

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

DIPLOMSKO DELO

KATJA KOLMAN

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA ŠPORT

Športno treniranje

Alpsko smučanje

VPLIV ŠIRINE SMUČI NA KINEMATIKO KOLENSKEGA SKLEPA PRI ALPSKEM SMUČANJU

DIPLOMSKO DELO

MENTOR

izr. prof. dr. Matej Supej

SOMENTOR

izr. prof. dr. Blaž Lešnik

RECENZENT

prof. dr. Milan Žvan

Avtorica dela

KATJA KOLMAN

Ljubljana, 2015

Zahvala

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Mateju Supeju za strokovno pomoč in koristne nasvete pri nastajanju dela, predvsem pa spoznanje, da je fizika v športu še kako zanimiva.

Hvala izr. prof. dr. Blažu Lešniku za nasvete v času študija ter prof. dr. Milanu Žvanu za pregled diplomskega dela.

Posebej se zahvaljujem moji družini za potrpežljivost, finančno podporo in razumevanje. Zaradi Vas je bilo vredno vztrajati!

In nenazadnje zahvala tudi vsem vam, ki ste mi v času študija in pri ustvarjanju diplome znali na svoj način pomagati. Hvala.

Ključne besede: kinematika, kolenski sklep, odmik, upogib, rotacija, širina smuči.

VPLIV ŠIRINE SMUČI NA KINEMATIKO KOLENSKEGA SKLEPA PRI ALPSKEM SMUČANJU

Katja Kolman

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, 2015

Športna vzgoja, alpsko smučanje

Število strani: 61, število tabel: 1, število slik: 31, število virov: 34

IZVLEČEK

Tehnologija na splošno sledi vedno novim trendom in porabnikom ponuja različne izdelke, pri tem pa jih poskuša kar najbolje zadovoljiti. Tako tudi »smučarska industrija« ni izjema. Velik preskok na področju alpskega smučanja je pojav smuči s poudarjenim stranskim lokom, da pa bi šli še dlje, so se inženirji »poigrali« z merami smuči in izdelali široke smuči – smuči za prosti slog. V diplomskem delu smo se osredotočili predvsem na kinematiko v kolenskem sklepu, ki se pojavi na širokih smučeh in naredili primerjavo s kinematiko kolena na ozkih smučeh. Želeli smo ugotoviti, kakšne so razlike med posameznimi gibi v kotih kolena na različno širokih smučeh, in sicer na trdi snežni podlagi.

Podatki so bili izmerjeni s pomočjo MVN inercialne obleke, ki služi za merjenje relativnega gibanja segmentov in GNSS sistema, ki določa globalno lego smučarja (Supej, 2011). Sodelovali so štiri učitelji smučanja, da so bile vožnje kar najbolj zanesljivo izpeljane. Smučarji so pod smučarski kombinezon oblekli MVN obleko in GNSS sprejemnik in odpeljali progo, postavljeno iz 12-ih vratc. Vozili so na ozkih smučeh (65 mm) in širokih smučeh (110 mm), oboje so imele radij zavoja 21,4 m.

Podatki so bili obdelani v programskem okolju Matlab in v programu Microsoft Excel. Analiza rezultatov je pokazala statistično značilen večji odmik kolenskega sklepa na ozkih smučeh v primerjavi s širokimi. Notranja rotacija se na ozkih in širokih smučeh povečuje, vendar je na ozkih smučeh za nekaj stopinj večja. Upogib kolena pa je večji na ozkih smučeh kot na širokih. Dobljene rezultate pripisujemo anatomske zgradbi kolenskega sklepa in njegovim možnim dodatnim gibom, ki se pri smučanju pojavljajo zaradi premika prijemališča sile reakcije podlage. Slednja se namreč na širših smučeh v zavoju premakne medialno. Doslej še ni bilo narejenih raziskav na temo, kako lahko potencialno uporaba širših smuči negativno vpliva na obremenitev kolenskega sklepa, čeprav rezultati nakazujejo na povečano verjetnost za poškodbe

ravno zaradi potencialno večjih varusnih navorov na kolenski sklep. Za potrditev slednjega, bi bilo potrebno izvesti nadaljnje raziskave.

Key words: kinematics, knee joint, abduction, flexion, rotation, skis width.

INFLUENCE OF SKIS' WIDTH ON KINEMATICS OF KNEE JOINT IN ALPINE SKIING

Katja Kolman

University of Ljubljana, Faculty of Sport, 2015

Sport coaching, Alpine skiing

Pages: 61, tables: 1, images: 31, sources: 34

ABSTRACT

In general technology always follows new trends and offers users different products in order to satisfy them as much as possible. Ski industry is no exception. In the field of alpine skiing a great phenomenon is occurrence of accented sidecut skis. To do something more ski engineers have played with measures of skis and produced wide skis – skis for freestyle. The diploma thesis focuses on kinematics in knee joint which occurs on wide skis. Furthermore, comparison was made with kinematics of knee joint on narrow skis. We wanted to find out the differences between individual moves in knee angles on skis with various widths, especially on hard snow cover.

The data were measured by use of MVN suit which serves as an instrument to measure relative movements of segments and the GNSS system which determines the global position of a skier (Supej, 2011). 4 ski instructors took part in the research in order to get as reliable runs as possible. Under their jumpsuits they had a MVN suit and a GNSS receiver and went down the ski course with 12 gates. They had narrow skis (65mm) and wide skis (110mm), whereas the turn radius was always 21.4m.

The data were processed in Matlab programme environment and in the programme Microsoft Excel. The analysis shows a statistically significant deviation of knee joint on narrow in comparison to wide skis. The inner rotation on the skis, narrow and wide ones, has been increasing, but it is a few degrees higher on narrow skis. Another difference is that the knee bends more on narrow than on wide skis. The results gained are attributable to the anatomic construction of knee joint and its possible extra moves that appear in skiing because of reactions to the surface. While on wide skis the surface moves medially in the bend. No researches have been done so far on how a potential use of wide skis has negative effects on knee joint burden so this thesis can be an important contribution to further researches.

KAZALO

1	UVOD.....	9
1.1	RAZVOJ SMUČARSKE OPREME.....	9
1.1.1	Značilnosti današnjih smuči.....	10
1.2	TEHNIKA SMUČANJA.....	15
1.2.1	Razbremenjevanje in obremenjevanje (pregled skozi tehnike smučanja – gibanje v smislu iztegovanja in upogibanja).....	15
1.2.2	Položaj smučarja v zavoju danes	16
1.2.3	Ohranjanje ravnotežnega položaja.....	17
1.2.4	Gibanje v pravokotni smeri na podlago.....	19
1.3	KOLENSKI SKLEP	20
1.3.1	Mehanika kolenskega sklepa	20
1.3.2	Gradbena struktura kolenskega sklepa	20
1.3.3	Gibi v kolenskem sklepu	21
1.4	PREDMET IN PROBLEM.....	23
1.5	CILJI	28
1.6	HIPOTEZE	28
2	METODE DELA.....	29
2.1	PREIZKUŠANCI.....	29
2.2	PRIPOMOČKI	30
2.2.1	Merilna oprema	30
2.2.2	Smučarska oprema.....	31
2.3	POSTOPEK.....	32
2.3.1	Zbiranje podatkov	32
2.3.2	Analiza podatkov.....	34
3	REZULTATI	35
4	RAZPRAVA	42
5	SKLEP.....	45
6	VIRI.....	46
7	PRILOGE.....	49

1 UVOD

1.1 RAZVOJ SMUČARSKE OPREME

Razvoj smučarske opreme je doživel velike spremembe konec 19. stoletja z začetki športnega smučanja. Smučarska industrija je prisluhnila zahtevam kupcev in tekmovalcev, zato je danes mogoče najti na trgu mnogo vrst smučí.

S spremembo smučarske tehnike se je spreminjala tudi oprema. Današnje smučí se v primerjavi s tistimi iz preteklosti razlikujejo v večih pogledih: nekoliko so krajše, kljub temu da gre danes za večje hitrosti; na drsni ploskvi nimajo več vzdolžnih žlebičev, ki so bili namenjeni predvsem za daljše poševne smuke in spuste naravnost. Glavna sprememba pa je povečan stranski lok (razmerje med širinami krivin, sredine smučke in zadnjega konca). Ta oblika omogoča pri obremenitvi med zavojem boljši nastavek robnikov, ker vsa smučka potiska na sneg. Leta 1930 je sledila uvedba jeklenih robnikov in vse do danes se je tehnologija izdelave le-teh razvila do te mere, da robniki preprečujejo stransko oddrsavanje smučí med zavoji. Spreminjala pa se ni sama oblika smučí, ampak tudi zgradba in materiali, iz katerih je smuča narejena. Ameriški proizvajalec Head je evropskim aluminijastim smučem dodal leseno sredico in dobil tako imenovano »sandwich« konstrukcijo. Ta omogoča smučem boljši oprijem in vodljivost, kot navajata Lešnik in Žvan (2007). Sledili so novi materiali: steklena vlakna, pojavila se je »epoxi« smučka z delno pokritimi jeklenimi robniki iz plastične mase.

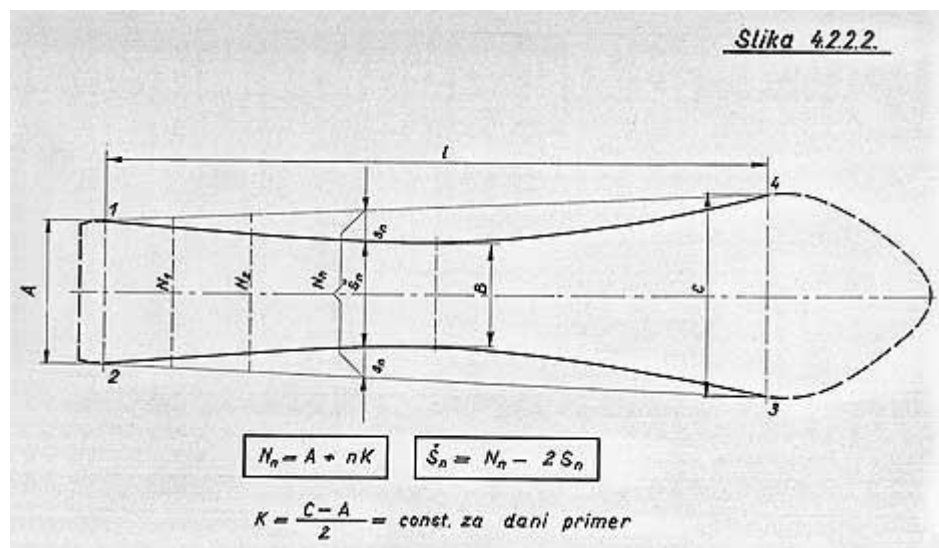
Kljub vsemu pa je že od nekdaj posebno vlogo igral stranski lok. O tem je razmišljal že Georges Joubert, ki je deloval na grenobelski univerzi. Menil je, da je bistvo zarezne tehnike v nastavitvi robnika po vsej dolžini, to pa naj bi bilo možno le ob povečanem stranskem loku smučí in njunim močnim upogibom med razbremenitvijo. Brez stranskega loka pa bi smučka med zavojem drsela samo po srednjem delu, medtem ko zadnji in sprednji (razbremenjena dela) ne bi imela pomembne vloge (Guček, 1998).

