



Lili Milanković^{1,2},
Martin Zorko³, Jan Babič⁴, Bojan Nemec⁴ in Matej Supej^{1,2}

3D gibanje kolenskega sklepa pri manipulaciji prijemališča sile reakcije podlage v medio-lateralni smeri – pilotska študija simulacije alpskega smučanja

Povzetek

Širina alpskih smučí pod smučarskim čevljem lahko hipotetično spremeni kinematiko kolenskega sklepa zaradi spremenjene ročice prijemališča sile reakcije podlage. Zato je bil namen pilotne študije v laboratorijskih simuliranih smučarskih pogojih ugotoviti, kako širina smučí vpliva na kinematiko kolenskega sklepa. V študiji je prostovoljno prisostvoval fizično dobro pripravljen 24-letni merjenec brez predhodnih alpskih smučarskih izkušenj. Merjenec je bil med stanjem na posebno prirejeni testirni napravi, ki simulira položaje alpskega smučanja, merjen v treh različnih kotih upogiba kolenskega sklepa (25°, 50° in 75°): 1) s smučjo postavljeno plosko na tleh in 2) s smučjo postavljeno na notranji rob s simulacijo treh širin smučke pod smučarskim čevljem: 6, 8 in 10 cm. Pri širini 6 in 10 centimetrov smučke pri upogibu 50° smo opravili še meritve z 20 kg bremenom za simulacijo dodatne radialne sile. Izračunali smo upogib kolena, odmik v kolenskem sklepu in zunanje vrtenje kolena. Rezultati so pokazali, da se položaj kolenskega sklepa spreminja pri različno širokih smučeh. Najmanj zunanega vrtenja kolenskega sklepa se zgodi pri plosko postavljeni smučki, največ pri smučki širine 8 cm, medtem ko je bil največji odmik v kolenskem sklepu prav tako zabeležen pri smučki širine 8 cm, pri kateri je bila velikost odmika v kolenskem sklepu malenkost višja kot odmik pri smučki širine 10 cm. Različni položaji kolenskega sklepa, kot sta povečan odmik v kolenskem sklepu in vrtenje, bi lahko povezali s potencialno višjo verjetnostjo za poškodbo kolenskega sklepa, kar bi bilo potrebno preveriti še v realnih smučarskih pogojih.

Ključne besede: Odmik, zunanje vrtenje, upogib, preprečevanje poškodb, širina smučí.

3D knee movement when manipulating the point of application of the ground reaction force in the medio-lateral direction – a pilot simulation of alpine skiing

Abstract

The width of an alpine ski under the ski-boot can hypothetically alter the kinematic parameters of the knee due to the changes of the moment arm of the ground reaction force acting on the skier. The purpose of this preliminary study was to investigate how the ski waist width influences the kinematic parameters of the knee joint in the laboratory simulated skiing conditions. One, physically well prepared, 24 years old subject without any skiing experience participated in the study. The subject was standing on a custom-made testing device that emulated different skiing positions at three different knee flexion angles (25°, 50° and 75°): 1) with the ski placed flat on the support and 2) with the ski placed on the inner edge. The simulated three different ski waist widths were: 6, 8, and 10 cm. At the width of 6 and 10 cm and at the knee angle of 50°, additional measurements were performed with extra 20 kg weight to emulate the radial force in the turn. In all cases standard knee flexion, abduction and rotation angles were calculated. Results showed that the position of the knee joint is affected by the ski width. The lowest external knee rotation was recorded at the ski placed flat on the support while the largest external rotation was measured with the 8 cm ski width. The largest knee abduction was recorded with the 8 cm ski and was marginally higher compared to the abduction with the 10 cm ski. Different knee joint positions such as increased abduction and rotation could potentially be linked to the increased probability of knee injuries. However this should be further validated in a real skiing environment.

Keywords: Abduction, external rotation, flexion, injury prevention, knee joint, ski width.

