



Bojan Jošt

Izbrani biomehanski vidiki vloge in pomena odzivne moči smučarjev skakalcev

Selected biomechanical aspects of the role and importance of ski jumpers' take-off power

Izvleček

Odrivna moč smučarjev skakalcev predstavlja njihovo pomembno gibalno sposobnost. Ta sposobnost se izraža med izvedbo odskoka v oporni fazi odziva, ko je skakalec v stiku s podlago. V oporni fazi odziva mora skakalec razviti ustrezno odzivno hitrost gibanja skupnega težišča sistema skakalec-smuči usmerjeno pravokotno na podlago in hkrati zagotoviti optimalno rotacijo telesa pri prehodu v let. Pri odzivu v oporni fazi odskoka se energija potrebne moči tvori pretežno v kolenskem in kolčnem sklepu. Več kot 90 % energije oziroma moči se ustvari v kolenskem in kolčnem sklepu. Delež energije, ki se ustvarja v drugih delih telesa je minimalen. Z velikostjo skakalnice upada korelacija med močjo odziva in uspešnostjo skakalcev in narašča korelacija z dejavniki aerodinamične učinkovitosti tehnike gibanja. Na velikih skakalnicah oziroma letalnica se manjši impulz odzivne sile lahko nadomesti z naraščanjem impulza sile vzgona. Pri odskoku smučarja skakalca, kjer pri relativnem majhnem zunanem odporu prevladuje mišično naprežanje eksplozivno-balinističnega tipa, je izpopolnjevanje delovnega učinka povezano s koncentracijo velikosti delovnega napora na začetnem delu amplitude gibanja, t.j. z značilnim povečanjem maksimalnega napora in skrajševanjem potrebnega časa, da se le-ta doseže. Takšne tendence pa zahtevajo zadostno razvito eksplozivno moč smučarja skakalca. Razvoj specialne odzivne moči se mora izvajati ob upoštevanju specifičnega režima mišičnega delovanja, ki se pojavlja ob izvedbi tehnike smučarskega skoka.

Ključne besede: smučarski skoki, trening, moč, odziv

Abstract

Ski jumpers' push-off power is considered to be an important motor ability. This ability is reflected in performance of the take-off in the support phase of the push-off, when a ski jumper is in contact with the surface. In the support phase of the take-off, a ski jumper must develop appropriate take-off speed in the overall centre of gravity of the jumper-skis system, directed perpendicularly to the surface, and at the same time ensure optimal rotation of the body during the transition to the flight phase. During the take-off in the support phase of the take-off, the energy of the necessary power is mainly generated in the knee and hip joints. More than 90% of energy and/or power is generated in the knee and hip joints. The share of energy produced in other parts of the body is minimum. Correlation between a ski jumper's push-off power and performance decreases with the size of the ski jump, while correlation with the factors of aerodynamic efficiency of the movement technique increases. In the case of large ski jumps or ski flying hills, the smaller impulse of the take-off force can be compensated for by the stronger impulse of the buoyant force. During a ski jumper's take-off, where the explosive-ballistic type of muscle contraction prevails in the circumstance of relatively small external resistance, an improved performance is connected with the concentration of the extent of work strain in the initial part of the movement amplitude, i.e. with a typical increase in the maximum strain and a reduction in the time needed to achieve it. Such tendencies require a ski jumper to have sufficiently developed explosive power. The development of special take-off power has to take into consideration the specific regime of muscle activation that characterises the ski jumping technique

Keywords: ski jumping, power, strength, take-off

■ 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).

Uspešnost tehnike smučarskega skoka (**U**) je v danem času izvedbe tehnike (τ) odvisna od dejavnikov:

- gibalna uspešnost športnika (**GUŠ**),
- oprema športnika (**OŠ**),
- značilnosti inercialnega okolja, v katerem se tehnika realizira (**ZIO**),
- napake (**e**).

V matematičnem jeziku se lahko uspešnost tekmovalne tehnike smučarskega skoka izrazi z enačbo:

$$\mathbf{U} = \int [\mathbf{UTG}(t)_{\Delta t} + \mathbf{OŠ}(t)_{\Delta t} + \mathbf{ZIO}(t)_{\Delta t}] + \mathbf{e}(t)_{\Delta t}$$

Δt – pomeni čas med začetkom in koncem tekmovalnega nastopa.

■ Uspešnost izvedbe tehnike smučarskega skoka je odvisna od motoričnih sposobnosti smučarjev skakalcev

Gibalna uspešnost tehnike gibanja (**UTG**) je hipotetično odvisna od delovanja generalnega motoričnega faktorja (**GMF**), ki določa energijsko (**EKG**) in informacijsko komponento (**IKG**) gibanja.

$$\mathbf{UTG} = \mathbf{GMF} = (\mathbf{EKG} + \mathbf{IKG})$$

Uspešnost tehnike gibanja je v vsakem trenutku odvisna od informacijske in energetske komponente gibanja. Njunjo delovanje in izražanje je odvisno od številnih dejavnikov kompleksne motorične strukture.