Na Slovenskem je velik tehnološki preskok naredila tovarna Elan z ustanovitvijo lastnega inštituta. Inženir Andrej Robič je bil desetletja srce razvoja v omenjeni tovarni. Ena glavnih njegovih idej je bila, da mora smučka pomagati smučarju in sama zarezovati v zavoj. Leta 1970 je za raziskavo z naslovom Elastične linije smučí prejel Kidričevo nagrado. Nekatero pomembnejšo geometrijsko značilnost, s katerimi je spremenil obliko smučí, so bile: sredino smučí je s 75 mm zožil na 66 mm in poudaril upogib. Menil je, da ožja smuča na sredini ob obremenitvi omogoča večji upogib in tako tudi večji pritisk smučí v predelu krivin in repov, kar posledično smučko

samo potegne v zavoj. Takšna geometrija naj bi smučarju pomagala lažje nastaviti robnike na sneg in tako lažje začeti, voditi in izpeljati zavoj (Humar, 2009).

Z računalniško simulacijo idealnega stranskega loka sta se ukvarjala tudi nekdanja Elanova konstruktorja Jure Franko in Pavel Škofic, ki sta bila Robičeva naslednika. Vendar pa je ideja po nekajletnem počitku oživila zopet leta 1993. Takrat so šele pravi začetki komercialnega imena »carving«. Zarezne smuči oz. parabolične smuči so dobile ime zaradi krivulje stranskega loka, mere samih smuči pa lahko vidimo na sliki 1 (Guček, 1998).

Slovcem sicer ni uspelo patentirati omenjenih smuči, vendar pa gredo največje zasluge za začetke tako imenovanih smuči s poudarjenim stranskim lokom prav njim.



Slika 1: Mere smuči s poudarjenim stranskim lokom, kakršne si je zamislil Andrej Robič, dolgoletni inženir Elana (Humar, 2009)

1.1.1 Značilnosti današnjih smuči

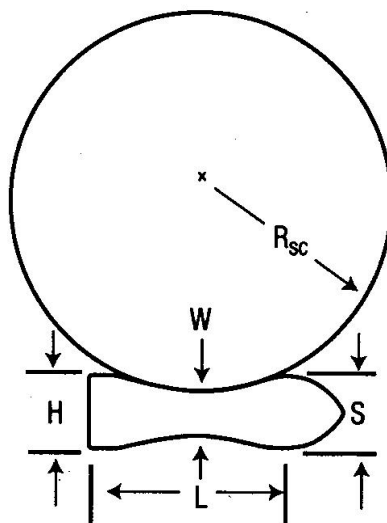
Tekmovalci v alpskem smučanju danes s svojimi izkušnjami in znanjem narekujejo smernice v tehnološkem razvoju, včasih so to vlogo imeli predvsem učitelji smučanja. Z razvojem smuči s poudarjenim stranskim lokom se je prvič zgodilo, da so proizvajalci s svojo inovativnostjo prehiteli pričakovanja in potrebe tekmovalcev. Vsekakor pa današnje smuči zahtevajo tudi novo metodiko učenja, ki omogoča smučarju hitro in uspešno napredovanje, saj vemo, da je sama sprememba oblike s seboj prinesla številne novosti. Obliko smuči tvorita njena dolžina in stranski lok, ki sta soodvisna. Sliki 3 in 4 prikazujeta dve različni obliki smuči.

Daljše smuči so primernejše za drsenje pri večji hitrosti in daljših zavojih, saj so stabilnejše, medtem ko so krajše smuči primernejše za krajše zavoje, kjer gre za

manjše hitrosti. Poleg tega pa je prehod preko vpadnice (vrtenje smuči) s krajšimi smučmi lažji.

Definiranje polmera stranskega loka smučke izhaja iz predpostavke, da so linije zavojev pri posamezni disciplini kar najbolj idealne, kadar gre za optimalno hitrost in tehniko smučanja. Le-ta je določen je s širino sprednjega, srednjega in zadnjega dela smučke ter njeno dolžino. Ločimo smuči s krajšim radijem, ki so bolj tako imenovane »metuljaste« oblike in smuči z daljšim radijem stranskega loka, ki so daljše in imajo manj izrazit stranski lok (Lešnik in Žvan, 2007).

Podatek o samem radiju smučke pa ponazarja slika 2.



Slika 2: Lok velikega kroga predstavlja stranski lok smučke (Howe, 2001)

$$R_{sc} = \frac{L^2}{(S + H - 2W)^2}$$

Obrazložitev enačbe:

R_{sc} – ukrivljen polmer kot lok velikega kroga (lok velikega kroga predstavlja stranski lok smučke – slika 2)

L – dolžina drsne površine smučke (dolžina med H in S – slika 2)

S – širina najširšega dela krivine smuči

H – širina zadnjega dela smuči

W – širina smučke v najožjem delu (pasu) smuči

Izrazitejši stranski lok omogoča in zahteva večje nagibanje v zavoj, zaradi česar je velik pomen dobil pojav podložnih plošč pod smučarskim čevljem. Namen le-teh je bil lepši upogib smučke in zmanjšana verjetnost, da bi čevlji nasedal na podlago, potencialno pa tudi zmanjšanje tresljajev s smuči na nogo.

Vodenje zavoja je odvisno tudi od upogibne togosti smuči in vzvojne (torzijske) togosti in je v tesni povezavi s samo obliko smuči. »Metuljaste« smuči začnejo spreminjati smer z nagibom (upogibom in odmikom) kolen ter nastavitvijo robnikov. Upogibno bolj toge smuči so namenjene tekmovalcem oziroma boljšim smučarjem, saj jih je mogoče upogniti le pri večjih hitrostih, medtem ko so manj toge primerne za rekreativce. Pri smučeh pa je pomembna tudi vzvojna odpornost (odpornost smuči proti zvijanju po njihovi vzdolžni osi). Ta ima prav posebno vlogo na strmejših, poledenelih terenih, kjer smuči ne smejo popuščati (Lešnik in Žvan, 2007).



Slika 3: Elanove smuči danes (Elan, 2013)



Slika 4: Široke smuči prostega sloga (Elan, 2013)

V tabeli 1 vidimo, kakšno opremo smejo uporabljati tekmovalci alpskega smučanja.

Tabela 1: Specifikacija za konkurenčno opremo, ki se je uporabljala v svetovnem pokalu, na svetovnem prvenstvu, v evropskem pokalu in na svetovnem mladinskem prvenstvu, v sezoni 2012/2013 in 2013/2014 pa je bila dovoljena tudi za kontinentalni pokal in FIS tekme (Specifications for competition equipment and commercial markings, 2012) ter specifikacija za konkurenčno opremo za vse ravni tekmovanj

alpskega smučanja v sezoni 2014/2015 (Specifications for Competition Equipment Edition, 2014).

		WC L & M, EC L & M, WJC, WSC	COC L & M, FIS L & M	WC L & M, EC L & M, COC L & M, FIS L & M, WJC, OWG
		2012 / 2013		2013 / 2014 2014 / 2015
DOLŽINA SMUČI (minimum) Toleranca +/- 1 cm ** Toleranca za FIS – 5 cm * Toleranca moški U18 (mlajši mladinci) za FIS – 10 cm	SM ženske	210	210**	210**
	SM moški	218	215**	218**
	SVSL ženske	205	200**	205**
	SVSL moški	210	205**	210**
	VSL ženske	188	180**	188**
	VSL moški	195	185**	195**
	SL ženske	155	155	155
	SL moški	165	165*	165*
ŠIRINA SMUČI POD VEZJO	SM ženske	< = 65	> = 67	< = 65
	SM moški	< = 65	> = 67	< = 65
	SVSL ženske	< = 65	> = 65	< = 65
	SVSL moški	< = 65	> = 65	< = 65
	VSL ženske	< = 65	> = 65	< = 65
	VSL moški	< = 65	> = 65	< = 65
	SL ženske	> = 63	> = 63	> = 63
	SL moški	> = 63	> = 63	> = 63
ŠIRINA SMUČI PRED VEZJO	SM ženske	< = 95		< = 95
	SM moški	< = 95		< = 95
	SVSL ženske	< = 95		< = 95
	SVSL moški	< = 95		< = 95
	VSL ženske	< = 103		< = 103
	VSL moški	< = 98		< = 98
	SL ženske			
	SL moški			
RADIJ (minimum)	SM ženske	50	45	50
	SM moški	50	45	50
	SVSL ženske	40	33	40

SVSL moški	45	33	45
VSL ženske	30	23	30
VSL moški	35	27	35
SL ženske			
SL moški			
MAX. STOJNA VIŠINA (smuči/plošča/vez)	50	50	50

Legenda:

WC L & M – svetovni pokal, ženske in moški (SP)
EC L & M – evropski pokal, ženske in moški (EP)
WJC – svetovno mladinsko prvenstvo
WSC – svetovno prvenstvo
COC L & M – kontinentalni pokal, ženske in moški
FIS L & M – FIS tekme, ženske in moški
OWG – zimske olimpijske igre
SM – smuk
SVSL – superveleslalom
VSL – veleslalom
SL – slalom

1.2 TEHNIKA SMUČANJA

»Športna tehnika je idealen model nekega gibanja, ki ga določajo biomehanske zakonitosti«, navaja Ušaj (1996) (v Lešnik in Žvan, 2007). Gre za zelo kompleksen pojav, za katerega je značilna racionalnost gibanja v prostoru, času in silovitosti, da je uspeh zagotovljen. Način smučanja iz 80-ih let se je dosti spremenil v primerjavi z elementi tekmovalne tehnike danes. Zdi se, da prav tekmovalci narekujejo smernice v razvoju smučarske opreme, tehnike ter metod in sredstev, katerih se poslužujejo trenerji in učitelji smučanja (Lešnik in Žvan, 2007).

Še posebej pa je treba poudariti, da razvoj smučarske tehnike ne temelji več na čim večjem pospeševanju (Petrovič, 1992), ampak na čim manjšem zaviranju (Lešnik, 1999). V tem smislu se je tudi tehnika spreminjala.

1.2.1 Razbremenjevanje in obremenjevanje (pregled skozi tehnike smučanja – gibanje v smislu iztegovanja in upogibanja)

Klasično gibanje gor – dol je zaznamovalo osemdeseta in začetek devetdesetih let (Petrovič idr., 1987). Če govorimo z vidika tekmovalne slalomske tehnike, lahko povemo, da je bilo zanjo značilno naslednje: smučar je bil v najbolj iztegnjenem položaju med prenosom teže, čemur je sledilo vrtenje smuči s pomočjo anticipacije in upogibanja, najbolj v pokrčenem položaju pa je bil pri količku oziroma kmalu po njem. V tej fazi zavoja je smučar tudi postavil smuči bolj na robnike in zavoj poskušal odpeljati brez oddrsavanja, saj mu je le-to skupaj z eksplozivnim iztegovanjem omogočilo kakovosten odziv v smeri novega zavoja.

Prihod smuči s poudarjenim stranskim lokom je prinesel številne novosti. Klasično enojno gibanje, za katerega je bil značilen, kot smo zgoraj omenili, najbolj iztegnjen položaj med prenosom teže in najbolj pokrčen ob ali za količkom, je zamenjala tehnika dvojnega gibanja (Supej idr., 2001). Pri novi tehniki gre za to, da se je stara tehnika enojnega klasičnega gibanja prilagodila novim mehanskim pogojem smučanja. Smučar ostaja pri novi tehniki v točki prenosa teže nekoliko pokrčen (Supej idr., 2003 – I) v (Supej, 2004). Tako ohranja boljši stik s snegom, ker je nihanje težišča telesa minimalno. Po tej akciji sledi razbremenitev smuči in drsenje v smeri novega zavoja, smučar se medtem izteguje. Sledi postavitvev smuči na robnike in zavoj okoli količka z upogibanjem navzdol ter sunkovit odziv z iztegovanjem. Pri izpeljavi zavoja pa telo sledi smeri smučanja, kar se razlikuje od anticipacije, ki je bila značilna za klasično tehniko. Napredek v novi tehniki je ravno sledenje telesa in zmanjševanje amplitude gibanja težišča telesa. Nikakor pa ne smemo pozabiti, da so se z novimi smučmi povečale tudi sile, zaradi katerih je še posebej pomembna uravnoteženost smučarja.