¹Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija

²Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije, Univerza na Primorskem, Koper, Slovenija

³Klinični inštitut za medicino dela, prometa in športa, Univerzitetni Klinični Center Ljubljana, Ljubljana, Slovenija

⁴Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenia

Uvod

Z razvojem alpskega smučanja je poleg smučarske opreme odigrala pomembno vlogo tudi sama tehnika, predvsem njeno preučevanje in obvladovanje. S samim razvojem smučanja se tudi tehnika in oprema razvijata. Da bi se zagotovila potrebna varnost pri smučanju, bi moral vsak smučar obvladati teren, na katerem smuča, se mu prilagoditi in se s pomočjo znanja in spretnosti tako izogniti morebitnim padcem in poškodbam (Batagelj, 2009). Vsak smučar potrebuje izkušnje v različnih razmerah in z uporabo različnih tehnik smučanja. To se lahko realizira samo s smučarsko prakso. Batagelj (2009) trdi, da tudi treniranim smučarjem grozi nevarnost, saj jih večina meni, da se morajo naučiti vseh tehnik za vojev, kar se lahko kaže kot pretiravanje v nepomembnih gibalnih značilnostih. Po Petroviću in soavtorjih (1987) so temeljne značilnosti sodobnega alpskega smučanja pravočasnost, natančnost, ritmičnost, mehko in hitrost. Skladno s hierarhijo elementov aktualne šole smučanja lahko o višji ravni smučarskega znanja govorimo od nadaljevalnih oblik smučanja dalje (vijuganje v širšem in vijuganje v ožjem hodniku). Te naj bi posameznik obvladal tudi v oteženih smučarskih okoliščinah (večja naklonina, poledenel sneg, neraven teren ...), pri tem je glede na njegovo smučarsko znanje in sposobnosti ter ostale pogoje pomembna tudi posameznikova hitrostna bariera (Lešnik in Žvan, 2007).

Pri razvoju smučanja, smučarske tehnike in smučarske opreme so smučiči tiste, ki sodijo med pomembnejše člene. Največja širina smučke, ki jo mednarodna smučarska zveza dovoljuje, se je v zadnjem času povečala. Posledično se lahko zaradi povečane ročice povečajo navori na kolenski sklep ali se koleno, izpostavljeno novim razmeram, prilagodi z »vsiljenimi« položaji sklepa, ki bi ob velikih silah reakcije podlage in veliki količini ponovitev pripeljali do višje verjetnosti za nastanek tako kroničnih preobremenitvenih kot tudi akutnih poškodb. Odkar se uporablja zarezno tehniko je znano, da se pojavlja več težjih poškodb kolenskega sklepa kot prej na klasičnih smučeh (Flørenes, Bere, Nordsletten, Heirin in Bahr, 2009; Veselko in Polajnar, 2008), ki so bile tudi pomembno ožje.

Cappozzo, Della Croce, Leardini in Chiari (2005) so ugotovili, da je pri alpskem smučanju najbolj izpostavljen kolenski sklep. Pri tekmovalnem smučanju pride najpo-



gosteje do poškodbe sprednje križne vezi (Krüger in Edelmann-Nusser, 2010; Cappozzo idr., 2005), pri rekreativnem notranje stranske vezi (Paletta, in Warren, 1994). Redko se poškodujeta meniskusa (Duncan, Hunter, Purnell, in Freeman, 1995; Pressman in Johnson, 2003) ter zunanja stranska vez (Kim, Endres, Johnson, Ettliger in Shealy, 2012; Paletta, in Warren, 1994). V smučarskem zavoju se v primerjavi s smučanjem naravnost prijemališče sile reakcije podlage (gledano v frontalni ravnini) premakne na bolj obremenjeni (zunanji) del noge izpod stopala navznoter pod robnik v medialni smeri (Slika 1). Širše, kot so smučiči, večji bo premik prijemališča sile reakcije podlage. Posledično je pričakovati pojav varusnega momenta goleni, kar povzroča spremembo sil in navorov, ki delujejo na kolenski sklep. Smeri delovanja sil in navorov na koleno smučarja v zavoju, pri katerem bi vsi sklepi oz. telesni segmenti ostali v relativno enakem položaju kot pri smučanju naravnost, bi verjetno bile podobne tistim pri stoji na nogi, ki je v kolenu varusno deformirana. Slednje je posebno pomembno, ker velikosti sile reakcije podlage v zavoju dosegajo pri tekmovalcih do štirikratnik njihove telesne teže. Ker vemo, da se človek navadno želi postaviti v takšne položaje, ki zmanjšujejo mišične obremenitve (Münderman, Dyrby in Andriacchi, 2005), bi se lahko zaradi spremembe ročice sile reakcije podlage v izogib posledičnih povečanih navorov kolenski sklep »avtomatsko prilagodil« z drugačno kinematiko gibanja.