Uspešnost tehnike gibanja (**UTG**) se na manifestni ravni obravnava s pomočjo modela motoričnega obnašanja, pri katerem je gibalna uspešnost tehnike smučarskega skoka določena kot seštevek dejavnikov oziroma faktorjev, ki jih predstavljajo posamezne manifestne gibalne sposobnosti:

- Koordinacija (**K**)
- Hitrost (**H**)
- Ravnotežje (**R**)
- Preciznost (**P**)
- Gibljivost (**G**)
- Moč (**M**)
- Vzdržljivost (**V**)

$$\mathbf{UTG} = \int [\mathbf{K}(t)_{\Delta t} + \mathbf{H}(t)_{\Delta t} + \mathbf{M}(t)_{\Delta t} + \mathbf{G}(t)_{\Delta t} + \mathbf{R}(t)_{\Delta t} + \mathbf{P}(t)_{\Delta t} + \mathbf{V}(t)_{\Delta t}] + \mathbf{e}$$

Uspešnost tehnike gibanja (**UTG**) je hipotetično toliko večja, kolikor večji je seštevek vrednosti posameznih specialnih gibalnih sposobnosti.

Problem v tej enačbi predstavljajo šibke točke oziroma kritične točke, ki lahko povsem spremenijo končni seštevek. Zato je osnovni namen pri menedžmentu specialne motorične priprave dvigniti skupni seštevek in hkrati odpravljati šibke točke.

Drugi problem se skriva v nejasnih in nepredvidljivih relacijah med sposobnostmi, ki se lahko kažejo v bolj ali manj sinergističnih učinkih.

Zaradi tega vsota ni in ne more biti zgolj običajen matematični seštevek.

V smučarskih skokih motorične sposobnosti pomembno določajo uspešnost smučarjev skakalcev pri izvedbi tehnike smučarskega skoka. Vsaka od navedenih osnovnih motoričnih sposobnosti ima pri izvedbi tehnike skoka specifično vlogo. V vsakem trenutku delujejo pri izvedbi smučarskega skoka vse motorične sposobnosti hkrati, spreminja se le njihov pomen in vloga glede na posamezno fazo smučarskega skoka.

■ Prepletenost specialnih motoričnih sposobnosti in specialnih motoričnih nalog smučarjev skakalcev

Specialne motorične sposobnosti smučarjev skakalcev so tisti dejavniki, ki v največji meri določajo uspešnost tehnike smučarskega skoka in v osnovi izvirajo iz razsežnosti skakalčevega psihosomatičnega statusa (niso odvisne od opreme in vpliva zunanjih bolj ali manj slučajnih dejavnikov). To so psihološki, morfološki, motorični in funkcionalni dejavniki, ki tvorijo biodinamično strukturo osebnosti smučarja skakalca.

Specialne motorične sposobnosti smučarjev skakalcev so osnova in nujni pogoj za uspešen razvoj tehnike smučarskega skoka oziroma specialnih gibalnih nalog smučarja skakalca, ki se lahko analitično razdelijo na:

1. start in vzpostavitev zaletnega položaja;
2. vožnja v skakalnem počepu po ravnem delu zaletišča;
3. vožnja v skakalnem počepu v prehodnem loku in priprava na odskok;
4. aktivni odziv v oporni fazi odskoka;
5. prehod v fazo leta do optimalne iztegnitve telesa v bokih in iztegnitev nog;
6. vzpostavitev optimalnega letnega položaja;
7. prilagajanje na krivuljo leta in aerodinamične momente v osrednjem delu leta;
8. optimalno vztrajanje v položaju leta in priprava na doskok;
9. doskok;
10. vožnja v iztek in zaustavljanje.

V praksi se gibalne naloge smučarja skakalca pri izvedbi tehnike smučarskega skoka deli na:

- 1) tehnika gibanja v fazi zaleta;
- 2) tehnika gibanja v fazi vzleta;
- 3) tehnika gibanja v osrednji fazi leta;
- 4) tehnika gibanja v fazi doskoka in
- 5) tehnika gibanja pri vožnji v iztek in zaustavljanje.

Vloga in pomen specialnih motoričnih sposobnosti smučarjev skakalcev se spreminja tudi glede na značilnosti inercialnega sistema, v katerem se tehnika gibanja skakalca izvede.

Velikost inercialnega sistema določa osnovna hitrost gibanja skakalca (velikost skakalnice) in velikost odrejenih zunanjih fizikalnih sil, ki pri tem gibanju nastopajo. Loči se:

- ničelno inercialno okolje – hitrost je 0 m/s (normalen, olajšani, oteženi);
- nizko inercialno okolje – hitrost do 5 m/s do 10m/s (normalen, olajšani, oteženi);
- srednje zahtevno inercialno okolje (hitrost je od 10m/s do 20m/s) in
- visoko zahtevno inercialno okolje (hitrost je 25m/s in več).

S porastom zahtevnosti inercialnega dinamičnega sistema se povečuje velikost vplivanja zunanjih fizikalnih sil in njihovih momentov na tehniko gibanja. S kinematičnega vidika se osnovni zakoni tehnike gibanja ohranjajo ne glede na velikost inercialnega sistema. Spreminjajo se le dinamične značilnosti gibanja. Prehod iz enega inercialnega sistema delujočih sil v drug inercialni sistem je zahteven, saj od skakalca zahteva visok raven specifične motorične spretnosti, ustvarjalnosti, poguma in motoričnih sposobnosti.