Vendar pa ima tehnika dvojnega gibanja kljub prednostim tudi svoje pomanjkljivosti. Kljub zmanjšanju amplitud težišča telesa v vertikalni smeri tekmovalec še vedno

izgubi stik s snežno podlago, kar je posledica odriva pod količkom. To pa privede do neizkoriščanja smuči s poudarjenim stranskim lokom, saj le-te zavijejo glede na nagib terena. Negativen pa je tudi učinek odriva, zaradi večjih sil, ki nastopajo pri vožnji s tovrstnimi smučmi. Odriv že tako velike sile le še dodatno poveča. Večje sile zaradi večjega trenja povzročijo zaviranje, ki pa ni odvisno samo od tega, ampak tudi od snežne podlage. Slabosti tehnike dvojnega gibanja pa so tudi velike mišične sile, zaradi navornih situacij, saj je smučar precej časa (ob in za količkom) pokrčen. Zaradi takšnih položajev je lahko neto mišična sila kolena nekajkrat večja od sile podlage. Takšne obremenitve pa lahko v skrajnih primerih povzročijo poškodbe.

S pojavom novih smuči so se spremenili tudi nekateri osnovni fizikalni parametri. Zato se je nekoliko spremenila tudi tekmovalna slalomska tehnika. Ugotovljeno je bilo, da takrat obstoječa tehnika dvojnega gibanja ni najoptimalnejša, kadar je smučar sposoben zavoj v celoti izpeljati brez oddrsavanja, zato jo je v teh primerih nadomestila nova tehnika enojnega gibanja, ki teži k zmanjšanju največjih sil, ki nastopajo v času izpeljave zavoja in boljšemu stiku smuči s podlago v času prenosa teže. Tekmovalci dosegajo v slalomu najmanjše priležne radije zavoja v bližini količka, kar pomeni, da je radialna sila tam največja. Z novo tehniko enojnega gibanja se želi doseči, da bi bil smučar pri izpeljavi zavoja ob količku čim precej iztegnjen, kar zmanjšuje navore v sklepih in posledično mišične sile. Pri tehniki dvojnega gibanja, kot smo že zgoraj omenili, so pomanjkljivosti tehnike predvsem velike sile, hitrost in smer odriva. Velike sile posledično povzročajo tudi izgubo hitrosti zaradi trenja (kot je že zgoraj omenjeno, je odvisno tudi od snežne podlage). Do trenja pa prihaja zaradi torzijske (ne)odpornosti in ugrezanja smučke v sneg (Casolo & Lorenzi, 2001). Tako bi bilo odriv oziroma iztegovanje smučarja smiselno prestaviti v zgornji del zavoja, nad količek, kjer so sile manjše namesto, da je izveden pod količkom, kjer so sile že zaradi zavijanja in delovanja gravitacije velike (Supej, 2004).

1.2.2 Položaj smučarja v zavoju danes

Optimalno izvedbo smučarskega zavoja pogojujejo številni dejavniki. Med njimi so najpomembnejši: smučarsko znanje, motorične sposobnosti in oprema ter dejavniki, na katere nimamo vpliva (vremenske razmere, teren, snežna podlaga ...).

Tehnika gibanja spada med najpomembnejše dejavnike dobrega smučarskega znanja. Le-ta ima pri smučanju naslednje značilnosti:

- razklenjen položaj smuči v širini bokov,
- nagib obeh kolen v zavoj,
- položaj bokov,
- sledenje telesa,
- položaj rok pred telesom,
- pokončen položaj glave,

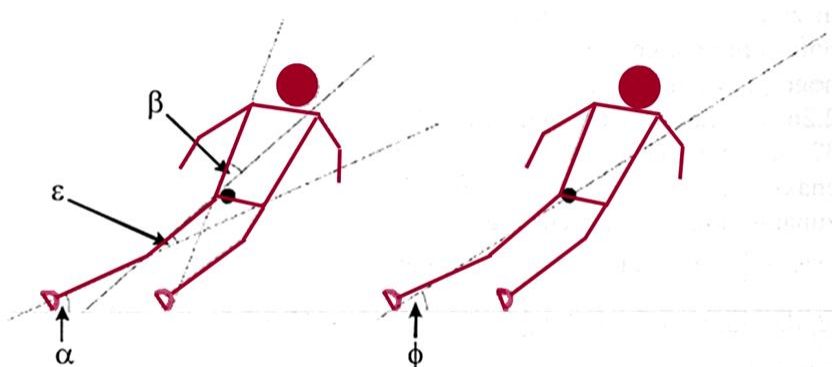
kot opisujeta Lešnik in Žvan (2007).

Kar pa se tiče smučanja z vidika biomehanike, pa je potrebno izpostaviti predvsem naslednje elemente:

1.2.3 Ohranjanje ravnotežnega položaja

Omenili smo že, da se je s smučmi s poudarjenim stranskim lokom marsikaj spremenilo. Poleg vseh sprememb velja še posebej poudariti smučarjevo sposobnost ohranjanja prečnega ravnotežnega položaja. Pri vodenju zavoja brez oddrsavanja smučar težje ohranja prečni ravnotežni položaj, saj sta radij zavoja in radialna sila odvisna izključno od nagiba smučke. Ne smemo pozabiti, da se z nagibom smučke podporna ploskev v prečni smeri močno zmanjša. Nagib smučke pa vpliva na radij zavoja, kar pa je pogojeno tudi s samo geometrijo le-te.

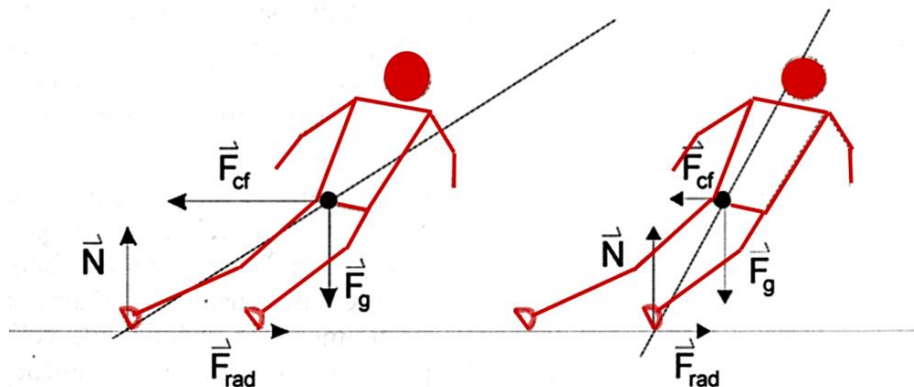
Da smučar lahko v zavoju ohranja dinamično ravnotežni položaj, se mora pri izpeljavi le-tega ustrezno nagniti. Značilnost smučanja z zarezno tehniko je gib kolena in kolka, kjer gre za navidezno kombinacijo: odmikanja, zunanjo rotacijo in upogiba omenjenih sklepov. V literaturi zasledimo izraz »prelom« (Kugovnik idr., 2003), ki naj bi združeval vse tri. Smučarjeva sposobnost spreminjanja kotov v kolenskem in kolčnem sklepu je ključnega pomena, da je njegovo smučanje pestro in zanimivo. Tako lahko odsmuča pri enakih hitrostih različne radije oziroma iste radije pri različnih hitrostih. Na sliki 5 vidimo, da kot nagiba smučke ni enak kotu nagiba težišča telesa, kar je ravno vzrok za različne radije in hitrosti zavojev. Smučar večji del lateralnega upogibanja oziroma kombinacije odmika, rotacije in upogiba izvede v kolčnem sklepu, saj so tukaj koti lahko bistveno večji kot pri kolenu. Vrhunski smučarji uporabljajo slednjega opazneje le v vходу v zavoj, kjer so obremenitve manjše, kolenski sklep pa je ob tem navadno bolj upognjen, kar omogoča večjo prostost gibanja v odmikanju in rotaciji. Po drugi strani pa je v času aktivnega zavijanja situacija ravno nasprotna.



Slika 5: Lateralni upogib doseže smučar z odklikom v kolenih (kot med stegnenico in golenico – kot ϵ) in v kolčnem sklepu (kot med zunanjo golenico in središčnico trupa – kot β). (Kugovnik idr., 2003)

Zarezna tehnika zahteva zaradi oteženega položaja in tudi večjih nagibov v zavoj nekoliko drugačen položaj smučarja, kot je bil v preteklosti. Smučar ima smuči razširjene do širine bokov, saj s tem zagotovi širšo podporno ploskev in tudi lažji nagib obeh smučk na robnik. Sicer je velika možnost zdrsa, saj lahko golen zunanje noge nasede na notranjo.

Vedeti moramo tudi, da je obremenjenost spodnje in zgornje noge v zavoj različna. »Danes je po raziskavah razmerje razporeditve teže na zunanjo in notranjo smučko v povprečju 70 : 30 odstotkov«, navaja Wörndle (2007, v Lešnik in Žvan, 2007). Večje kot so radialne sile, večji je navadno nagib smučke in takrat je več teže na zunanji nogi. To se zgodi pri višjih hitrostih oziroma pri manjših radijih zavojev. Razlog za to je v navorni situaciji (slika 6), kjer mora biti za ohranitev prečnega ravnotežnega položaja vsota vseh sil in navorov na os vrtilišča v prečni smeri enaka nič. Smučarji imajo pogosto kinestetični občutek, da je njihova teža enakomerneje porazdeljena na obe smuči. Pri tem jih zavede mišična sila, ki ni enaka dejanski obremenitvi smučke.



Slika 6: Smučar se je zaradi navorne situacije sposoben upreti večjim radialnim silam, kadar ima večjo obremenitev na zunanji smučki (levo) (Kugovnik idr., 2003)

Smučar pa mora biti tudi vzdolžno dobro uravnotežen. To pa je takrat, kadar je sila podlage centrična na težišče in je zato navor sile podlage glede na težišče smučarja enak nič. Vzdolžni položaj pa se zaradi različnih sil trenja spreminja (razlika v trenju je tudi, ali gre za mehko ali trdo podlago). Ob povečanju sile trenja se spremeni smer sile podlage, in sicer pomakne se za težiščem telesa. Navor pa v točki težišča povzroči vrtenje smučarja v smeri naprej. To pa ni edini vzrok za spreminjanje

vzdolžnega ravnotežnega položaja smučarja. Z različno strmino klanca se spreminja tudi velikost sile podlage, ki je tudi zelo pomembna. Ustrezno vzdolžno uravnoteženje smučar doseže z gibanjem naprej – nazaj ali navzgor – navzdol (Kugovnik idr., 2003).

1.2.4 Gibanje v pravokotni smeri na podlago

Gibanje v pravokotni smeri na podlago je, kadar govorimo o tekmovalnem smučanju, manj zaželeno. Kot navaja Fetz (1991, v Lešnik in Žvan, 2007), je še posebej pomembna čim manjša amplituda gibanja težišča v vertikalni smeri. Kajti večja amplituda vertikalnega gibanja ima posledično tudi dalj časa trajajoči pritisk smuči na podlago (Nemec, 1997 v Lešnik in Žvan, 2007) in večjo verjetnost za izgube stika s podlago (Supej idr., 2002 – III). Ko gibanje v pravokotni smeri poveča silo reakcije podlage, lahko v posebnih primerih narašča tudi sila trenja, ki zmanjšuje hitrost smučanja (Lešnik in Žvan, 2007).