Rossi, Lubowitz in Guttmann (2003) so dokazali, da prihaja pri varusni ali valgusni deformaciji kolenskega sklepa na mestu preobremenjenega hrustanca do pospešene degeneracije. Pri smučanju so dokazali vzročno povezavo med poškodbami kolena in nenadnimi dogodki, kot so izguba ravnotežja, nenadna valgusna obremenitev in nenadna rotatorna obremenitev kolena (Bere idr., 2011; Duncan idr., 1995; Järvinen, Natri, Laurila in Kannus, 1994; Pressman in Johnson, 2003; Rossi idr., 2003). Sharma idr. (2001) poročajo, da povzročajo varusne deformacije kolena pri običajnem gibanju človeka degenerativne spremembe kolenskega sklepa. Povezave med smučarskimi obremenitvami pri tekmovalnih smučarjih in degenerativnimi spremembami kolenskega sklepa zaradi vpliva varusnega momenta še niso raziskane. V zvezi s tem sklepamo, da lahko širše smučiči pod čevljem povzročajo sorazmerno višje varusne momente, ki so lahko še večji zaradi velikih sil reakcije podlage. Slednje ima lahko potencialno nevarno kinematiko gibanja kolenskega v smislu večje verjetnosti za bodisi nastanek kroničnih ali akutnih preobremenitvenih poškodb.

Meritve je na terenu razmeroma težko izvesti, zato je veliko študij narejenih na majhnem vzorcu, kot opisuje npr. Spörri (2012). Ob tem je zaradi dinamike gibanja, neravnin ipd. težko opazovati razmeroma majhne spremembe, ki se lahko potencialno zgodijo na terenu. Zato je bil cilj te pilotske študije simulirati pogoje različnih



Slika 1: Shematični prikaz prijemališča sile reakcije podlage in hipotetična smer delovanja sile reakcije podlage na ozkih (zgoraj) in širokih smučeh pod smučarskim čevljem (spodaj).

širin smuči ob kontroliranih vseh ostalih dejavnikih.

Metode dela

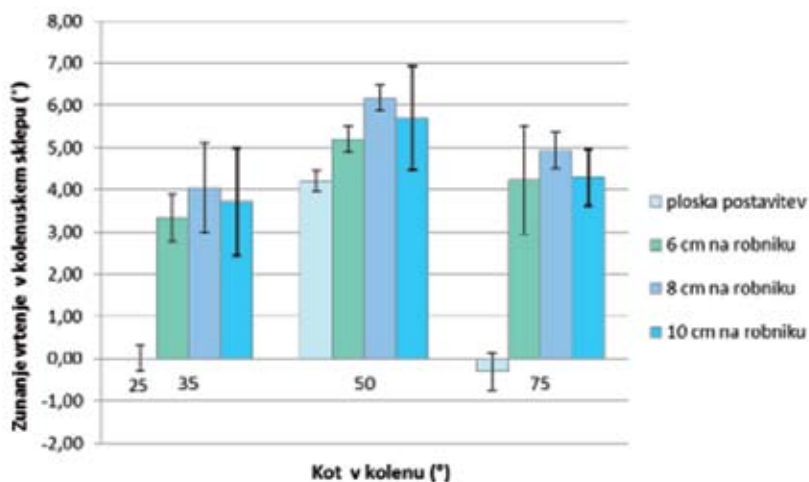
Merjenci

V študiji je prostovoljno prisostvoval fizično dobro pripravljen merjenec, star 24 let in brez predhodnih smučarskih izkušenj.