Konfliktna situacija, ki nastane zaradi nedodanosti tehnike smučarskega skoka, se z zvišanjem zahtevnosti inercialnega sistema enormno povečuje in pri skakalcu povzroča neugodne psihične in osebne strese, ki lahko povzročijo tudi nepredvidljive negativne posledice.

Povezanost bazičnih motoričnih sposobnosti z uspešnostjo smučarjev skakalcev je bila predmet številnih študij, pri katerih so avtorji na splošno ugotavljali značilno korelacijo med rezultati v motoričnih sposobnostih in uspehom v smučarskih skokih (Bregar, 2000; Jošt, 2009; Vaverka, Janura, Elfmark in Salinger, 1997; Virnavirta in Komi, 1993a in 1993b; Virnavirta in Komi, 1994).

■ Vloga in pomen specialne moči smučarjev skakalcev

Moč je sposobnost smučarja skakalca da posamezne gibalne naloge tehnike smučarskega skoka izvede z optimalno silo.

Skakalec potrebuje visoko raven moči predvsem v oporni fazi odskoka in oporni fazi doskoka. Maksimalna potreba po moči se največkrat pojavi prav v fazi doskoka pri ekstremno dolgih skokih oziroma poletih. Včasih sile pri doskoku dosežejo tudi 10-kratno velikost sile telesne teže skakalca. Odlični skakalci so zaradi svoje odličnosti tudi žrtev predolgih skokov, ki preprosto povzročijo pritiske, ki jih človeško telo ne more uspešno ublažiti brez padca.

Skakalec mora imeti dobro razvito statično in dinamično komponento moči.

Statično moč potrebuje predvsem v fazi vožnje po ravnem delu zaletišča, pri vožnji v prehodnem loku zaletišča, v osrednjem delu leta in pri vožnji v iztek skakalnice.

Dinamična moč je odločilna za uspešno izvedbo faze vzleta in faze doskoka.

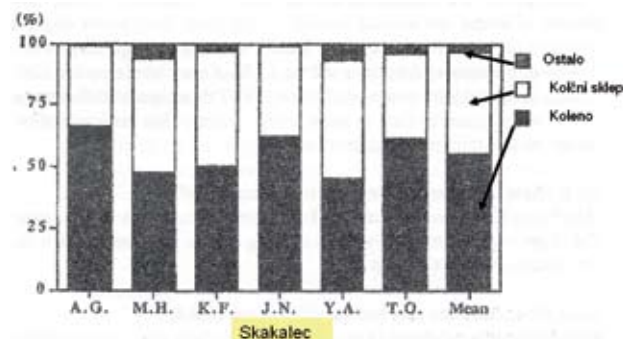
V oporni fazi odziva mora skakalec razviti ustrezno odzivno hitrost gibanja skupnega težišča sistema skakalec-smučar usmerjeno pravokotno na podlago. Omenjena hitrost omogoča skakalcu posledično dvig skupnega težišča v fazi vzleta. Če se ne upošteva vpliv aerodinamike, se s spreminjanjem velikosti odzivne hitrosti dosežejo naslednje mehanske količine (Tabela 1):

Tabela 1

Izbrane mehanske vrednosti, odvisne od velikosti odzivne hitrosti smučarja skakalca

Hitrost (m/s)	Višina dviga T.T (cm)	Čas dviganja do točke $v_y = 0$ (s)	Opravljen pot letenja v x smeri (m) ob predpostavki $v_x = 25$ m/s
1	5	0.05	1.25
2	20	0.2	5.0
3	45	0.3	7.5
4	80	0.4	10.0

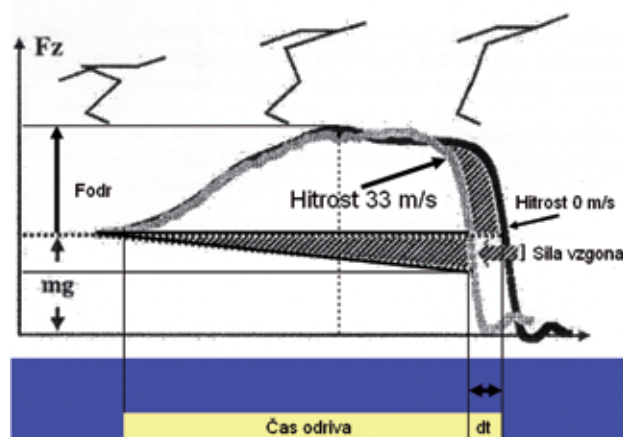
Pri odzivu v oporni fazi odskoka se energija potrebne moči tvori pretežno v kolenskem in kolčnem sklepu (Slika 1). Več kot 50 % energije oziroma moči se ustvari v kolenskem sklepu in od 30 do 40 % se ustvari v kolčnem sklepu. Delež energije, ki se ustvarja v drugih delih telesa je minimalen (Sasaki, Tsunoda, Uchida, Hoshino in Ono, 1997).



