

Strokovni prispevek/Professional article

## VTISNI ZLOM GOLENIČNE GRČE – TIPIČNA POŠKODBA ZAREZNEGA SMUČANJA

IMPRESSION FRACTURE OF THE TIBIAL CONDYLES – TYPICAL CARVING SKI  
INJURY

*Matjaž Veselko,<sup>1</sup> Janez Polajnar,<sup>2</sup> Roman Trobec<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Klinični oddelek za travmatologijo, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Zaloška 7, 1525 Ljubljana

<sup>2</sup> Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana

<sup>3</sup> Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana

### Izvleček

- Izhodišča** *Vtisni zlomi golenične grče pri nenadnem odklonu smuči so zadnja leta razmeroma pogosta smučarska poškodba. Namen prispevka je ugotoviti možno povezavo teh poškodb s smučmi s poudarjenim stranskim lokom.*
- Metode** *Vtisne zlome golenične grče zaradi smučanja, obravnavane v letih 2004 in 2005, smo analizirali glede na mehanizem in tip poškodovanja. Mehanizem poškodovanja smo poskušali pojasniti z matematičnim modelom.*
- Rezultati** *Zaradi zloma zgornjega dela golenice je bilo obravnavanih 48 poškodovancev. 18 je bilo vtisnih zlomov golenične grče, od tega 13 (72,2 %) zlomov zunanje ter 5 (27,8 %) notranje. Mehanizem je bil pri zlomih notranje grče nenaden odklon smučke navznoter, zunanje grče pa navzven. Matematični model vpliva zarezne tehnike smučanja na tip poškodbe kolena je pokazal, da je sila, ki se preko smučke prenese na spodnji ud, odvisna od hitrosti in polmera zavoja, ki ga določa stranski lok smuči. Ta sila pa se lahko izrazito poveča zaradi dodatnega zmanjšanja polmera, ko se smučka v dolini grbine v kratkem času za hip dodatno ukrievi.*
- Zaključki** *V članku z matematičnim modelom pojasnjujemo večkratno povečanje sile na koleno zaradi nenadnega zmanjšanja polmera zavoja, npr. pri nenadnem odklonu smuči, kar povzroči vtisni zlom sklepne površine golenice. Tak mehanizem je tipičen za smuči s poudarjenim stranskim lokom.*

**Ključne besede** *smučanje; zarezna tehnika; vtisni zlomi; golenica*

### Abstract

- Background** *Depression fractures of the tibial condyles due to sudden turn of one ski are more frequent ski injury than it used to be. There seems to be a correlation between this injury and carving skies.*
- Methods** *All depression fractures of the tibial condyles due to skiing injuries during 2004 and 2005, have been analysed with regard to mechanism of injury and fracture type. To explain the mechanism of injury due to sudden turn of ski with carved edges, mathematical model was used.*

### Avtor za dopisovanje / Corresponding author:

Izredni prof. dr. Matjaž Veselko, dr. med. KO za travmatologijo, Univerzitetni klinični center Ljubljana, tel. 01 / 522 23 45, Zaloška 7, 1525 Ljubljana, e-mail: matjaz.veselko@kclj.si

Results	<i>48 patients were treated for fracture of the proximal tibia. 18 of these were depression fractures of a tibial condyle, 13 lateral and 5 medial. All skiers skied on skies with carved edges. Mechanism of injury was in all cases of fracture of the medial condyle sudden turn of the ski inwards and in lateral condyle, outwards. Mathematical model of the influence of carving on the knee injury type has shown that force transmitted to lower limb is dependant on velocity and on the radius of the curvature at ski turn, and this is determined by the radius of the curvature of the edge of the ski. This force can be multiplied by additional decrease of the radius due to instant additional bowing of skies, for instance when running into a sharp depression.</i>
Conclusions	<i>In this paper we present typical mechanism of the fracture of the tibial condyle, due to sudden turn of the ski with carved edges. Mathematical model explains how the force transmitted to the knee multiplies due to sudden decrease of the carved turn radius, or due to sudden additional bowing of skies.</i>
<b>Key words</b>	<i>skiing; carving; impression fractures; tibial condyle</i>

