Hoshino, H. in Ono, M. (1997). Joint Power Production in Take-Off Action during Ski-jumping. In: (Müller, E., Schwameder, H., Kornaxl, E., Raschner, C., eds.). *Proceedings of the first International Congress on Skiing and Science St. Christoph a. Arlberg. Austria, January 7-13, 1996*; 49–60.
- Sasaki, T., Tsunoda, K. in Koike, T. (2005). Kinetic analysis of ski jumping in the period transition area. V E. Müller, D. Bacharach, R. Klika, S. Lindiger in H. Schwameder (ur.). *Science and Skiing III (Proceedings book of the Third International Congress on Skiing and Science, Snowmass, Aspen, Colorado, USA, March 28–April 3, 2004)* (str. 367–380). Oxford: Meyer & Meyer Sport.
- Matwejew, L. P. (1986). *Grundlagen des sportlichen Trainings*. Berlin: Sportverlag.
- Schwameder, H., Müller, E., Raschner in Brunner, C. F. (1996) Aspects of technique-specific strength training in ski-jumping. V E. Müller, H. Schwameder, C. Raschner, S. Lindinger in E. Kornexl (ur.). *Science and Skiing I (Proceedings book of the First International Congress on Skiing and Science, St. Christoph a. Arlberg, Austria, January 7–13, 1996)* (str. 309–319). Hamburg: Dr. Kovač.
- Vaverka, F. (1987). *Biomechanika skoku na lyžičh*. Olomouc: Univerzita Palackeho.
- Vaverka, F., Janura, M., Elfmark, M. in Salinger, J. (1997). Inter-and intra-individual variability of the ski jumpers take-off. V E. Müller, H. Schwameder, E. Kornexl in C. Raschner (ur.). *Science and Skiing (Proceedings book of the First International Congress on Skiing and Science, St. Christoph a. Arlberg, Austria, January 7–13, 1996)* (str. 61–71). Cambridge: Cambridge University Press.
- Virmavirta, M. in Komi, P. V. (1989). The take off forces in ski jumping. *International journal of Sport Biomechanics*, 5, 248–257.
- Virmavirta, M. in Komi, P. V. (1993). Measurement of take-off forces in ski jumping – part I. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 3(4), 229– 236.
- Virmavirta, M. in Komi, P. V. (1994). Take-off analysis of a champion ski jumper. *Coaching and Sport Science Journal*, 1, 23–27.
- Virmavirta, M. in Komi, P. V. (2001). Factors influencing the »explosiveness« of ski jumping take-of. V E. Müller, H. Schwameder, C. Raschner, S. Lindinger in E. Kornexl (ur.). *Science and Skiing II (Proceedings book of the Second International Congress on Skiing and Science, St. Christoph a. Arlberg, Austria, January 9–15, 2000)* (str. 14–29). Hamburg: Dr. Kovač.
- Virmavirta, M., Kivekäs, J. in Komi, P. V. (2001). Take-off aerodynamics in ski jumping. *Journal of Biomechanics*, 34(4), 465–470.
- Virmavirta, M., Isolehto, J., Komi, P., Schwameder, H., Pigozzi, F. in Massazza, G. (2009). Take-off analysis of the Olympic ski jumping competition. *Journal of Biomechanics*, 42(8), 1095–1101. Take-off aerodynamics in ski jumping. *Journal of Biomechanics*, 34(12), 465–470.
- Vodičar, J. in Jošt, B. (2010). The factor structure of chosen kinematic characteristics of take-off in ski jumping. *Human Kinetics*, 23(1), 37–45.
- Werschoshanskij, I. V. in Tatjan, W. W. (1975). Komponenten und funktionelle Struktur der Explosivkraft des Menschen. *Leistungssport*, 5(1), 25–31.

prof. dr. Bojan Jošt, prof. šp. vzg.
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
bojan.jost@fsp.uni-lj.si