Protokol merjenja

Meritve so potekale v laboratoriju na Inštitutu Jožef Štefan v Ljubljani. Med meritvami je imel merjenec desno nogo obuto v smučarski čevlji, ki je bil vpet v smučko. Z njo je stal plosko na tleh in kasneje na posebno prirejeni testirni napravi, ki je simulirala smučanje. Ploskev testirne naprave je bila vpeta v tečaj (notranji robnik), na katerem je bilo prijemališče sile podlage. Merjenec je bil merjen v treh različnih kotih upogiba kolenskega sklepa (25°, 50° in 75°). Najprej je stal s smučjo, postavljeno plosko na tleh in izvedel vse navedene kote upogiba. Pri drugi meritvi je imel merjenec smučko postavljeno na notranji rob-

nik testirne naprave (vpet v tečaj). Pri tem smo s pomočjo posebne testirne naprave simulirali tri širine smučke pod smučarskim čevljem (6, 8 in 10 cm). Merjenec je izvedel vse tri kote upogiba kolenskega sklepa pri vsaki širini smučke posebej.



Slika 2: Prikaz zunanjega vrtenja kolenskega sklepa pri štirih kotih upogiba kolena (25, 35, 50 in 75 stopinj). Paličice ponazarjajo standardno deviacijo.

Poleg tega smo opravili tudi meritve merjenca z 20 kg bremenom v bližini težišča telesa – v višini pasu, na hrbtne strani. S tem smo simulirali vpliv radialne sile, ki se v realnosti priključuje sili teže. Tako smo ustvarili različne situacije in za vsako opravili tri meritve. Vsaka je definirana glede na 50° upogibov kolenu, težo dodatnega bremena (brez dodatnega bremena in z bremenom 20 kg) in širino smučke (6 in 10 cm).

Merilna tehnologija

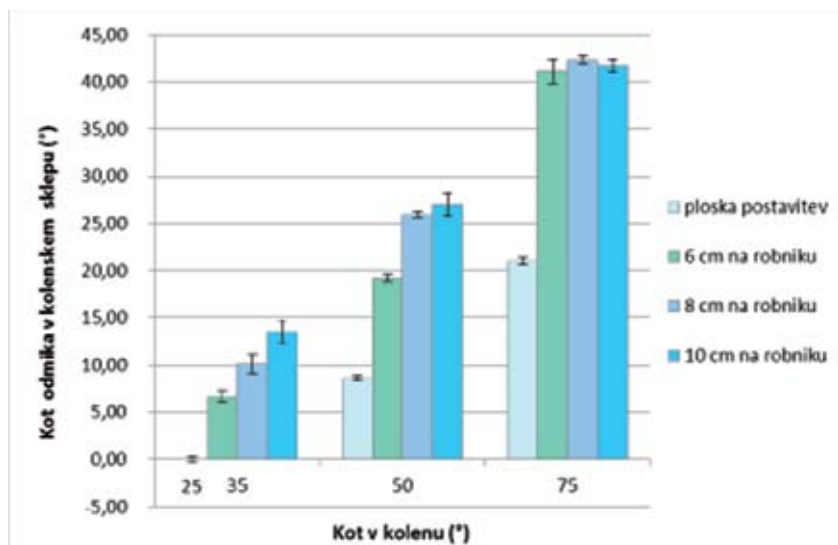
Upogib je bil zaradi kontrole položaja izračunan in prikazan merjencu v realnem času na osnovi meritev položaja z uporabo brezkontaktnega optičnega sistema za zajem gibanja (NDI Optotrak Certus Smart 3D Investigator, Northern Digital Inc., Canada). Sistem za zajem gibanja sestavljata dva sistema: sistem aktivnih markerjev, s katerimi označujemo dele telesa, in sistem kamer, ki te markerje zaznava.