## Uvod

Analiza poškodb smučarjev, oskrbljenih na KO za travmatologijo v Ljubljani v letih 2004 in 2005, je pokazala drugačno razporeditev in vrsto smučarskih poškodb kot pri prejšnjih študijah, kar so avtorji pripisali spremenjeni tehnologiji in tehniki smučanja. Nekatere nove poškodbe so najverjetneje povezane z novo obliko smučí, s smučími s podarjenimi stranskimi loki (smučí »karving«). Med drugim so ugotovili razmeroma veliko število zlomov zunanje ali notranje golenične grče, česar prej niso opažali.<sup>1</sup>

Z natančnejšo analizo zlomov goleničnih grč so avtorji želeli ugotoviti mehanizem te poškodbe. Možno povezavo poškodbe s smučími s poudarjenimi stranskimi loki<sup>2</sup> poskušamo razložiti z matematičnim modelom.

## Metode

Pregledali smo medicinsko dokumentacijo poškodovancev, obravnavanih zaradi smučarskih poškodb na KO za travmatologijo v Ljubljani v letih 2004 in 2005. Iz vseh poškodb smo najprej izbrali vse zlome zgornjega dela golenice in jih pregledali glede na tip zloma. V analizi smo upoštevali vtisne zlome goleničnih grč, notranje ali zunanje. Iz anamneze, zabeležene v sprejemnem dokumentu in z usmerjenim povpraševanjem po telefonu v času študije, smo pridobili podatke o mehanizmu poškodovanja.

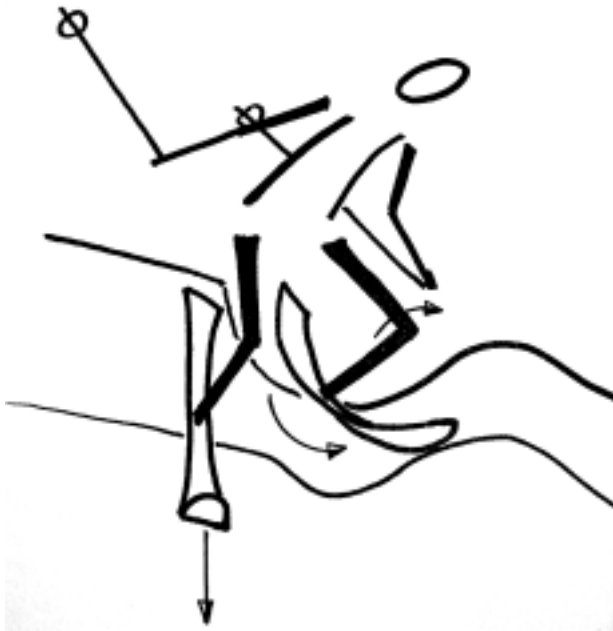
## Rezultati

Zaradi zloma zgornjega dela golenice pri smučanju je bilo leta 2004 in 2005 na KO za travmatologijo v Ljubljani obravnavanih 48 poškodovancev (0,008 % vseh smučarskih poškodb, 3,1 % vseh sprejetih na kliniko, oziroma 19 % vseh zlomov goleni), 33 od teh je bilo operiranih. Trije od operiranih so bili večdelni zlomi zgornjega dela goleni, 1 zlom obeh kondilov golenice brez vtisnine (41-C1 po AO klasifikaciji), 11 je bilo avulzijskih zlomov sprednje križne vezi (interkondilične eminence, 41-A1) in 18 je bilo vtisnih zlo-

mov ene od goleničnih grč. V zadnjo skupino smo uvrstili vse zlome tipa B in C po klasifikaciji AO z vtisnino (depresijo) odlomka golenične grče. 17 zlomov je bilo tipa 41-B2/B3 in eden tipa 41-C2/C3); od teh 13 (72,2 %) zlomov zunanje in 5 (27,8 %) zlomov notranje grče.