Slika 1. Delež tvorjenja energije oziroma moči pri odzivu v oporni fazi odskoka v kolenskem in kolčnem sklepu (Sasaki, Tsunoda, Uchida, Hoshino in Ono, 1997).

■ Vloga odzivne moči smučarjev skakalcev v povezavi z velikostjo skakalnice

Dilema optimalnega razvoja odzivne moči je povezana tudi z njeno koristnostjo z vidika velikosti skakalnice. Znano je, da z velikostjo skakalnice upada korelacija med močjo odziva in uspešnostjo skakalcev in narašča z dejavniki aerodinamične učinkovitosti tehnike gibanja. V eksperimentu Virnavirta in sod (2001) je bila proučevana struktura odzivne moči pri simulaciji različnih velikosti skakalnic oziroma hitrosti gibanja. Hitrost gibanja je bila izračunana na podlagi moči delovanja sile vetra, umetno ustvarjene v vetrovniku. Ugotovitve so pokazale (Slika 2), da se maksimalna odzivna sila pri odzivu ni bistveno spremenila.



Slika 2. Struktura impulza odzivne sile pri simulaciji osnovne hitrosti gibanja in z njo povezane velikosti delovanja sile gibanja zraka (Virnavirta, Kivekäs in Komi, 2001).

Do bistvenih sprememb je prišlo v času odziva. Z večanjem skakalnic se odzivni čas zmanjšuje. Na letalnicah je ta sprememba že izrazita. Končna hitrost odziva je ne glede na velikost skakalnice približno enaka.

Na velikih skakalnicah oziroma letalnica se manjši impulz odzivne sile lahko nadomesti z naraščanje impulza sile vzgona. Kar skakalec izgubi na računa moči odziva, pridobi nazaj na račun povečane sile vzgona. Tovrstno spoznanje potrjuje hipotezo o diferenciaciji skakalcev na dva tipa. Prvi tip so skakalci za manjše skakalnice (dominacija moči odziva) in drugi tip so skakalci za večje skakalnice, predvsem letalnice. Pri poletih lahko uspejo tudi skakalci z manjšo odzivno močjo, če uspejo primanjkljaj odzivne moči nadomestiti z aerodinamično bolj učinkovito tehniko vzleta in leta.

■ Osnova za izražanje moči odziva skakalca je mišična sila odziva

Na osnovi impulza mišične sile in njenega momenta (navora) se posledično 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 integrala 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«.

Ta naravni mehanični zakon v pogojih skakalčeve aktivnosti v fazi odskoka velja v omejeni meri, ker se oblika krivulje $F(t)$ odreja z determinantnimi cilji tehnike skoka, ki pa je poleg zadostnega izražanja moči pogojena tudi z aerodinamično učinkovitostjo (Vaverka, 1987; Virnavirta, Kivekäs in Komi, 2001).

Specialna moč smučarja skakalca se lahko razvije le z ustrežno adaptacijo živčno-mišičnega sistema (Bernstein, 1967). Sposobnost prilagajanja tehniki gibanja predstavlja specifično »danost« živčno-mišičnega aparata in poseduje prizvok sredstev, ki so bila koriščena v toku transformacijskega procesa. Neupoštevanje te okoliščine je groba napaka, ki lahko stane smučarja skakalca mnogo leta težkega in neučinkovitega dela.

Za smučarja skakalca je pomemben kriterij hitrost razvoja maksimalnega napora (sile), ki dopolnjuje kriterij absolutne velikosti moči.

Specifične tendence v kvantitativnem izpopolnjevanju gibanja smučarjev skakalcev pri odzivu se izražajo v stalnem skrajševanju časa gibanja z istočasnim porastom mišične sile. Ta kvalitativna značilnost je neposredno povezana s specifičnimi lastnostmi živčnomišičnih mehanizmov gibanja in zahteva njihovo usmerjeno izpopolnjevanje.

Mišična sila pri odzivu deluje vektorsko. Samo glavna projekcija mišične sile odziva F_{odr} , ki predstavlja translatorsko komponento sile reakcije tal F_{rea} , povzroči, da se spreminja velikost hitrosti skupnega težišča telesa smučarja skakalca v smeri gibanja skupnega težišča. Druga tangencialna komponenta mišične sile odziva omogoča obračanje telesa smučarja skakalca okoli točke skupnega težišča v sagitalni smeri.

Skakalec bo torej razvil toliko večjo mišično moč v fazi odskoka, v kolikor krajšem času bo opravil večje delo, ki se kaže

v premiku skupnega težišča telesa v optimalni smeri gibanja in zmožnosti doseganja ustrezne rotacije telesa pri prehodu v let.

Odskok smučarja skakalca se izvaja pri znatnem vplivanju zunanjih fizikalnih sil, kar ruši normalni tok mišičnega delovanja. Gibanje smučarja skakalca se ustvarja s pomočjo celotnega živčno mišičnega sistema in lokomotornega aparata. Znotraj tega sistema obstaja veliko število prostostnih stopenj gibanja. Nepredvidene prostostne stopnje stalno menjajo napetost mišic. To ustvarja stalno plastično menjavo živčno mišične inervacije, ki v vsakem trenutku izvedbe gibanja odgovarja spremembi položaja telesnih ekstremitet in stanju živčno mišičnega sistema.