Način izračuna podatkov

Po meritvah smo na osnovi šestih točk, ki so bile postavljene na lateralni del gležnja, golenico, koleno, stegno in kolk, izračunali biomehansko določene kote in standardno deviacijo upogiba, odmika/primika in zunanjega/notranjega zasuka v kolenskem sklepu. Opravljene so bile tri meritve za vsako smučko in za vsak kot posebej. Za izračun in analizo podatkov smo uporabili povprečje 6 sekundnih meritev pri frekvenca vzorčenja 10 Hz.

Statistična obdelava podatkov

Rezultate smo pridobili z izračunom povprečnih vrednosti vseh treh meritev za vsako smučko posebej. Za končni izračun in-



Slika 3: Prikaz odmika v kolenskem sklepu pri štirih kotih upogiba kolena (25, 35, 50 in 75 stopinj). Paličice ponazarjajo standardno deviacijo.

terne rotacije smo od največje povprečne vrednosti odšteli vse ostale vrednosti pri vseh širinah smučke. Za odklik v kolenskem sklepu smo od vsake vrednosti odšteli najmanjšo skupno vrednost vseh smučk. Tako pridobljene rezultate in standardne deviacije smo izrisali v stolpičastem grafikonu. Odklik v kolenskem sklepu, upogib in zunanje vrtenje kolena smo opredelili kot večje pri višjih vrednostih kota.

Rezultati

Rezultati so pokazali, da se največ zunanega vrtenja zgodi pri smučki širine 8 cm, predvsem pri kotu 50° upogiba kolena (6.17 ± 0.30) in pri smučki širine 10 cm, prav tako pri kotu upogiba 50° (5.70 ± 1.23). Večje razlike smo zaznali v primerjavi rezultatov plosko postavljenih smučk, pri kateri je bilo najmanj zunanega vrtenja, z rezultati zunanega vrtenja kolenskega sklepa ostalih smučk (6, 8 in 10 cm na robniku), kar je razvidno s Slike 2. Ker merjenec ni bil sposoben stati na robniku pri 25°, so bile nadaljnje meritve opravljene pri kotu 35° upogiba.

Slika 3 prikazuje, da se pri smučeh širine 6, 8 in 10 cm večji odkliki v kolenskem sklepu pojavijo pri kotu 75° upogiba, pri smučki širine 8 cm je ta največji.

Med kotom 25° upogiba kolena (plosko postavljena smučka) in 35° upogiba (6 cm smučka) je moč zaznati razliko 6.6° (plosko post. smučki: 0.0 ± 0.24 ; 6 cm smučki: 6.6 ± 0.92). Pri kotu 50° upogiba kolena je bil odklik v kolenskem sklepu večji pri 6 cm širo-

kih smučeh, in sicer za 10.6° (plosko post. smučki: 8.6 ± 0.25 , 6 cm smučki: 19.2 ± 0.53). Prav tako smo lahko pri kotu 75° upogiba kolena pri 6 cm širokih smučeh, zaznali za skoraj polovico večji odklik v kolenskem sklepu 20.1° (plosko post. smučki: 21.0 ± 0.63 , 6 cm smučki: 41.1 ± 0.89). Če primerjamo 6, 8 in 10 cm široke smučki, ni bilo zaznani večjih razlik, razen pri kotu upogiba 50°, kjer je bila razlika med 6 cm (19.2 ± 0.53) in 8 cm (25.9 ± 0.74) širokimi smučki nekoliko višja pri 8 cm širokih smučeh, in sicer za 6.7°. Če primerjamo 8 in 10 cm široke smučki, lahko s Slike 3 razberemo, da je velikost odmika v kolenskem sklepu podobna.