1.3 KOLENSKI SKLEP

1.3.1 Mehanika kolenskega sklepa

Kolenski sklep po mehaniki uvrščamo med tečajaste sklepe, ki so enoosni in jih oblikujeta 2 sklepni ploskvi; ena v obliki valja, druga pa kot njen odlitek. Sklepni površini ležita prečno na dolgo os kosti. Zaradi takšne zgradbe sklep lahko upogibamo in iztezamo. Ker pa je koleno kombiniran sklep, ga poleg tečajastih uvrščamo tudi med čepaste sklepe. Tudi ti so enoosni, le da se od tečajastih sklepov razlikujejo v postavitvi sklepnih površin; ti sta postavljeni vzporedno z dolgo osjo kosti. Tako se v sklepu kosti vrtijo skozi vzdolžno os valja, zaradi česar sklep lahko rotiramo (Dahmane - Gošnjak, 1998).

1.3.2 Gradbena struktura kolenskega sklepa

Kolenski sklep sestavljajo:

- **KOSTNI DEL**

Koleno je sklep med čvrščema stegenice, zgornjo površino golenice in pogačico. Sklepne površine zaradi same oblike sklepa ne dajejo stabilnosti, zato je potreben ligamentarni in mišično-tetivni organ. Bistven pomen pogačice je povečevanje razdalje od centra rotacij do kite in s tem po načelu vzvodov tudi moč le-tega. Pogačica med upogibom kolena drsi preko kondilov stegenice.

- **EKSTRAARTIKULARNE STRUKTURE**

Sklepna ovojnica s pripadajočimi vezmi in kolateralne vezi predstavljajo pglavitni statični del stabilnosti kolena. Dodatno ga pomembno podpira mišično-tetivni organ, ki predstavlja aktivni del stabilnosti.

- **INTRAARTIKULARNE STRUKTURE**

Meniskusa premoščata asimetrijo, ki nastane na stični površini stegneničnih in goleničnih kondilov. Sodelujeta pri lumbrikaciji sklepa in pri prerazporejanju pritiskov v sklepu ter povečujeta njegovo elastičnost. Nedvomno imata pomembno vlogo tudi pri stabilizaciji kolenskega sklepa v vseh smereh; še posebej sta pomembna kot rotatorna stabilizatorja.

Sprednja križna vez (ACL) in zadnja križna vez (PCL) preprečujeta nekontroliran pomik stegenice preko platoja golenice oziroma nevtralizirata delovanje strižnih sil. Usmerjata in vodita gib: upogib – rotacija kolena (Travnik in Košak, 2004).

MIŠICE, KI OBDAJAJO KOLENSKI SKLEP

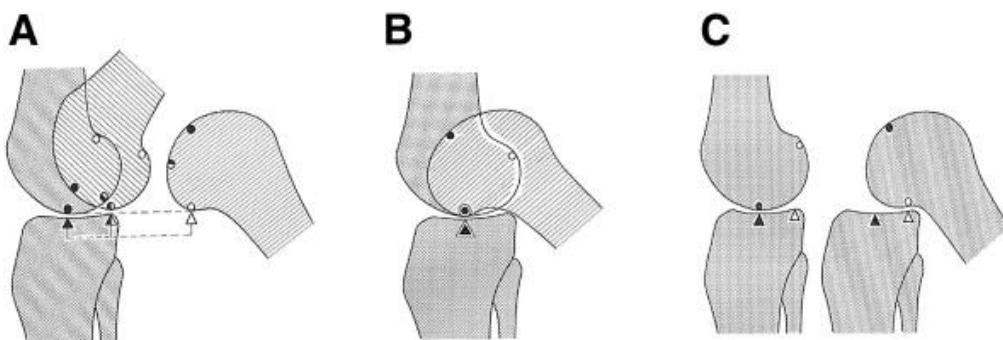
Skeletne mišice, ki obdajajo kolenski sklep, so generatorji moči za premikanje kolenskega sklepa, istočasno pa so dinamični stabilizatorji kolena. Na ventralni strani je štiriglava stegenska mišica, ki je glavna iztegovalka kolena. Upogibalke kolena so na dorzalni strani in se delijo na medialno skupino (pri upognjenem kolenu povzročata notranjo rotacijo goleni glede na stegnenico) in lateralno skupino (glavna je dvoglava stegenska mišica, ki pri upogibu omogoča zunanjo rotacijo goleni) (Travnik in Košak, 2004).

1.3.3 Gibi v kolenskem sklepu

Kolenski sklep omogoča 6 prostostnih stopenj gibanja: UPOGIB/IZTEG, PRIMIKANJE/ODMIKANJE, NOTRANJO/ZUNANJO ROTACIJO in TRANSLACIJO v treh smereh.

Upogib/izteg: je najpomembnejše gibanje v kolenskem sklepu. Sklep omogoča do 140° upogiba in do 5° hiperekstenzije. Hkrati omogoča pri iztegnjeni nogi primik/odmik ($6\text{--}8^\circ$), pri upogibu pa notranjo/ zunanjo rotacijo ($25\text{--}30^\circ$). Pri tem so možne tudi translacije v sklepu.

Ker gre v kolenskem sklepu za kombinacijo večih gibov hkrati, tako ločimo pri upogibu/iztegu v sredinski ravnini tri možnosti, in sicer: kotaljenje, drsenje in kombinacijo obeh (slika 7). S povečanjem kota upogiba pa se povečujeta tudi notranja rotacija in primikanje. Vzrok za takšne spremljajoče gibe sta oblika sklepnih površin in napetost vezi, še posebej kadar je koleno bolj iztegnjeno. Študije kažejo na to, da gre pri upogibu $10\text{--}30^\circ$ tudi za notranjo rotacijo okoli 10° in še nadaljnjo notranjo rotacijo $8,8^\circ$ pri upogibu $30\text{--}114^\circ$. Takšne gibe je moč zaslediti pri dvignjeni nogi od tal, prav tako pa tudi pri obremenjeni nogi (Supej in Zorko, 2014).



Slika 7: Gibi v kolenskem sklepu (A - kotaljenje, B - drsenje, C - čista rotacija)
(Smith et. al., 2003)

Slika 7 nam ponazarja tri orientacijske ravnine, v katerih smučar izvaja gibanje:

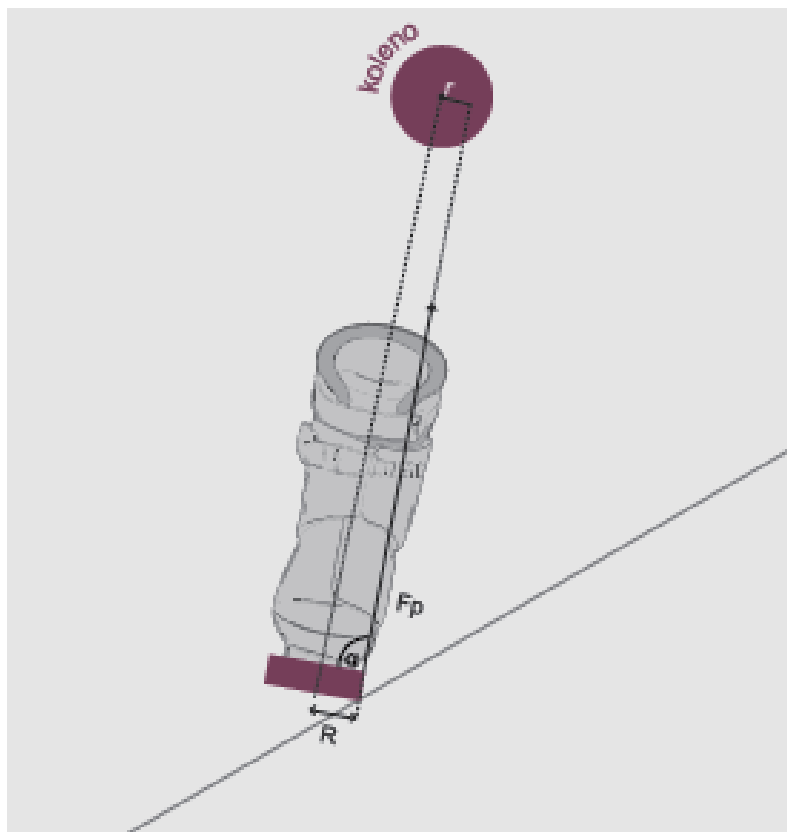
- ✓ Sredinska ravnina (upogib/izteg),
- ✓ Prečna ravnina (notranja/zunanja rotacija),
- ✓ Čelna ravnina (primikanje/odmikanje).



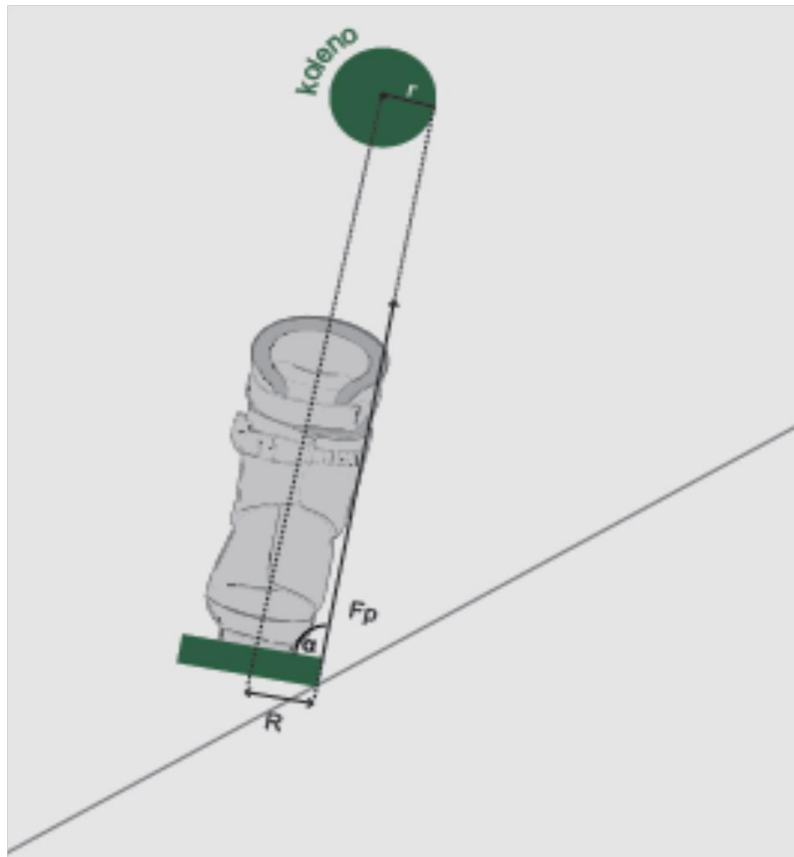
Slika 8: Orientacijske ravnine pri smučarju (Rxbound, 2012)

1.4 PREDMET IN PROBLEM

V zadnjem času opazamo naraščanje poškodb tako v tekmovalnem kot tudi rekreativnem smučanju. Vse skupaj pa poteka hkrati s spreminjanjem oblike smuči. Razvojni trend tako imenovanih smuči s poudarjenim stranskim lokom stremi k širjenju srednjega dela smuči (pod vezjo) in hkratnim nižanjem podložne plošče. V praksi lahko to pomeni tudi spremembo kinematike kolenskega sklepa zaradi navorov, ki se s širino smuči potencialno spremenijo. Pri smučarskem zavoju na pomrzjenem snegu se prijemališče sile reakcije podlage premika glede na to, kako široke so smuči. Gledano v čelni ravnini, se prijemališče na bolj obremenjeni (zunanj) nogi v primeru široke smučke premakne bolj v medio-lateralni smeri od središča stopala v primerjavi z ozko smučko. Ta premik prijemališča sile reakcije podlage je tem večji, čim širše so smuči. Tukaj pa ne moremo mimo dejstva, da vektor reakcijskih sil podlage pri širokih smučeh morebiti ne seka več kolenske osi, kar pa lahko povzroča večje napore na koleno v medio-lateralni ravnini. Da pa bi smučar zmanjšal sile in napore na koleno, menimo, da le-ta v času izpeljave zavoja spremeni kinematiko gibanja kolenskega sklepa. Iz tega izhajajo tudi naše hipoteze. Pričakujemo, da bo smučar potiskal koleno bližje vektorju sile reakcije podlage, kar kvazi-statično pomeni manjše obremenitve. To pa doseže predvsem z odmikom in zunanjo rotacijo kolena.