■ Povezava med mišično silo in hitrostjo gibanja

Hitrost gibanja skupnega težišča je mehansko odvisna od osnovnega mehanskega zakona oziroma od razmerja med impulzom mišične sile in maso skakalca.

Ta nesporen mehanični zakon pa v pogojih realizacije odskoka smučarja skakalca zaradi omejenosti amplitude gibanja ne izraža pravega stanja. Skakalec ne more povečati časa realizacije gibalne naloge, ker bi to pomenilo čisto nelogično in nerazumno tendenco z vidika doseganja večje hitrosti gibanja pri konstantno določeni amplitudi gibanja (Jošt in Vaverka, 1988). Seveda se tukaj vmeša še množica drugih dejavnikov, kar pa v tem trenutku presega predmet naše obravnave. Prav tako skakalec ne more zmanjšati svoje telesne mase. Zaradi tega je logično, da mora skakalec med odzivom še najbolj povečati mišično silo. Hitrost gibanja težišča sistema skakalec-smučarja v želeni smeri je torej predvsem odvisna od velikosti producirane mišične sile v določenem času.

Delovni učinek smučarja skakalca v oporni fazi odskoka je odvisen od več komponent mišične odzivne moči (startne, pospeševalne, eksplozivne, maksimalne, hitrostne).

Struktura mehanizma, ki regulira velikost mišične sile, je zapletena in je predvsem determinirana s koordiniranim in usklajenim delovanjem tistih delov centralnega živčnega sistema, ki v osnovi regulirajo frekvenco živčnih impulzov, količino aktiviranih motoričnih enot in prevodnost nevronskih polisinaptičnih poti, od katere je še posebej odvisna hitrost prenašanja živčnih impulzov.

Z vidika zagotavljanja potrebne rezultante mišične sile je pomembna mobilnost živčno-mišičnega aparata, predvsem pri postopnem vključevanju novih motoričnih enot v odvisnosti od funkcionalnega položaja mišic glede na anatomske značilnosti lokomotornega aparata in biomehanske zahteve samega odskoka. S tega vidika je potrebna izredno prefinjena medmišična in znotrajmišična koordinacija. Le tako bo lahko zagotovljena optimalna rekrutacija (proces vključevanja) novih motoričnih enot.

Rezultanta delujočih mišičnih sil bo pri odzivu največja takrat, kadar bo ob optimalni rekrutaciji delovalo kar največ motoričnih enot z njihovo največjo možno frekvenco.

Pomemben dejavnik, ki določa uspešnost bliskovitega motoričnega akta v fazi odskoka, je tudi visoka sposobnost aktiviranja in sproščanja tako agonističnih kot tudi antagonističnih mišic.

Izhod mišične sile je odvisen tudi od velikosti in strukture mišičnih vlaken. Pri veliki hitrosti v pogojih eksplozivno-balističnega mišičnega naprežanja se pretežno aktivirajo mišična vlakna, sposobna hitre kontrakcije (Latash, 1998). Še vedno ni ugotovljeno, ali se struktura mišičnih vlaken na osnovi trenažnih stimulusov spreminja, zato se hipotetično predpostavlja, da vrhunski skakalci razpolagajo z visokim odstotkom hitrih (fazičnih) mišičnih vlaken.

S povsem fiziološkega vidika je hitrost mišične kontrakcije odvisna od koncentracije adenozintrifosfata (ATP), od hitrosti razpadanja kreatinfosfata pod vplivom živčnih impulzov in tudi od časa razpadanja ATP.

S treniranjem se lahko vpliva na količino aktivne mišične mase, ki sodeluje v gibanju, relaksacijo antagonistov in nekatere mehanske, biokemične ter anatomske lastnosti mišic.

Z mehanskega vidika je poleg dolžine ročic, dolžine mišic, fiziološkega presega mišice, hitrosti kontrakcije mišice, trajanje giba pomembno, da se aktivira čim več motoričnih enot, predvsem tistih, ki vsebujejo dolga, hitra mišična vlakna, locirana bolj na površju mišičnega tkiva. Poleg teh dejavnikov po vsej verjetnosti obstaja še več drugih, ki vezani na različne mehanizme, vplivajo na hitrost in moč mišičnega krčenja.

Končni uspeh z vidika maksimalnega koriščenja potenciala mišične moči v pogojih specialno-motoričnega akta smučarja skakalca je odvisen tudi od sposobnosti kontroliranja lastne volje, ki mora biti na ravni potreb in zahtev motoričnega akta.

Med psihološkimi faktorji je pomembna zlasti motivacija skakalca, ki neposredno vpliva na sposobnost tekmovalca, da mobilizira maksimalno možno število motoričnih enot. Pri maksimalni voljni kontrakciji se lahko aktivira do 95 % motoričnih enot, če je ta na nizkem ravenju, pa le 70 % (Verhošanski, 1979).