Pri povprečni vrednosti upogiba kolena je bila dejanska razlika od predvidene manjša za 1°, razen pri plosko postavljenih smučeh, kjer je znašala približno 2°.

Pri meritvah z 20 kg bremenom na hrbtni pri kotu upogiba 50° smo dobili naslednje rezultate:

- 6 cm (UPOGIB brez bremena: 49.63 ± 0.30 ; z bremenom: 50.02 ± 0.90 ; ODMIK brez bremena: 19.21 ± 0.53 ; z bremenom: 21.77 ± 0.82 ; VR滕NJE brez bremena: 5.20 ± 0.32 ; z bremenom: 6.21 ± 0.44).
- 10 cm (UPOGIB brez bremena: 50.62 ± 0.83 ; z bremenom: 49.35 ± 0.52 ; ODMIK brez bremena: 26.96 ± 1.80 ; z bremenom: 27.56 ± 2.16 ; VR滕NJE brez bremena: 5.70 ± 1.23 ; z bremenom: 7.87 ± 0.62).

Diskusija

V tej pilotni študiji smo obravnavali dva ključna kinematična parametra – odklik v kolenskem sklepu in zunanje vrtenje kolena, upogib je služil kot vhodni parameter zaradi zagotavljanja čim bolj podobnih navorov okoli medio-lateralne osi kolenskega sklepa in kinematike gibanja kolenskega sklepa.

Kinematična analiza je pokazala, da se položaj kolenskega sklepa spreminja pri različno širokih smučeh. Primerjali smo položaje pri istih vnaprej določenih kotih (35°, 50°, 75°) v navpični ravnini, ki telo prereže v smeri naprej nazaj. Ker merjenec ni bil sposoben obdržati ravnotežja pri kotu 25° (razen pri plosko postavljeni smučki), smo le tega spremenili na 35° pri vseh ostalih meritvah. To je kot, ki se ga je moral merjenec čim bolj držati. Ugotovili smo, da merjenec potiska kolenski sklep navznoter proti robniku v smeri točke, kjer se koleno sreča s podaljškom vektorja sile reakcije podlage oziroma nasprotno enako usmerjene sile teže v našem primeru – premice, ki poteka med težiščem telesa in robnikom (tečajem). Kot je pokazala raziskava, se koleno vedno premakne proti tej premici, zato bi pričakovali večji premik, kadar je bilo v izhodiščnem položaju koleno od robnika bolj odmaknjeno, torej pri širši smučki.

Primik v kolenskem sklepu (ne v smučarskem žargonu »potisk kolena navznoter«) se zgodi deloma takrat, ko povečamo kot med stegenico in golenico na notranji strani v frontalni ravnini (čelna ravnina, ki prereže telo od strani). Dodaten mehanizem je vrtenje stegenice nasproti golenici navznoter v transverzalni ravnini (prereže telo vodoravno). Biomehanske značilnosti kolenskega sklepa dopuščajo oba opisana načina gibanja samo v pokrčenem položaju sklepa, ko določene vezi popustijo (Antolič, 1995). V iztegnjenem položaju sklep deluje skoraj izključno tečajno. To je pokazal tudi položaj pri 25° upogiba, pri katerem so se pojavile težave z ravnotežjem. Koleno ni imelo možnosti pomika navznoter in kot kaže, je to zelo poslabšalo ravnotežje, zato smo kote spremenili na 35°.

Primerjava rezultatov odmika v kolenskem sklepu med plosko postavljenimi smučki in smučkami širine 6, 8 in 10 cm na robniku je pokazala večje razlike. Pri kotu 75° upogiba se pri vseh širinah smučk pojavijo največji odkliki v kolenskem sklepu, največji pa je pri smučki širine 8 cm.

Pri zunanjem vrtenju kolenskega sklepa so se pokazale večje razlike med plosko postavljenemu smučko in ostalimi smučkami (6, 8 in 10 cm na robniku). Najmanj zunanjega vrtenja kolenskega sklepa se je zgodilo pri plosko postavljeni smučki, medtem ko je bilo pri smučki 8 cm širine zaznani največ zunanjega vrtenja kolena pri vseh treh kotih upogiba kolena.