Slika 9: Navorna situacija na ozkih smučeh



Slika 10: Navorna situacija na širokih smučeh

Sliki 8 in 9 prikazujeta navorno situacijo na ozkih in na širokih smučeh. Sila podlage v obeh primerih poteka pod istim kotom (α), do razlike prihaja le v velikosti ročic (razdalji R in r), ki naj bi bili pri širokih smučeh večji.

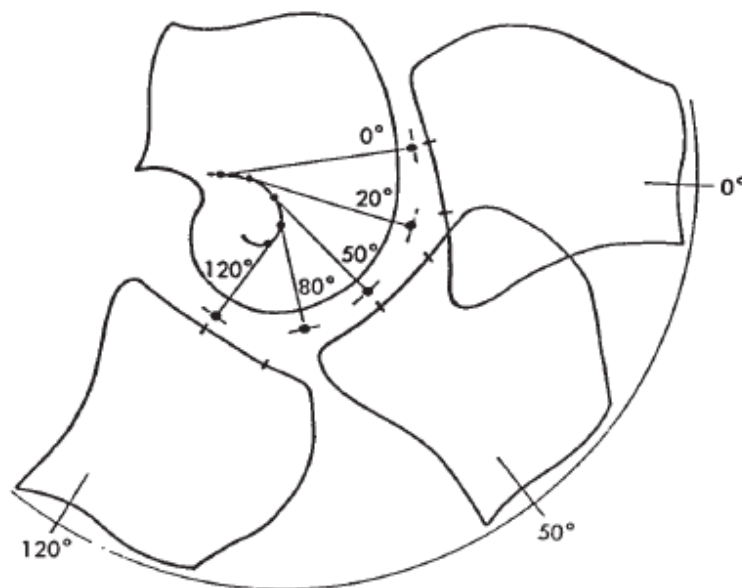
Pri vpogledu v tovrstno problematiko je potrebno poznavanje osnov klinične biomehanike kolena.

Kolenski sklep je največji in najbolj zapleteno grajen sklep v človeškem telesu. Zaradi anatomske zgradbe, izpostavljenosti zunanjim silam, poleg tega pa tudi velikim funkcionalnim zahtevam, je najbolj pogosto poškodovan sklep. Njegova temeljna lastnost je, da deluje v območju ohlapnosti, kar pa pomeni, da lahko že majhne sile povzročajo sorazmerno velike premike sklepnih površin. Za njegovo stabilnost je odgovoren ligamentarni aparat, ki ga podpira mišično-tetivni organ. Gledano natančneje, zelo pomembni pri stabilnosti sklepa so tudi drugi dejavniki, med njimi: mehanska os sklepa; kostni elementi; ekstraartikularne strukture (sinuvijalna in sklepna ovojnica s pripadajočimi vezmi, kolateralne vezi, mišično-tetivni aparat) ter intraartikularne strukture (križne vezi in meniskusa). Pri tem v veliki meri prispevajo

tudi mišice, ki obdajajo koleno. Okvara katerekoli teh struktur pomeni, da sta stabilnost in s tem tudi funkcionalnost kolenskega sklepa močno prizadeti (Travnik in Košak, 2004).

Relativna ohlapnost kolena je potrebna, saj so poleg gibov v sredinski ravnini (upogib-izteg) vedno prisotne tudi rotacije v prečni ravnini (notranja in zunanja za 10 do 15 stopinj) ter odmik in primik v čelni ravnini (za 10 stopinj) (Maquet, 1984; Tooms, 1987).

Omenjeni sklep je najstabilnejši v polni iztegnitvi, saj gre tukaj za najmanjše rotacije. Z večanjem upogiba pa se hkrati povečujejo tudi notranje in zunanje rotacije kolena, kar prikazuje slika 10, hkrati pa je večje tveganje za poškodbe (Antolič, 1995).



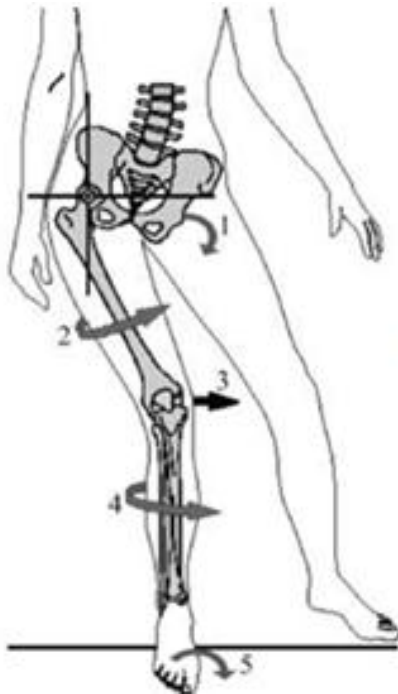
Slika 11: Lega središča rotacij kolena v odvisnosti od upogiba (Antolič, 1995)

V smučanju, kjer gre za velike amplitude takšnih gibov, smo temu še toliko bolj izpostavljeni.

Na področju poškodb kolenskega sklepa je bilo narejenih že veliko raziskav. Hewett (idr., 2010) navaja, da sta najpogostejša mehanizma poškodbe sprednje križne vezi rotacija zgornjega dela telesa okoli fiksne goleni – upogib, odmik in zunanja rotacija tibie; drugi mehanizem pa je hiperekstenzijska travma. Prav takšnemu gibanju, menimo, smo v večji meri izpostavljeni tako na širokih kot na ožjih smučeh. Povečane sile skozi predel kolena so lahko delni vzrok za degeneracijo tega predela,

kar pa lahko vodi tudi do stanj, kot je slaba poravnava spodnje okončine (Levine & Bosco, 2007).

Deformirano koleno bi lahko primerjali s položajem kolenskega sklepa na širokih smučeh. Smučar pri širših smučeh sili koleno v skrajnejši (valgus) položaj (slika 11), da bi s tem kompenziral velike sile, ki nastanejo med obremenitvijo; izpeljavo zavoja.



Slika 12: Valgus položaj kolenskega sklepa (Avramović, 2012)

V fazi naslonitve noge na podlago je koleno izpostavljeno kompresijskim silam in ena njegovih glavnih vlog je upreti se obremenitvam, ki jih povzroča stopalo (reakcijska sila podlage).

Koleno ima na razpolago 3 možnosti kreiranja notranjih momentov, s katerimi nevtralizira odmik in primik, ki ju ustvarjajo zunanje sile. Mehanizmi so takšni:

- 1) prerazporeditev sile sklepa med srednje in lateralne predele,
- 2) prerazporeditev sile sklepa, ki jo povečujejo dodatne sile krčenja antagonističnih mišic in
- 3) tvorjenje obremenitve vezi z iztegovanjem stranskih vezi.

Med vsakodnevnimi dejavnostmi je koleno izpostavljeno ekstremnim obremenitvam. Gledano v sredinski ravnini, je to zaradi relativno kratkega vzvoda na sklepah kvadričepsov in hamstringov v primerjavi z dolgim momentom sklepa zaradi

reakcijske sile podlage. Zaradi kratkih vzvodov na sklepih je koleno izpostavljeno silam, ki lahko do sedemkrat presežejo telesno težo med normalnimi dejavnostmi. V čelni ravnini normalna – sredinsko usmerjena sila na stopalo povzroča prerazporeditev reakcijske sile podlage med sredinske in lateralne predele, da bi tako ohranjala stabilen sklep. Ko je zmožnost prerazporeditve reakcijske sile podlage presežena, mora to silo povečati koordinirano krčenje kvadričepsov in hamstringov ali obremenjevanje stranskih vezi. Breme, ki ga čuti koleno, se zelo poveča v obeh primerih in ima bolezenske posledice (Levine & Bosco, 2007).

1.5 CILJI

Glavni cilj diplomske naloge je bil ugotoviti, kako širina smuči vpliva na kinematiko kolenskega sklepa pri alpskem smučanju.

1.6 HIPOTEZE

Predpostavljamo:

H1: Upogib in izteg v kolenskem sklepu se s širino smuči ne spreminjata.

H2: Odmik v kolenskem sklepu se poveča na širokih smučeh v primerjavi z ozkimi.

H3: Zunanja rotacija v kolenskem sklepu se poveča na širokih smučeh v primerjavi z ozkimi.

2 METODE DE LA

2.1 PREIZKUŠANCI

V meritve na terenu so bili vključeni štiri smučarji (2 ženskega in 2 moškega spola), bivši tekmovalci in člani slovenske demonstratorske vrste, da je bila izvedba zadanih nalog kar najbolj zanesljiva. Vsi merjenci so podpisali soglasje o prostovoljnem sodelovanju na meritvah in so bili pred meritvami tudi natančno obveščeni o samem poteku le-teh. Starost merjencev je bila med 23 in 30 let.

2.2 PRIPOMOČKI

2.2.1 Merilna oprema

Podatki smučarjev so bili izmerjeni s pomočjo nove 3D-metode zajemanja podatkov, ki temelji na kombinaciji dveh merilnih setov.

Prvi set je za določanje globalne lege (globalni navigacijski satelitski sistem – GNSS RTK Leica Geosystems 1200 series (Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland)), drugi set pa je inercialna obleka »MVN motion capture suit« (Xsens Technologies, Enschede, The Netherlands).

GNSS služi za merjenje trajektorije, ki jo opiše smučar na smučišču, MVN-sistem pa za merjenje relativnega gibanja segmentov v realnem času.

V diplomski nalogi smo se osredotočili predvsem na meritve enega izmed setov, in sicer inercialno obleko »MVN *motion capture suit*« (Xsens Technologies, Enschede, The Netherlands).

MVN-sistem služi za merjenje relativnega gibanja segmentov. Inercialna obleka MVN (slika 10) sestoji iz 17 inercialnih senzorjev (MTx). Vsak senzor zajame 3D-pospešek, 3D-kotno hitrost in 3D-magnetno polje. Skupaj lahko zajamejo gibanje 23 telesnih segmentov v realnem času (Supej, 2011).

Za diplomsko nalogo smo uporabili kote v kolenskem sklepu, izmerjene v treh orientacijskih ravninah.



Slika 13: MVN obleka (Xsens, 2013)

Vožnje so bile zaradi lažje analize posnete z visokoločljivo kamero (Full HD, Sony HDR-HC7). S pomočjo VirtualDub 1.51 in AviSynth 2.4 programa so bili posnetki pretvorjeni v 60 Hz. Tako dobljeni posnetki so bili uporabljeni za kvalitativno primerjavo s 3D-animacijami, dobljenimi v sistemu MVN, kar ponazarjati sliki 13 in 14 (Supej, 2011).

2.2.2 Smučarska oprema

Za meritve so smučarji uporabili smuči z dvema različnima lateralnima razdaljama: s širino smučke pod čevljem 65 mm in 110 mm, kar ustreza območju, ki ga lahko zasledimo na trgu, ter enakim deklariranim radijem (21,4 m). Za lažje delo so bile smuči opremljene z varnostnimi vezmi, ki omogočajo enostavno spreminjane velikosti čevlja. Za merjence so bili pripravljene enaki smučarski čevlji.