■ Vloga različnih oblik impulza mišične sile pri razvijanju odrivne moči

Če se odmisli obliko tehnike gibanja smučarja skakalca v oporni fazi odskoka, konkretno smer gibanja, delovne vzvode, ki ga realizirajo, in tudi režim mišičnega naprežanja, potem se karakter razvoja obremenitve lahko predstavi z grafikonom poteka sile v času $F(t)$. Začetek in konec grafa vedno leži na apscisi glede na to, da se gibanje začne in konča z ničelno hitrostjo (Slika 3). Delovni učinek napora se odreja z impulzom sile ($I = F \cdot t$) v skladu z zakonom o ohranitvi gibalne količine:

$$\int_{t_1}^{t_2} F(t) dt = mv_1 - mv_2$$

(t_1 – prva začetna časovna točka opazovanja sile; t_2 – druga končna časovna točka opazovanja sile; v_1 – hitrost ob začetku opazovanja sile, v_2 – hitrost ob koncu opazovanja sile; m – masa oziroma teža).



Slika 3. Krivulja delovnega napora (impulza mišične sile v času) v fazi odskoka.

Sprememba gibalne količine v določeni smeri v času odskoka smučarja skakalca je odvisna od impulza rezultantne sile odriva v dani smeri. Če bi pri odskoku upoštevali samo delovanje sile teže, potem bi bila sprememba gibalne količine oziroma hitrosti gibanja skupnega težišča v vertikalni smeri odvisna od površine impulza sile reakcije tal F_{REA1} , ki je odvisna od velikosti impulza sile mišic:

$$dv = \int_{t_1}^{t_2} F_{REA1}(t) dt \cdot (0,81 / G \cos Q) dt$$

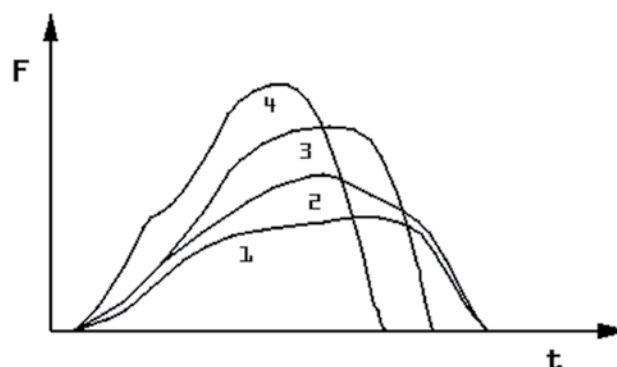
– potek časa od začetka odriva (t_1) do konca odriva (t_2)

m – masa sistema skakalec in oprema

$\cos Q$ – naklon odskočne mize

Povečanje delovnega učinka v gibanju se lahko omogoči s povečanjem površine impulza sile, s čimer se v bistvu tudi odraža cilj funkcionalnega izpopolnjevanja gibanja v fazi odskoka smučarja skakalca. Vsled vztrajnemu treniranju smučarja skakalca se spreminja tudi grafikon. Več avtorjev (Verhošanski, 1979; Virnavirta in Komi, 1994) je prišlo do zaključkov, da se te krivulje v toku treninga spreminjajo po nekih splošnih zakonitostih.

Na Sliki 4 je prikazan načelni karakter spremembe grafikona $F(t)$ v procesu treninga.



Slika 4. Sprememba oblike poteka impulza mišične sile.

Na osnovi raziskovalnih ugotovitev se predpostavlja, da se skozi proces večletnega treninga izoblikovanje impulza sile vrši na naslednji način:

- V začetku prihaja do relativno enakomernega povečanja naporov (glede na začetni raven) v toku gibanja (krivulja 2). Pri tem pa se trajanje gibanja bistveno ne spreminja;

- v nadaljevanju prihaja do znatnega porasta maksimuma napora in značilnega skrajšanja časa, ki je potreben za realizacijo gibanja (krivulja 3);
- na koncu, prihaja do povečanja vrednosti sile predvsem na začetku delovnega napora po znatnem pomanjšanju časa, ki je potreben, da se ta vrednost sile doseže (krivulja 4).

Pri odskoku smučarja skakalca, kjer prevladuje mišično naprezanje eksplozivno-balističnega tipa pri relativnem majhnem zunanem odporu, 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 le-ta doseže.

Torej se povečanje delovnega učinka gibanja v času izgrajevanja tehnike smučarja skakalca odvija neodvisno od režima in zunanjih pogojev funkcioniranja motoričnega aparata z določeno zakonitostjo. **Ta zakonitost se pri realizaciji oporne faze odskoka izraža:**

- s povečanjem maksimuma delovnega napora,
- s premikom momenta doseganja maksimuma napora proti začetku delovnega napora mišic in
- s povečanjem delovne amplitude gibanja in skrajševanjem časa za realizacijo gibanja.

Takšne tendence pa zahtevajo zadostno razvito eksplozivno moč smučarja skakalca. Za njo je karakteristična sposobnost mišic za realizacijo velikih dinamičnih naprezanj v minimalnem času.