Z meritvami smo želeli preveriti tudi vpliv radialnih sil med smučanjem, ki smo jih simulirali z dodatnim bremenom. Rezultati na 6 in 10 cm smučki pri kotu upogiba kolena 50°, ki smo jih opravili z 20 kg utežmi na hrbtu, niso pokazale večjih razlik v primerjavi z meritvami brez uteži.

Florenes idr. (2009) so ugotovili, da je hitrost smučanja ključen faktor za nastanek težjih poškodb kolena, medtem ko v laboratoriju ni hitrosti. Potrebne bi bile dodatne raziskave, da bi ugotovili, kaj za obremenitev in nevarnost poškodbe znotraj sklepnih struktur pomenijo različni položaji sklepa. Rezultati raziskave bi nam med drugim lahko odgovorili na vprašanje, ali je smučanje s širšimi smučmi bolj nevarno za poškodbe kolena kot smučanje z ožjimi, kadar vključimo še faktor hitrost. Naslednja omejitve študije je, da v laboratoriju nimamo neravnin in tresljajev, ki smo jim priča med smučanjem (Supej in Miklavc, 2012). In nenazadnje bi za posploševanje rezultatov potrebovali večji vzorec merjenec, ki ga načrtujemo v bodoče.

Dobra stran te študije je, da merjenec ni imel nobenih predhodnih izkušenj iz alpskega smučanja in zato rezultati nakazujejo na splošno prilagoditev človeka pri taki zunanji motnji, kot smo jo simulirali. Ob tem so pogoji zelo ponovljivi in ne vključujejo nobenih dodatnih motenj, ki bi lahko naključno spremenile rezultate.

Na osnovi laboratorijske simulacije bi lahko pričakovali, da med smučarskim zavojem smučar poskuša postaviti koleno nad notranji robnik oziroma proti podaljšku vektorja sile reakcije podlage oziroma v laboratorijskih pogojih proti težiščnici merjenca. To nam verjetno zagotavlja dobro ravnotežje in ekonomičnost gibanja. Z opazovanjem več drugih oseb z različnim smučarskim predznanjem, ki so se na simulator sicer postavile, a jih nismo kvantitativno pomerili v študiji, smo ugotovili, da je ne glede na smučarsko predznanje tendenca postavljanja kolenskega sklepa zelo podobna. Sam pomen različnih položajev kolenskega sklepa, kot so povečano od-

mikanje v kolenskem sklepu in vrtenje (ki so pri najširših smučeh videti ekstremni in nenaravni), bi lahko povezali s potencialno verjetnostjo za poškodbo kolenskega sklepa, kar bo potrebno še raziskati. Prav tako bo potrebno ugotoviti ali naši laboratorijski pogoji dovolj dobro posnemajo dogajanje med smučanjem na snegu.

Zahvala

za sofinanciranje projekta se zahvaljujemo Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, Fundaciji za Šport, Elanu d.d., in ŠC Pohorje. Za konstruktivne pripombe ob snovanju projekta se zahvaljujemo prof. Zlatku Matjačiču in prof. Vojku Strojniku.