2.3 POSTOPEK

2.3.1 Zbiranje podatkov

Meritve so potekale na smučišču Areh. Izmerjeni so bili štirje smučarji. Postavitev proge je bila sestavljena iz 12-ih vratc; prva 4 so imela zaprto postavitev, zadnja 4 pa odprto, med njimi je bilo dvoje prehodnih vratc. Naklon proge je bil v zgornjem delu večji kot v spodnjem. Smučarji so preizkusili dvoje različno širokih smuči (65 mm in 110 mm), deklariranega radija 21,4 m. Podatki so bili izmerjeni s pomočjo MVN-obleke in GNSS-sistema.

Smučarji so oblekli MVN-obleko pod svoj smučarski kombinezon. Meritev z obleko je bila izvedena v načinu stalne medenice, ki relativno premika vse segmente na stalno točko. Rover (merilna enota RTK GNSS-sistema) in referenčna postaja (enota RTK GNSS-sistema, ki oddaja korekcije v realnem času) sta bila sestavljena iz enakih strojnih delov: RTK GNSS-sprejemnik Leica GX1230GG, antena in radijski modem. Rover je bil spravljen v majhen nahrbtnik z anteno v bližini ramenskega obroča. Zajemanje je bilo pri 20 Hz z natančnostjo 5–7 mm horizontalno in 12–15 mm vertikalno. Pred vsako meritvijo je bila izvedena standardna umeritev z MVN-obleko, pred samim startom pa je smučar izvedel eksploziven počep za sinhronizacijo merilne opreme. Vremenski in snežni pogoji so bili dobri za izvedbo meritev (Supej, 2011).

Vsi podatki so bili uvoženi v Matlab R2007a (Mathworks, Natick, MA, USA). Tu so se signali s pomočjo posebej prirejenih programskih rutin polavtomatsko sinhronizirali in tako sestavili v skupno gibanje (Supej, 2011).

Nadaljnja obdelava podatkov je prikazana v diplomskem delu *Energijska analiza alpskega smučarja* (Pulko, 2012), od koder smo tudi pridobili čase faz zavojev.

Zavoji so razdeljeni na posamezne faze:

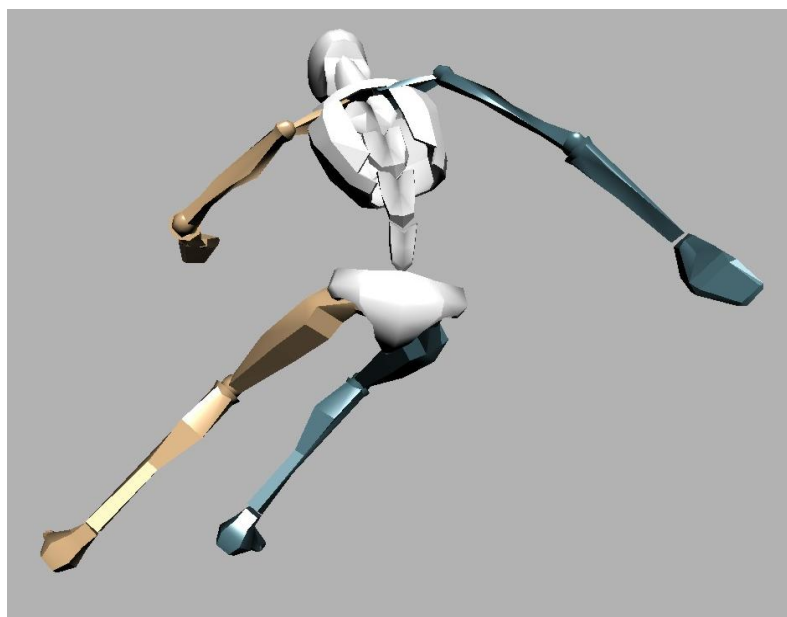
I – začetna faza,

S1 – faza zavijanja 1,

S2 – faza zavijanja 2 in

C – zaključna faza.

Fazi I in C sta povzeti po Supej et al. (2003), fazi S1 in S2 pa po Supej et al. (2010) v skladu z (Müller idr., 1998).



Slika 14: Model človeka – MVN-obleka (Supej, 2011)



Slika 15: Položaji smučarja, prikazani kot model MVN-obleke in primerjava z video posnetkom (Supej, 2011)

Podatke iz inercialne obleke smo ločeno uvozili preko programa Moven 2 Excel v Microsoft Excel.

Čase faz zavojev smo pridobili iz diplomske naloge (Pulko, 2012), sami pa smo z interpolacijo kote sinhronizirali po fazah zavoja tako, da smo lahko vse zavoje uskladili na abscisno os. Z dodatkom za Microsoft Excel 2007 smo rezultate kotov interpolirali s kubično spline krivuljo («cubic spline»). Funkcija omogoča določitev točk v vmesnih časih, torej med dvema izmerkoma, ko sicer meritve nimamo. Tako smo lahko meritve razdelili po zavojih in vsak zavoj razdelili na 300 delov oz. točk, kjer je cikel zavoja predstavljen od 0 do 100 %.

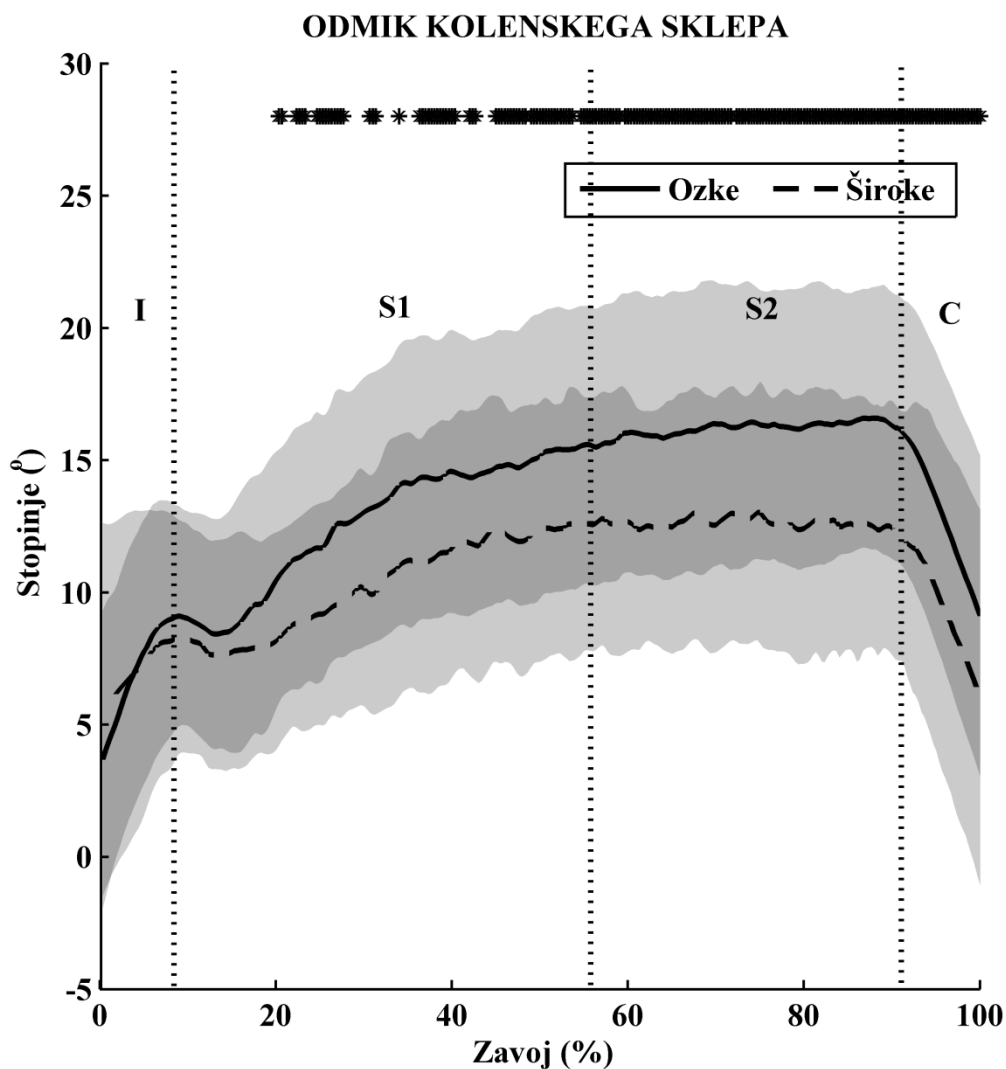
2.3.2 Analiza podatkov

Statistična analiza rezultatov je bila narejena v programu Matlab 2007b (Mathworks, Natick, MA, USA). Za primerjavo voženj na ozkih in na širokih smučeh smo uporabili Kolmogorov-Smirnov test, rezultati pa so bili pri $p < 0,05$ sprejeti kot statistično značilni. Pred tem smo z Lilliefors testom ugotovili, da porazdelitev ni normalna.

Analizirali smo gibe in s tem kote v kolenskem sklepu v čelni ravnini (odmik/primik), prečni ravnini (notranja rotacija/zunanja rotacija) in sredinski ravnini (upogib/izteg). Pri analizi smo upoštevali, da gre za odmik kolenskega sklepa, kadar so vrednosti, gledane na ordinatni osi, pozitivne in primik, kadar so vrednosti negativne; notranjo rotacijo pri pozitivnih vrednostih in zunanjo rotacijo pri negativnih vrednostih; upogib pri pozitivnih vrednostih in izteg pri negativnih vrednostih. Podatke smo analizirali in z grafi predstavili tako, da smo najprej združili podatke vseh štirih merjencev za posamezni gib, pri tem pa upoštevali le zunanjo nogo smučarja v zavoju (v desnih zavojih levo koleno, v levih zavojih pa desno koleno) in tako sestavili vožnjo 10-ih zavojev.

3 REZULTATI

Graf na sliki 16 predstavlja odmik kolenskega sklepa v čelni ravnini. Prikazane so povprečne vrednosti kotov pri odmiku kolena smučarjev, in sicer pri izpeljavi zavojev na ozkih in na širokih smučeh. Vidimo, da gre za odmik (valgus) kolenskega sklepa tako pri ozkih kot pri širokih smučeh – vrednosti krivulj so namreč v obeh primerih pozitivne. Odmik kolena je skozi celoten zavoj statistično značilno večji na ozkih v primerjavi s širokimi smučmi. Krivulji za ozke in široke smuči se v začetni fazi zavoja ne razlikujeta, ob koncu začetne faze pa se razcepita in tečeta vzporedno ena ob drugi, razlikujeta se v velikosti kotov – koti v kolenu so pri ozkih smučeh do 5° večji v primerjavi s širokimi smučmi. Krivulja »ozke smuči« narašča v fazi I in S1, kot narašča od 4 do 16° , v fazi S2 doseže največjo amplitudo, in sicer 17° , v začetku zaključne faze pa začne upadati in se zmanjša na skorajda začetno vrednost. Krivulja pri širokih smučeh narašča v prvih dveh fazah zavoja in doseže najvišjo vrednost v fazi S2, kjer so skozi celotno fazo vrednosti okoli $12,5^\circ$. V zaključni fazi vrednosti padejo na 7° . Sivina na grafu ponazarja velikost standardnega odklona.