■ Kvalitativna ocena eksplozivne moči smučarja skakalca

Za kvalitativno oceno eksplozivne moči se v smislu fiziološke definicije običajno koristi odnos med maksimalno silo oziroma naporem in časom, ki je potreben, da se razvije:

$$I = F_{\max} / t_{\max} \quad I - \text{gradient (eksplozivna moč)}$$

$$F_{\max} - \text{maksimalna sila}$$

$$t_{\max} - \text{čas od } F = 0 \text{ do } F = \max$$

Krivulja eksplozivnega napora $F(t)$ se odraža s pomočjo treh komponent (J. V. Verhošanski, 1979):

- z absolutno maksimalno silo mišic (maksimalna moč);
- z sposobnostjo mišic za hitro premagovanje zunanje sile v začetku delovnega naprezanja (štarzna moč) in
- s sposobnostjo mišic za hitro doseganje maksimalnih vrednosti zunanje sile v toku razvoja delovnega naprezanja (eksplozivna moč).

Za kvalitativno oceno startne moči mišic, ki se realizira pri dinamičnem režimu, se uporablja odnos $Q = F_p / t_p$ ali vrednost tangensa kota nagiba tangente ($\text{tg } \alpha$) glede na krivuljo $F(t)$ v točki F_p , ki predstavlja točko doseganja polovične vrednosti maksimalne sile **F REA1**.

Štarzna moč v oporni fazi odskoka omogoča, da delovno naprezanje mišic kar najhitreje doseže raven, na katerem se vključujejo mehanizmi, »zadolženi« za realizacijo pospeševalne moči.

V prvem delu odrida pri obstajanju največjega zunanjega odpora sile teže startna moč temelji na izometričnem potencialu mišične moči. Ta je izražena toliko bolj, kolikor večji je zunanji odpor. V prvem trenutku odrida smučarja skakalca je prisotno močno dinamično eksplozivno balistično naprezanje mišic, ki daje telesu smučarja skakalca čim večji pospešek in začetno hitrost gibanja.

V naslednjem trenutku pa se vključujejo mehanizmi pospeševalne moči v dinamičnem režimu dela. Za pospeševalno moč mišic se v kvalitativni analizi uporabi ($\text{tg } \alpha$) tangens kota tangente na krivuljo pri vrednosti ordinate enaki $\frac{1}{2} F_{\max}$. Pospeševalna moč je sposobnost mišic za hitro povečanje delovnega napora v pogojih, ko je mišična sila dosegla polovico svoje maksimalne vrednosti od začetka mišične kontrakcije.

Pospeševalna moč je hipotetično toliko večja, kolikor večja je štarzna moč. To je še toliko bolj pomembno ob upoštevanju časovne in prostorske omejenosti pri realizaciji odskoka.

Hipotetično se predpostavlja, da je delovni učinek smučarja skakalca v fazi odskoka odvisen najmanj od petih kvalitativno specifičnih komponent odridne moči (Verhošanski, 1979):

1. absolutne maksimalne moči, izražene v izometričnem režimu naprezanja mišic (P_0), v tistem delovnem položaju, ki odraža najbolj učinkovit položaj za produkcijo sile v dinamičnem režimu mišičnega delovanja,
2. startne moči ($Q - \text{gradient}$),
3. pospeševalne moči ($G - \text{gradient}$),
4. eksplozivne moči ($I - \text{gradient}$)
5. absolutne hitrosti gibanja (V_0).

Faktorska analiza je na vzorcu atletov skakalcev srednje kvalitete pokazala, da so bile posamezne komponente moči med seboj neodvisne. Predpostavlja se tudi, da trening ne menja strukture sposobnosti, hitrosti in moči v odvisnosti od karakterja in pretežne usmerjenosti treninga, menja se le faktorska utež posameznih komponent sposobnosti moči, kot tudi velikost deleža vsake komponente oziroma faktorja. Za smučarske skoke je to spoznanje pomembno.

V procesu razvoja moči odrida v oporni fazi odskoka smučarja skakalca se mora razvijati vse komponente moči s ciljem, da se v optimalnem času odrida (0,15 sek. do 0,25 sek.) doseže v vseh komponentah optimalno maksimalne vrednosti.

Eksplozivna moč je močno povezana z uspešnostjo v smučarskih skokih (Jošt, 2009; Komi in Virmavirta, 1993a; Virmavirta in Komi, 1993b; Virmavirta in Komi, 1994).

V procesu treniranja odridne moči smučarjev skakalcev je moč oblikovati naslednja načela in spoznanja:

- Kadar je zunanji napor oziroma obremenitev majhna, je prisotna velika hitrost gibanja ob nizki vrednosti maksimuma eksplozivnega naprezanja.
- S povečevanjem zunanjega napora do vrednosti 20 % maksimalnega napora hitrost gibanja upade na 30 % maksimalne hitrosti.
- Pri 60 % in več maksimalnega zunanjega napora hitrost gibanja praktično pade na nič. Obratno pa narašča velikost

maksimalnega eksplozivnega naprežanja, ki se vse bolj odraža v izometričnem režimu mišičnega delovanja.