Literatura

1. Antolič, V. (1995). Osnove klinične biomehanike kolena. *Medicinski razgledi*, 34, 263–268.
2. Batagelj, B. (2009). *Izum smučarske tradicije: Kulturna zgodovina smučanja na Slovenskem do leta 1941*. Ljubljana: Zveza zgodovinskih društev Slovenije.
3. Bere, T., Flørenes, T. W., Krosshaug, T., Koga, H., Nordsletten, L., Irving, C. idr. (2011). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in World Cup alpine skiing: a systematic video analysis of 20 cases. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(7), 1421–9.
4. Cappelzo, A., Della Croce, U., Leardini, A. in Chiari, L. (2005). Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 1: theoretical background. *Gait Posture*, 21(2), 186–196.
5. Duncan, J. B., Hunter, R., Purnell, M. in Freeman J. (1995). Meniscal injuries associated with acute anterior cruciate ligament tears in alpine skiers. *The American Journal of Sports Medicine*, 23(2), 170–2.
6. Flørenes, T. W., Bere, T., Nordsletten, L., Heir, S. in Bahr, R. (2009). Injuries among male and female World Cup alpine skiers. *British Journal of Sports Medicine*, 43(13), 973–8.
7. Hoffman, J. S. (2009). *Introduction to kinesiology: Studying Physical Activity*, 3th ed. United: Human Kinetics.
8. Järvinen, M., Natri, A., Laurila, S. in Kannus, P. (1994). Mechanisms of anterior cruciate ligament ruptures in skiing. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 2(4), 224–8.
9. Kemmler, J. in Vorderwülbecke, M. (1979). *Smučanje*. Enciklopedični priročnik. Ljubljana: Cankarjeva založba.
10. Kim, S., Endres, N. K., Johnson, R. J., Ettlinger, C. F. in Shealy, J. E. (2012). Snowboarding injuries: trends over time and comparisons with

alpine skiing injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(4), 770–6.

11. Krüger, A. in Edelmann-Nusser, J. (2010). Application of a full body inertial measurement system in alpine skiing: A Comparison With an Optical Video Based System. *Journal of Applied Biomechanics*, 26(4), 516–521.
12. Lešnik, B. in Žvan, M. (2007). *Naše smučine: Teorija in metodika alpskega smučanja*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
13. Supej, M. in Miklavc, M. (2012). Vibracije med različnimi oblikami tehnike alpskega smučanja: študija primera. *Šport: Revija za teoretična in praktična vprašanja športa*, 3(4), 107–113.
14. Münderman, A., Dyrby, O. C. in Andriacchi, P. T. (2005). Secondary Gait Changes in Patients With Medial Compartment Knee Osteoarthritis. *Arthritis & Rheumatism*, 52(9), 2835–2844.
15. Paletta, G. A. in Warren, R. F. (1994). Knee injuries and Alpine skiing. Treatment and rehabilitation. *Sports Medicine*, 17(6), 411–23.
16. Petrovič, K., Behelar, I., Petrovič, R., Kaše, E. in Žnidaršič, J. (1987). *Po Rokovih smučinah: alpsko smučanje: tehnika in metodika*. Sarajevo: Agencija za tržišne komunikacije.
17. Pressman, M. D. in Johnson, D. H. (2003). A review of ski injuries resulting in combined injury to the anterior cruciate ligament and medial collateral ligaments. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 19(2), 194–202.
18. Rossi, M. J., Lubowitz, J. H. in Guttman, D. (2003). Thesker's knee. *The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 19(1), 75–84.
19. Sharma, L., Song, J., Felson, T. D., Cahue, S., Shamiveh, E. in Dunlop, D. D. (2001). The Role of Knee Alignment in Disease Progression and Functional Decline in Knee Osteoarthritis. *JAMA*, 286(2), 188–195.
20. Spörri, J., Kröll, J., Schwameder, H., Schiefmüller, C. in Müller, E. (2012). Course setting and selected biomechanical variables related to injury risk in alpine ski racing: an explorative case study. *British Journal of Sports Medicine*, 46(15), 1072–1077.
21. Veselko, M. in Polajnar, J. (2008). Nove tehnike smučanja – nove poškodbe? Analiza smučarskih poškodb v letih 2004 in 2005. *Zdrav Vestn*, 77, 499–504.
22. Winter, A. D. (2005). *Biomechanics and motor control of human movement*, 3th ed. United States: John Wiley & Sons Inc.

Lili Milanković

Univerza na Primorskem,

Fakulteta za Matematiko, Naravoslovje

in Informacijske Tehnologije, Koper

E-pošta: lili.milankovic@gmail.com