Pri 6 poškodovancev je bil mehanizem poškodovanja natančno opisan v anamnezi. Vse ostale (12 poškodovancev) smo anketirali po telefonu v času študije. Šest poškodovancev se je mehanizma poškodbe natančno spominjalo, šest poškodovancev pa se mehanizma povsem natančno ni spominjalo. Usmerjeno povpraševanje poškodovancev z vtisnim zlomom golenične grče je razkrilo naslednje mehanizme poškodbe:

1. Nenaden odklon smučke navzven pri razmeroma nizkih hitrostih na položnih delih smučišča pri spuštu naravnost (6 poškodovancev; pet jih dopušča to možnost, mehanizma pa niso znali opisati). V vseh primerih so utrpeli vtisni zlom zunanje grče golenice.
2. Nenaden odklon smučke navznoter pri razmeroma nizkih hitrostih na položnih delih smučišč. V enem primeru je smučar zapeljal v luknjo, da mu je smučko upognilo. Teh 5 poškodovancev je utrpelo zlom notranje grče golenice.
3. Nenaden odklon smučke pri zarezem smučanju (pri pravilnem vodenju smučí), pri čemer je ena smučka peljala po gladkem, z drugo (notranjo glede na radij zavoja) pa je zapeljal v odor teptalca snega oziroma grbino, pri čemer mu je smučko odklonilo navzven. Tako sta se poškodovala dva poškodovanca, ki sta utrpela vtisni zlom zunanje grče golenice (Sl. 1).
4. Nenaden odklon smučke pri zarezem smučanju (pri pravilnem vodenju smučí), pri čemer ena smučka zapelje po gladkem, druga (zunanja glede na polmer zavoja) pa zapelje v grbino in jo odkloni navznoter po notranjem robu smučke. Takega mehanizma ni opisal nihče od poškodovanih, morda jo je utrpel smučar (naveden pod točko 2), ki je zapeljal v luknjo in utrpel zlom notranje grče golenice (Sl. 2).



Sl. 1. Nenadni odklon smučke navzven zaradi zmanjšanja radija zavoja v dolini grbine.

Figure 1. Sudden turn of the ski outwards, due to decrease of the radius of the curvature in depression in the snow surface.



Sl. 2. Nenadni odklon smučke navznoter zaradi zmanjšanja radija zavoja v dolini grbine.

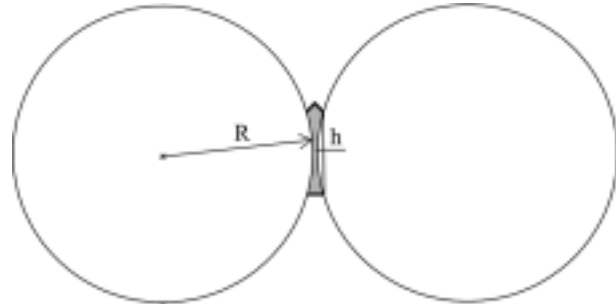
Figure 2. Sudden turn of the ski inwards, due to decrease of the radius of the curvature in depression in the snow surface.

## Matematični model sil

S preprostim modelom sil želimo pojasniti, kako lahko zaradi smučí s poudarjenimi stranskimi loki pride do hude poškodbe kolena tudi pri navidez majhnih ali zmernih hitrostih.

Današnje smučí imajo izrazito izrezan stranski rob v obliki dela krožnice s polmerom  $R$ . Če si zamišljamo, da smučko postavimo na ravno podlago, jo nagnemo za 45 stopinj in jo obremenimo s silo pravokotno na

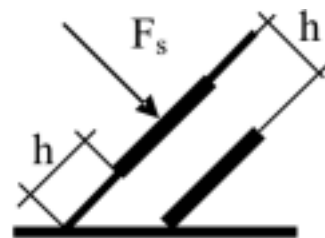
smučko, se bo le-ta zaradi svojega izrezanega roba skrivila. Upoštevajmo še, da ne bo drsela po podlagi; potem se bo njena ukrivljenost prilagodila krožnici s polmerom  $R$ . Če bo pritisk na smučko stalen, si bo zarezala krožno pot v podlago, katere polmer bo približno enak polmeru  $R$ , s katerim je označena smučka (Sl. 3).



Sl. 3. Smučka karving (siva) s polmerom  $R$  in stranskim izrezom  $h$  z dvema možnostima za njeno krožno pot na ravni podlagi. Izbira poti bo odvisna od smeri nagiba smučí.

Figure 3. Carving ski (grey) with the  $R$  radius and  $h$  side-cut with two possible curved paths on a flat surface. The final path will be determined by ski inclination.