V Tabeli 2 so prikazane vrednosti razvoja maksimalne sile pri dinamičnem mišičnem delovanju v odvisnosti od velikosti zunanje obremenitve izražene v % **Po** (Verhošanski, 1979):

Tabela 2

Razvoj maksimalne sile v dinamičnih pogojih mišičnega delovanja (F_{max}) glede na velikost absolutne maksimalne sile mišic izražene v pogojih izometričnega delovanja (**Po**) (povzeto po Verhošanski, 1979)

Gibanje z bremenom	F_{max} v % od Po	Deficit moči	Korelacija F_{max}/Po
80 % od Po	94,0	6,0	0,82
60 % od Po	82,7	17,3	0,79
40 % od Po	64,4	35,6	0,65
20 % od Po	47,7	52,3	0,31

Z naraščanjem zunanjega bremena narašča tudi maksimalna sila mišic. Pri nizkih zunanjih obremenitvah (20 % od **Po**) se pojavlja več kot 50 % deficit moči. Prav tako se znižuje korelacija med maksimalno silo mišic, izraženo v dinamičnih pogojih (F_{max}), in maksimalno absolutno silo mišic, izraženo v izometričnih pogojih delovanja (**Po**).

- Za razvoj maksimalne eksplozivne moči smučarja skakalca v oporni fazi odskoka je potrebno uporabljati zunanje obremenitve v bližini absolutne maksimalne vrednosti (P_o), seveda ob predpostavki kratkega oziroma optimalnega časa mišičnega naprežanja (od 0,15 do 0,25 sek). Prav to bo povzročilo posledično maksimalno hitrost giba v pogojih ničelnega ali pa nizkega zunanjega napora (do 10 % od P_o).
- Trening za razvoj eksplozivne moči, ki bo vključeval nizke in srednje (od 10 do 60 % od P_o) zunanje obremenitve v dinamičnem režimu mišičnega delovanja, ne bo posebej uspešen.
- Razvoj specialne odzivne moči se mora izvajati ob upoštevanju specifičnega režima mišičnega delovanja, ki se pojavlja ob izvedbi tehnike smučarskega skoka (Jošt, 1988; Jošt, 1998; Komi in Virnavirta, 1994; Virnavirta, Kivekäs in Komi, 2001).

Literatura

- Bernstein, N. A. (1967). *The coordination and regulation of movements*. Oxford, Pergamon Press.
- Bregar, R. (2000). *Povezanost izbranih spremenljivk vertikalnega odskoka z nekaterimi motoričnimi in morfološkimi dimenzijami smučarjev skakalcev* (diplomsko delo). Ljubljana: Fakulteta za šport.
- Jošt, B. (1988). Trenažerji za specialno motorično pripravo smučarjev skakalcev. *Šport*, 36, 1-2: 1520.
- Jošt, B., Vaverka, F. (1988). *Osnove biomehanike smučarskih skokov*. Ljubljana: Fakulteta za telesno kulturo.
- Jošt, B. (1998). Vadbena naprava za razvoj specialne odzivne moči smučarjev skakalcev. *Šport*, 46, 1: 58.
- Jošt, B. (2009). *Teorija in metodika smučarskih skokov*. Ljubljana: Fakulteta za šport.
- Komi P. V., Virnavirta M. (1997). Ski-jumping take off performance: Determining factors and methodological advances. In: *Proceedings book of the First International Congress on Skiing and Science, St. Chrisoph a. Arlberg, Austria, January 7-13, 1996*, (pp. 326). Cambridge: Cambridge University Press.
- Latash, M. (1998). *Neurophysiological basis of movement*. USA: Human Kinetics.
- Sasaki, T., Tsunoda, K., Uchida, E., Hoshino, H & Ono, M. (1997). Joint Power Production in Take-Off Action during Ski-jumping. In: (Muller, E., Schwameder, H., Kornaxl, E., Raschner, C., eds.). *Proceedings of the first International Congress on Skiing and Science St. Chrisoph a. Arlberg, Austria, January 7-13, 1996*; 49-60.
- Vaverka, F. (1987). *Biomechanika skoku na lyžich*. Olomouc: Univerzita Palackeho.
- Vaverka, F., Janura, M., Elfmark, M. in Salinger, J. (1997). Inter-and intra-individual variability of the Ski jumpers take-off. In Müller, E., Schwameder, H., Kornaxl, E. & Raschner, C. (Ed.), *Science and Skiing (Proceedings book of the First International Congress on Skiing and Science, St. Chrisoph a. Arlberg, Austria, January 7-13, 1996)*. (pp.6171). Cambridge: Cambridge University Press.
- Virnavirta M. in Komi P. V. (1993a). Measurement of take-off forces in ski jumping part I. *Skandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 3, 229-236.
- Virnavirta M. in Komi P. V. (1993b). Measurement of take-off forces in ski jumping part II. *Skandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 3, 237-243.
- Virnavirta M. in Komi P. V. (1994). Take-off analysis of a champion ski jumper. *Coaching and Sport Science Journal*, 1, 23-27.
- Virnavirta M., Kivekäs, J. in Komi P. V. (2001). Take-off aerodynamics in ski jumping. *Journal of Biomechanics*, 34, 465-470.

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