Slika 16: Odmik kolenskega sklepa¹

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

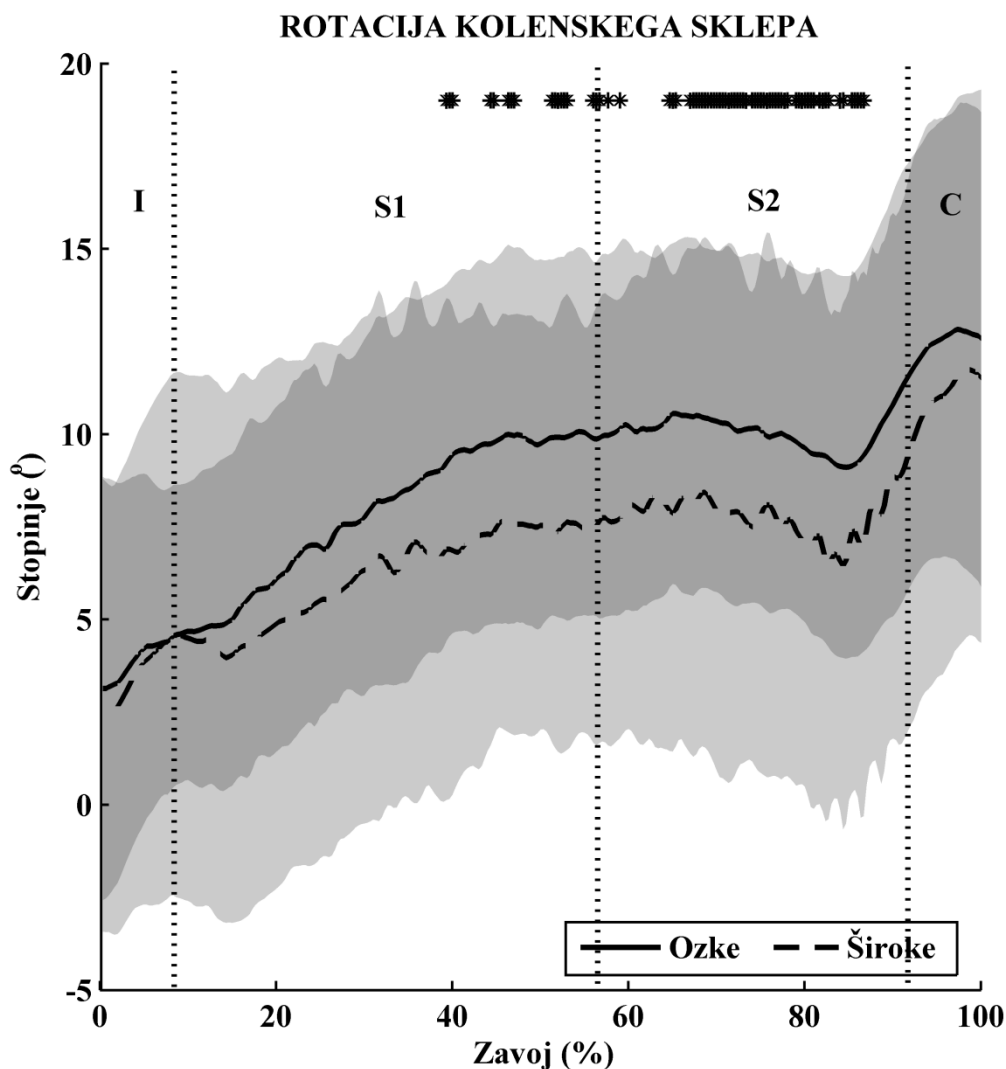
— ozke smuči; - - - - široke smuči; ***** – statistična značilna razlika ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

..... – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

¹ Pozitivne vrednosti na ordinatni osi predstavljajo **odmik** kolenskega sklepa, negativne vrednosti pa **primik** kolenskega sklepa.

Na sliki 17 vidimo povprečne vrednosti kotov pri rotaciji v kolenskem sklepu. Krivulji na grafu slike 17 ponazarjata gibanje kolenskega sklepa smučarjev, gledano v prečni ravnini.

Slika 17 prikazuje notranjo rotacijo kolena oziroma goleni na ozkih in širokih smučeh (vrednosti krivulj so pozitivne). Krivulja »ozke smuči« skozi zavoj narašča, tako kot tudi krivulja »široke smuči«, a so koti pri ozkih smučeh do 5° večji. Razlike med ozkimi in širokimi smučmi so statistično značilne ob koncu faze S1 in v fazi S2, kjer so vrednosti kotov pri širokih smučeh okoli $6,5^\circ$ in ob koncu faze S2 narastejo do 8° , koti na ozkih smučeh pa so z manjšimi odstopanji okoli 10° in se začnejo proti koncu zavoja povečevati, kjer dosežejo 13° . Opazimo lahko tudi, da gre za velik standardni odklon v kotih, na ozkih in na širokih smučeh.



Slika 17: Rotacija kolenskega sklepa²

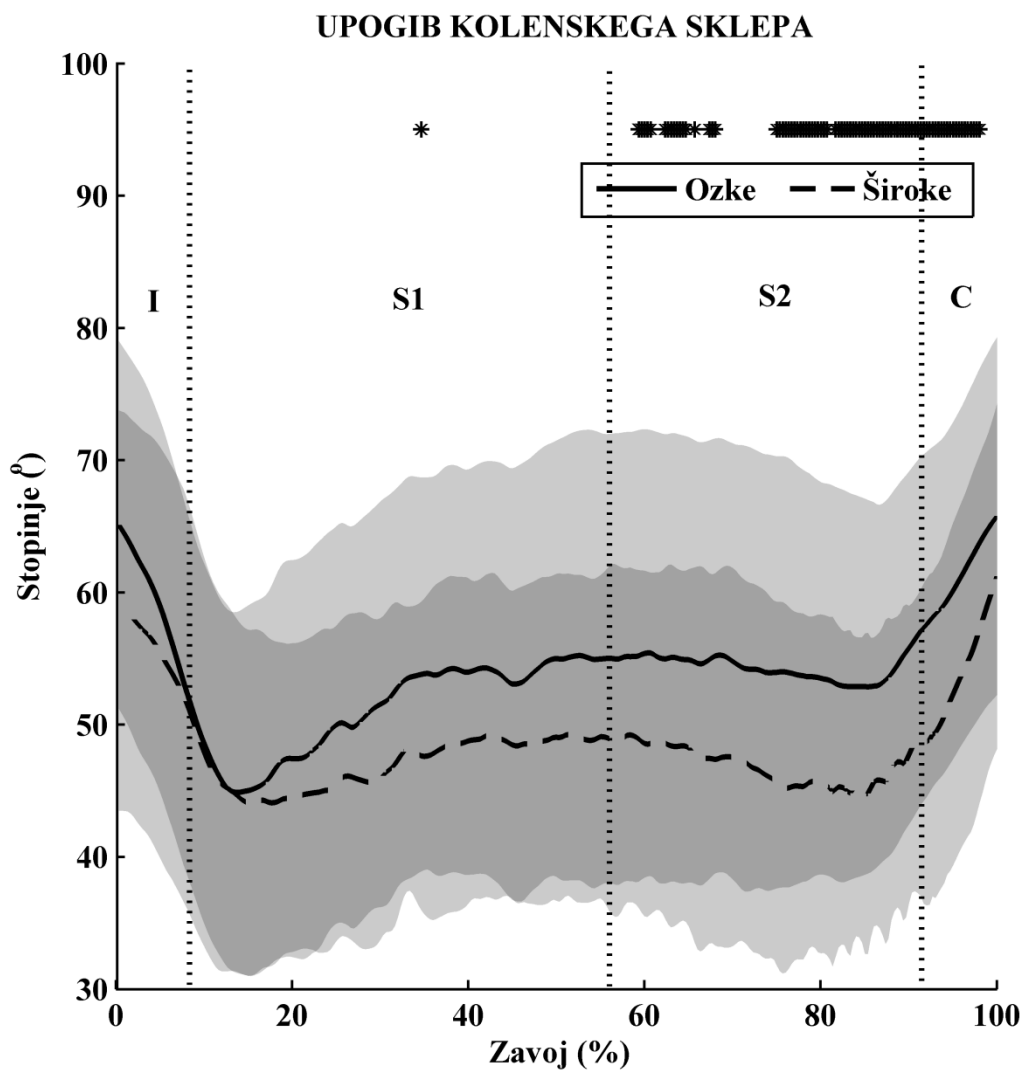
Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

— ozke smuči; - - - - široke smuči; ***** – statistična značilna razlika ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

..... – razdelitev zavoja na 4 faze: **začetna faza (I)**, **faza zavijanja 1 (S1)**, **faza zavijanja 2 (S2)** in **zaključna faza (C)**.

² Pozitivne vrednosti na ordinatni osi predstavljajo **notranjo rotacijo** kolenskega sklepa, negativne vrednosti pa **zunanjo rotacijo** kolenskega sklepa.

Tako kot na sliki 16 in sliki 17 gre tudi pri sliki 18 za povprečne vrednosti kotov v kolenu smučarjev, le da so tu prikazani upogibi. Vožnje so bile izvedene tako na ozkih kot tudi na širokih smučeh. Krivulji na grafu slike 18 ponazarjata gibanje kolena smučarjev, gledano v sredinski ravnini. Upogib kolenskega sklepa je večji na ozkih smučeh v primerjavi s širokimi. Obliki krivulj sta si podobni in potekata ena ob drugi, le da so koti pri širokih smučeh za 5° manjši. V prvih dveh fazah zavoja so razlike statistično neznačilne (sig. > 0,05), medtem ko so v zadnji dveh fazah značilne. Na sliki 18 vidimo, da gre pri upogibu za dokaj velik standardni odklon v kotih kolena smučarjev, tako kot pri odmiku kot pri rotaciji sklepa.



Slika 18: Upogib kolenskega sklepa³

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

— ozke smuči; - - - široke smuči; ***** – statistična značilna razlika ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

⋮ – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

³ Pozitivne vrednosti na ordinatni osi predstavljajo **upogib** kolenskega sklepa, negativne vrednosti pa **izteg** kolenskega sklepa.

Na koncu diplomskega dela v *Prilogi* pa so predstavljeni diagrami vsakega merjenja posebej, za vsak gib (kot) posebej.

4 RAZPRAVA

Ugotovili smo, da je bil upogib kolenskega sklepa večji na ozkih smučeh v primerjavi s širokimi. Statistično značilne razlike se kažejo v zadnjih dveh fazah zavoja. Zavrēči moramo hipotezo 1, s katero smo trdili, da ni razlik pri upogibu glede na različno širino smuči. Vidimo, da je amplituda upogiba največja v začetku faze I, kjer gre za fazo začetnega obremenjevanja smuči (še vedno čas »neaktivnega« vodenja zavoja oziroma prenosa teže) in so sile reakcije na podlago razmeroma majhne. Fazi I sledita fazi S1 in S2 (»aktivno« zavijanje), kjer so sile v zavoju največje, upogib pa je tu v povprečju najmanjši. Fazi aktivnega zavijanja sledi faza zaključevanja zavoja C, kjer se sile reakcije podlage zmanjšajo in se začne prenos teže. Razlike v upogibu so morda posledica tega, da so smučarji bolj navajeni na »stare«, ožje smuči, in je s tem tudi zaupanje vanje večje. Smučarji so tako zavzeli bolj tekmovalen (dinamičen) in nižji položaj. Pri analizi upogiba kolenskega sklepa opazimo, da gre pri združenih podatkih – desna in leva kolena samo zunanje noge – za večji upogib kolenskega sklepa na ožjih smučeh kot pri širokih.

Statistično značilne razlike se kažejo pri odmiku kolena. Večji odmik je na ozkih smučeh, kar je ravno nasprotno s hipotezo 2, kjer smo domnevali, da bo odmik večji na širših smučeh v primerjavi z ožjimi. Z biomehanskega vidika smo sklepali, da bodo smučarji na širših smučeh bolj izrazito pomaknili koleno navznoter, v medialni smeri, saj gre tukaj (zaradi samih smuči) za večji odmik prijemališča reakcijske sile podlage kot na ožjih smučeh. Možna razlaga zato bi bila lahko, da se človek vsakodnevno prilagaja na zunanje motnje. Tako so tudi smučarji prilagodili svoje položaje in gibanje v skladu s tem, da bi bile obremenitve in mišične sile čim manjše.