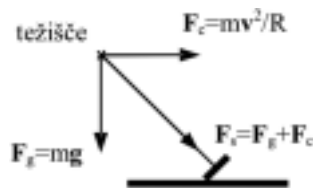
Poglejmo, zakaj se smučí ukrivijo po stranskem robu. Sila  $F_s$ , ki deluje na smučko, je usmerjena preko smučarskega čevlja in vezi pravokotno na površino smučí. Če je sila večja od prožnostne sile smučí, ki je odvisna od trdote smučí, se smučka popolnoma upogne in nasloni na snežno podlago. Razmere pri smučki, nagnjeni za 45 stopinj so prikazane na Sliki 4. Vidimo, da se smučka upogne za  $h$ , toliko, kolikor ji določa stranski lok. Če se nagib smučí proti podlagi poveča, se polmer zavoja še zmanjša.



Sl. 4. Upogib smučke, nagnjene za 45 stopinj, na ravni podlagi.

Figure 4. Bending of a ski, which is inclined for 45 degrees on a flat surface.

Poskušajmo enostavno ponazoriti razmerja sil v času zareznega zavoja s polmerom  $R$ , ko je smučar nagnjen za 45 stopinj in vozi s hitrostjo  $v$ . Da bo razmislek enostavnejši, upoštevajmo, da vozimo samo z eno smučko s poudarjenim lokom. Zamislimo si, da je celotna smučarjeva masa  $m$  združena v eni točki - težišču. Pomembnejše sile, ki jih občuti smučar, so prikazane na Sliki 5.

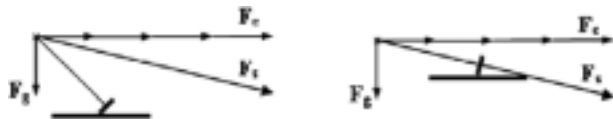


Sl. 5. Sile med zareznim zavojem pri uravnoteženem položaju smučarja, ko je nagnjen za 45 stopinj. Smučka in podlaga sta prikazani z odebeljeno črto.

Figure 5. Forces during a carving turn with equilibrated position of a skier, inclined for 45 degrees. The ski and the flat surface are shown with bolded lines.

Sila teže  $F_g$  deluje navpično proti podlagi, centrifugalna sila  $F_c$  pa deluje vzporedno s podlago in navzven glede na smer vožnje. Celotna sila na smučko  $F_s$  je vsota obeh sil in je tem večja, čim večja sta masa in hitrost smučarja in čim manjši je polmer zavoja. V zareznem zavoju s polmerom 12 m in hitrostjo smučanja okrog 40 km/h bo centrifugalna sila približno enaka sili teže. Pri nagibu 45 stopinj bo smučar v stabilnem položaju. V nogah bo čutil skupno silo, ki bo za 40 % večja, kot če bi samo stal na ravni podlagi.

V idealnem primeru ima sila na smučko pravokotno smer na nagnjeno smučko, tako da sta obe sili uravnoteženi. Vpliv ene ali druge sile na silo na smučko je odvisen od nagiba smučarja. Če bi bil npr. nagib manjši od 45 stopinj, bi pomembneje vplivala teža smučarja, pri bolj pokončni vožnji pa bi postala pomembnejša centrifugalna sila. Ker mase smučarja ne moremo spremeniti in tudi za polmer zavoja za sedaj upoštevamo, da je konstanten, se lahko spreminjata le hitrost smučanja in nagib smučarja. Preverimo, ali naš model deluje. Zamislimo si, da smo povečali hitrost, zato pa se je povečala centrifugalna sila. Če se hitrost poveča za dvakrat, se bo centrifugalna sila povečala za štirikrat! Tudi skupna sila na smučko se bo povečala za več kot štirikrat. Občutek bi bil podoben, kot če bi stali na trdni podlagi in na ramenih nosili breme, ki je trikrat težje od naše lastne teže! Če hočemo zagotoviti, da bo sila na smučko v pravilni smeri, je treba povečati nagib na približno 76 stopinj in s tem kompenzirati vpliv povečane centrifugalne sile. Za podvojeno hitrost so razmere prikazane na Sliki 6.



Sl. 6. Sile med zareznim zavojem pri podvojeni hitrosti (levo) in ponovna vzpostavitev uravnoteženega položaja s povečanjem nagiba (desno).

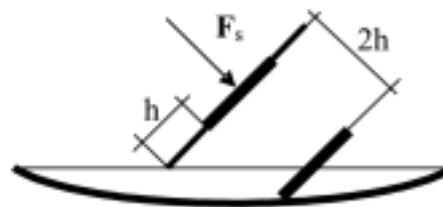
Figure 6. Forces during the carving turn with doubled speed (left) and after equilibrating the skier position with increased inclination (right).

Torej lahko sklepamo, da naš preprosti matematični model deluje. Pri večjih hitrostih nastopajo večje centrifugalne sile, ki jih moramo kompenzirati z večjim

nagibom. Sled zareznega zavoja na ravni podlagi s smučmi z radijem 12 m je prikazana na Sliki 8 (zunarnji zavoj).

Ker se sila na smučko prenaša preko stegenjskih mišic, kolena in meč, je jasno, da je vse našeto bolj obremenjeno pri večjih hitrostih in nagibih. Večja masa smučarja tudi pomeni večjo silo, toda če je smučar dobro pripravljen, ima tudi več mišic, ki bodo prevzele večjo silo.

Do sedaj smo upoštevali, da se hitrosti smučanja v času zavoja ne spreminjajo, zato so bile tudi vse sile v zavoju vseskozi enake. Kaj pa se zgodi v primeru, če se nenadoma spremeni polmer zareznega zavoja? Na ravni podlagi to seveda ni mogoče; kaj pa na nenadni neravnini? Zamislimo si, da smučamo na grbinastem terenu. Zarezni zavoj s polmerom  $R$  začnemo na ravnini, nato pa ga nadaljujemo v dolino, ki ima obliko polkrogle, spet s polmerom  $R$ . Ukrivljenost podlage dopušča, da se smučka nenadoma še bolj skrivi in s tem zmanjša polmer zavoja na približno polovico. Razmere so prikazane na Sliki 7. Vidimo, da se smučka upogne do podlage, ki je bolj oddaljena, kot bi bila ravna podlaga, zato se bolj ukrivi.

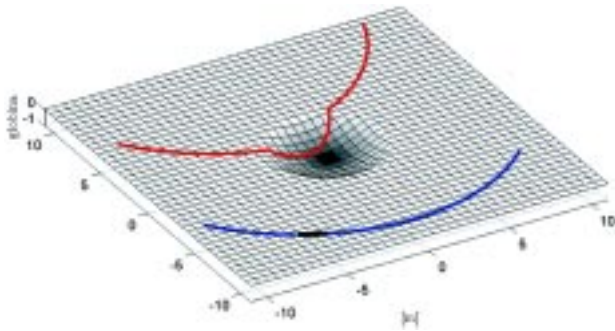


Sl. 7. Upogib smučke, nagnjene za 45 stopinj, v dolini polokrogle oblike.

Figure 7. Bending of a ski, which is inclined for 45 degrees in a spherical depression.

Zaradi spremembe polmera zavoja v dolini se kljub enaki hitrosti centrifugalna sila nenadoma poveča – v opisanem primeru približno za dvakrat. Če je polmer doline še manjši, npr. 6 m, se centrifugalna sila poveča sorazmerno z zmanjšanim polmerom zavoja za približno trikrat. Sled zareznega zavoja čez dolino s premerom 6 m je prikazana na Sliki 8 (notranji zavoj). Hitrost spremembe je odvisna od hitrosti smučanja in dolžine smuč. Pri krajših smučkah je hitrost spremembe bolj nenadna. Če bi bila hitrost smučanja 40 km/h, bi celotna smučka dolžine 1,6 m prišla v dolino v 0,14 sekunde. V tem kratkem času se je centrifugalna sila na smučarski sledi čez dolino povečala za trikrat. To hitro spremembo občutijo kosti, sklepni hrustanec, mišice in kolenske vezi. Ker je v tako kratkem času težko spremeniti nagib, pride smučar v nestabilen položaj, kar do neke mere onemogoči ustrezno podporo, ki bi jo lahko nudile mišice ter nenadno spremeni razporeditev sil v sklepih.

Če povzamemo, lahko pri zareznem smučanju pričakujemo v glavnem dva različna načina vpliva podlage na smučarja. Pri povečanih hitrostih smučanja v zavoju na ravnih podlagah se bo izrazito povečala centrifugalna sila (s kvadratom hitrosti – pri dvojni hitrosti čutimo četverno silo), ki jo bo treba kompen-



Sl. 8. Sled zareznega zavoja na ravni podlagi s smučmi s premerom 12 m (zunanja sled). Črni odsek označuje dejansko dolžino smučī. Sled zareznega zavoja z enakimi smučmi skozi dolino globine 1 m in polmerom 6 m (notranja sled). Radij zavoja se je v dolini zmanjšal za trikrat, na 4,1 m in za prav toliko se je povečala tudi centrifugalna sila.

Figure 8. Carving turn on a flat surface with ski radius 12 m (outer path); black section of the path denotes the actual ski length. Carving turn with the same ski in a 1 m deep depression with 6 m radius (inner path). The carving turn radius decreases in the depression for three times, to 4.1 m, while the centrifugal force increases for the same amount.

zirati s povečanim nagibom. Pri smučanju čez grbine pa se bo centrifugalna sila lahko nenadoma povečala sorazmerno z zmanjšanjem polmera zareznega zavoja, ki ga bo povzročila dolina na grbinastem terenu. Novi polmer zavoja v dolini bo malo manjši od polmera doline, ki je mnogokrat bistveno manjši kot radij smučī!

## Razpravljanje

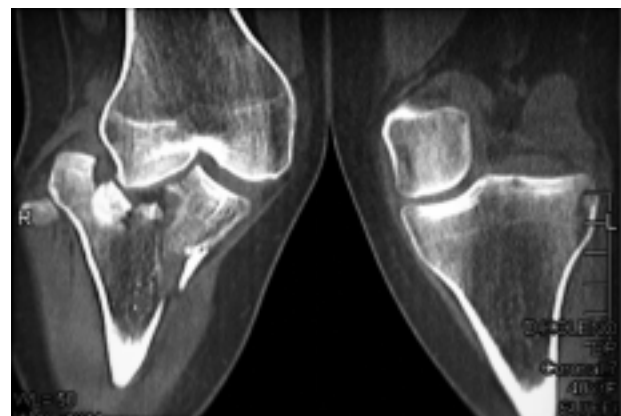
Analiza smučarskih zlomov zunanega ali notranjega zloma kondila tibije je pokazala, da je vsaj pri 13 od 18 poškodovancev (72 %), morda pa tudi pri ostalih, ki se mehanizma poškodbe niso natančno zavedali, prišlo do poškodbe zaradi nenadnega ostrega zavoja smučī s poudarjenim stranskim lokom. Naš model sil pri zareznem zavoju kaže, da se sila, ki deluje na koleno, povečuje s kvadratom spremembe hitrosti smučanja (ne sunkovito) in sorazmerno s spremembo radija zavoja (lahko zelo hitro in sunkovito). V obeh primerih se sila lahko poveča tudi za štirikrat in več. Vezi kolena in kostno tkivo se tem silam upirajo glede na svoje mehanske lastnosti, ki jih določa diagram napetosti v odvisnosti od deformacije (stress/strain). Pomembne vrednosti, ki jih lahko odčitamo s tega diagrama, so: največja napetost, ki jo tkivo lahko prenese pred odpovedjo (porušitvijo, zlomom ali pretrganjem), največja deformacija pred odpovedjo in količina energije, ki jo lahko vsrka tkivo, preden se vda (odpove). Velikost deformacije ni odvisna le od velikosti sile, ki deluje na tkivo, temveč tudi od hitrosti povečanja sile.<sup>3</sup>

Glavni sestavini kosti sta kolagen in hidroksiapatit. Kolagenska vlakna imajo nizek modul elastičnosti (razmerje med deformacijo in potrebno napetostjo),

zato se odzivajo na obremenitev z dobro natezno trdnostjo, slabo pa so odporna na tlačne sile. Nasprotno je kalcijev fosfat čvrst, krhek in odporen na tlačne sile. Zaradi teh lastnosti kolagena in kalcijevega fosfata se lahko kost upira nateznim, tlačnim in strižnim obremenitvam. Mišice dodatno vplivajo na biomehaniko kosti, tako da npr. s kontrakcijo zmanjšajo ali celo izničijo natezne obremenitve. Trdnost kosti je odvisna od gostote, oblike, smeri sile in hitrosti delovanja sile. Če sila na kost deluje v zelo kratkem času (nenadna sprememba), se le-ta odzove z večjo trdnostjo. To pomeni, da lahko vzdrži večjo napetost in vsrka več energije, preden se vda. Spongiozna kost ima le 5-10 % trdnosti kompaktne kosti, se pa lahko celo do 5-krat bolj deformira kot kompaktna kost, torej lahko sprejme 5-krat več energije kot kompaktna kost, preden se vda. Ko pa odpove, pride do velike deformacije.<sup>4</sup>

Iz navedenega sledi, da pri nenadnih povečanjih sil, ki nastanejo pri smučanju z zareznimi zavoji čez doline, lahko pričakujemo zlome z veliko deformacijo in kominucijo.

Teoretična pričakovanja, ki sledijo iz matematičnega modela, potrjujejo rezultati pregleda poškodovanih smučarjev z zlomom ene od goleničnih grč. Kažejo, da je najpogostejši mehanizem zloma zunanje grče pa nenaden odklon smeri smučke navzven, notranje grče pa nenaden odklon smučke navznoter. Pri tem so tipično nastale velike deformacije, najpogosteje v smislu globokega vtisnjenja sklepne površine. Dva smučarja sta natančno opisala, da je do nenadnega odklona smučke prišlo v trenutku, ko sta zapeljala v odor teptalca snega oziroma v grbino, zaradi česar je prišlo do nenadnega zmanjšanja polmera smučke. Oba



Sl. 9. Vtisni zlom lateralnega kondila golenice z veliko deformacijo in kominucijo, poka sega tudi v medialni kondil (41-C1 po klasifikaciji AO). Položaj stegnenične grče v depresiji golenične grče odgovarja položaju v trenutku zloma in nazorno prikazuje mehanizem poškodovanja.

Figure 9. Impression fracture of the lateral tibial plateau with gross depression and comminution, fracture extending into medial condyle. The position of the lateral femoral condyle in the depression of the tibial condyle reflects the situation in the moment of fracture and clearly suggests the mechanism of injury.

sta povedala, da sta poškodbo kolena začutila v trenutku zasuka goleni in ne šele kasneje, ob padcu. Torej je najverjetneje povzročilo vtisni zlom z veliko deformacijo, kakor je razvidno na Sliki 9, večkratno povečanje sile v zelo kratkem času zaradi nenadnega zmanjšanja polmera zavoja, kakor smo simulirali v matematičnem modelu.

## Zaključki

Eden od možnih mehanizmov vtisnega zloma zunanje ali notranje golenične grče je lahko nenadno hitro zmanjšanje polmera zavoja zaradi povečane ukrivljenosti smučke v dolini grbinastega terena, pri čemer se v zelo kratkem času večkrat povečajo sile, ki delu-

jejo na zunanjo (pri odklonu smučke navzven) ali notranjo (pri odklonu smučke navznoter) grčo golenice. Ta mehanizem je tipičen za smučič s poudarjenimi stranskimi loki.

## Literatura

1. Veselko M, Polajnar J. Nove tehnike smučanja - nove poškodbe? Analiza smučarskih poškodb v letih 2004 in 2005. *Zdrav Vestn*, 2008; 77: 499-504.
2. Guček A, Videmšek D. Smučanje danes. Ljubljana: Združenje učiteljev in trenerjev smučanja Slovenije; 2002.
3. Cornwall MW. Biomechanics of noncontractile tissue. A review. *Physical Therapy* 1984; 64: 1869-73.
4. Nordin M, Frankel VH. Biomechanics of whole bones and bone tissue. In: Frankel VH, Nordin M, eds. *Basic biomechanics of the skeletal system*. Philadelphia: Lea&Febiger; 1980. p. 15-59.

---

Prispelo 2008-02-05, sprejeto 2008-07-11