Pri obeh vrstah smuči vidimo, da gre za notranjo rotacijo goleni, saj so vrednosti obeh krivulj pozitivne, vendar pa opazimo, da so koti pri krivulji *ozke smuči* večji kot pa pri širokih smučeh, in sicer za okoli $2,5^\circ$. Razlike med ozkimi in širokimi smučmi so statistično značilne ob koncu faze S1 in v fazi S2. Zavrēči moramo tudi hipotezo III, kjer smo predvidevali, da gre za zunanjo rotacijo na obeh vrstah smuči, ki naj bi bila večja na širših smučeh. Kot smo omenili že v uvodu, prihaja pri upogibu do hkratnega povečanja notranje rotacije (Supej in Zorko, 2014), kar bi lahko veljalo tudi za naš primer. Vsekakor pa bi z nadaljnjimi študijami bilo zanimivo ugotoviti ali je povezava med upogibom in notranjo rotacijo zgolj slučajnost ali sta giba dejansko v povezavi.

Na meritvah kinematike kolenskega sklepa smučarjev so sodelovali učitelji smučanja, vsi tudi člani slovenske demonstratorske vrste, zato, da bi bile izpeljave voženj kar najbolj zanesljive, saj lahko demonstratorji zaradi visokega smučarskega znanja

tehniko smučanja z veliko verjetnostjo ponovijo. Merjenci so odsmučali postavitev proge (12-ih vratc) v zarezni tehniki na ozkih in širokih smučeh. Podatki so bili izmerjeni s pomočjo MVN-obleke in GNSS-sistema, kar predstavlja veliko prednost pred predhodnimi metodami zajemanja podatkov, ki so temeljile na sistemu video kamer. Slednje so se izkazale za zamudne in nepraktične predvsem pri športih, ki se izvajajo na večji površini; kakršno je tudi smučanje. Nova metoda merjenja (3D-metoda zajemanja podatkov) pa se izkaže kot zelo dobra tudi pri meritvah, kjer se oblika terena spreminja, saj ima preizkušane merilni set: MVN-obleko in GNSS-sistem na sebi (Supej, 2011).

Če primerjamo rezultate posameznega merjenja z rezultati, kjer je povprečje vseh štirih smučarjev, vidimo naslednje: Merjenec 3 izstopa od ostalih pri odmiku kolena, saj ima večji odmik na širokih smučeh kot na ozkih, pri ostalih je ravno obratno. Rotacija: pri Merjencih 1 in 3 gre za večjo notranjo rotacijo na ozkih smučeh, pri Merjencih 2 in 4 pa večjo notranjo rotacijo na širokih smučeh. Upogib: Merjenec 3 izstopa od ostalih v upogibu; večji upogib ima na širokih kot na ozkih smučeh. Torej opazimo lahko, da ima vsak smučar svojo tehniko v smislu posameznega giba segmentov, čeprav gre na videz pri vseh za enako gibanje. Potrebno se je zavedati, da so koti vseeno razmeroma majhni za opazovalca na terenu brez meritve, še posebej pa opazovanje otežuje dejstvo, da je stranski/lateralni upogib posledica vseh treh prostostnih stopenj v kolenskem sklepu.

Že v uvodu smo opisali, kako občutljiv na obremenitve je lahko kolenski sklep in iz tega so izhajale tudi naše hipoteze. Cilj naloge je sicer bil dosežen, saj smo grafično prikazali odzive kolena smučarja na različno širokih smučeh. Nismo pa potrdili hipotez; kot kaže, se človek različno prilagaja na zunanje spremembe in dražljaje in tako poskuša zavzeti takšen položaj, ki mu omogoča ugodje.

Rezultati študije se do neke mere ujemajo z nekaterimi drugimi študijami (Yoneyama et al., 2003), kjer so prav tako ugotavljali odmik in zunanjo rotacijo kolenskega sklepa v smučarskem zavoju, pri čemer pa v omenjeni študiji niso raziskovali vpliva različno širokih smučí na položaj kolena in tudi merjenje telesnih segmentov je bilo nekoliko drugačno.

Na podlagi meritev ne moremo zaključiti, katere smučí so dejansko nevarnejše oziroma pri katerih smučeh je nevarnost za poškodbe večja. Prisotna je vrsta omejitvenih dejavnikov, zaradi česar so rezultati pomanjkljivi. Eden glavnih razlogov je vsekakor majhen vzorec; težave z merilnimi napravami, kar je pri športih na prostem še toliko bolj verjetno, saj so pogoji zunaj v primerjavi s tistimi v laboratoriju spremenljivi. Med omejitvenimi dejavniki pa prav gotovo igrajo pomembno vlogo: različen teren, različne postavitve, različna struktura snega, različne vremenske razmere, različen del dneva ... Vse to so stresni dejavniki za smučarja, zato so tudi njegovi odzivi na to različni.

Nova geometrija smučí zelo vpliva na smučanje (kar se tiče prisotnosti velikih sil in navorov). Zato mora tudi smučarska tehnika temu slediti. Velika verjetnost je, da je naraščanje poškodb težava smučarjev samih, ki še niso dorasli novi tehniki

smučanja, ki je za takšno geometrijo smuči nujna. Tako je bila zamenjava klasičnih smuči za nove smuči s poudarjenim stranskim lokom v začetku devetdesetih let velika sprememba tudi za tekmovalno smučanje, zato so z zamenjavo odlašali do zadnjega trenutka. Dogodek, da so mlajši tekmovalci z novimi smučmi prehiteli starejše kolege na klasičnih smučeh je spodbudil, da je proizvodnja strmela le še k izdelovanju smuči s poudarjenim stranskim lokom (Supej, 2004). Povedati pa je potrebno, da se prednosti novih smuči kažejo le ob spremenjeni tehniki smučanja, zato je mišljenje, da je z »novimi« smučmi dosti lažje smučat pogosto napačno.

V nadaljnjih raziskavah bi bilo vsekakor smiselno primerjati rezultate za desni kolenski sklep posebej in za levega posebej, pri čemer bi se morda izrazila dominantnost spodnje okončine.

Inercialni merilni sistem MVN nam poleg kotov kolenskega sklepa poda tudi druge parametre kot so pospeški segmentov, kotni pospeški segmentov, težišče telesa..., kar omogoča tudi izračun kinetičnih parametrov. Zato bi bilo v prihodnje vsekakor zanimiva študija, ki bi obravnavala kinematiko kolenskega sklepa v primerjavi s kinetičnimi parametri.

Doslej še ni bilo narejenih raziskav na temo, kako lahko potencialno uporaba širših smuči negativno vpliva na obremenitev kolenskega sklepa, čeprav rezultati nakazujejo na povečane verjetnosti za poškodbe ravno zaradi potencialno večjih varusnih navorov na kolenski sklep. Obstajata dve možnosti: lahko je kolenski sklep v bolj neugodnem položaju (manj naravnem) na širših smučeh ali pa je varusni navor večji. Rezultati kažejo, da je koleno manj nagnjeno navznoter kar naj bi se kazalo v večjem navoru, še posebej zaradi večje ročice. Možno je, da so zaradi povečane ročice na smučki in posledično večjega varusnega navora na kolenu obkolenske mišične strukture toliko obremenjene, da smučar avtomatsko manj potisne koleno v neugoden položaj (pri večjim rotacijam in odmikom), četudi to negativno vpliva na končni varusni navor.

5 SKLEP

V diplomskem delu smo se dotaknili problematike, ki je kot nekakšen uvod za nadaljnje raziskave z vidika varnosti in preprečevanja poškodb na smučiščih, kar ima tako velik znanstveni kot tudi aplikativni potencial. Osredotočili smo se predvsem na kinematiko kolenskega sklepa pri smučarjih med izpeljavo smučarskega zavoja, in sicer na ozkih in na širokih smučeh, pri vožnji na trdi snežni podlagi. Analizirali smo kote v treh ravninah in na podlagi tega primerjali, kako se gibi razlikujejo glede na ozke oziroma široke smuči.

S študijo smo prikazali, da se kinematika kolenskega sklepa s širjenjem smuči pod čevljem znatno spremeni. Na podlagi naših rezultatov lahko sklepamo, da vektor reakcijske sile podlage pri širokih smučeh morebiti ne seka več kolenske osi. Zanesljivo tega sicer ne moremo trditi, ker ne poznamo dejanskega položaja smučarjevega težišča oziroma se v pričujoči nalogi z velikostjo in smerjo sil nismo ukvarjali. V primeru, da pa dejansko prihaja do odmika kolena od poteka sile podlage na širokih smučeh, pa lahko to povzroča večje navore v čelni ravnini, kar bi lahko bil eden od vzrokov za poškodbe kolena.

V zadnjem času je industrija smučarske opreme zelo napredovala. Najprej s povečanjem stranskega roba smuči (začetki »carving« smuči), še novejši trend pa je širjenje smuči pod čevljem in hkrati nižanje podložne plošče. Nova geometrija smuči zahteva tudi spremembo tehnike smučanja, ki pa je še vedno za določen del populacije neznan in neosvojen, kar pa se kaže tudi v porastu poškodb na smučiščih.

Eden od naših posrednih ciljev je bil, da bi bila naloga v pomoč različnim strokovnjakom na področju razvijanja smučarske opreme, trenerjem smučanja in ne nazadnje rekreativcem, saj bi širše poznavanje problematike morda pripomoglo k zmanjšanju poškodb na belih strminah. V nadaljnjih raziskavah bi bilo smiselno izmeriti tudi velikosti sil in določiti njihovo smer, saj bi tako lahko konkretno izračunali navore v kolenu, s tem pa tudi lažje potrdili oziroma ovrgli naše domneve.

6 VIRI

Antolič, V. (1995). Osnove klinične biomehanike kolena. *Medicinski razgledi*, 34, 263–268.

Avramović, B. (2012). Pridobljeno 9. 9. 2014, iz: <http://smart-movement.com/2012/02/>

Casolo, F. & Lorenzi, V. (2001). Relevance of ski mechanical and geometrical properties in carving technique: A dynamic simulation. In Mueller, E., Scwameder, H., Raschner, C., Lindinger, S. & Kornexl, E., (Eds.), *Science and Skiing II* (pp 165–179). Hamburg: Verlag Dr. Kovač.

Dahmane - Gošnak, R. (1998). *Ilustrirana anatomija*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

Elan. (2013). Pridobljeno 29. 5. 2013, iz <http://www.elanskis.com/sl/product/waveflex-11-gt.html>

Guček, A. (1998). *Po smučinah od pradavnine – zgodovina smučanja*. Ljubljana: Magnolija.

Hewett, T. E., Ford, K. R., Hoogenboom, B. J. and Myer, G. D. (2010). Understanding and preventing acl injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations – update 2010. *North American Journal of Sports and Physical Therapy*, 5(4), 234–251.

Howe, J. (2001). *The new skiing mechanics: Including the technology of short radius carved turn skiing and the Claw® ski*. Waterford: McIntire Publishing.

Humar, B. (2009). Kako so v resnici nastale elanke carving. *Manager +*, 19, Pridobljeno 29.5.2013 iz <http://www.finance.si/253400/Kako-so-v-resnici-nastale-elanke-carving>

Jerkan, M. Povrede ligamenta kolena. Pridobljeno 30. 11. 2013 iz <http://www.stetoskop.info/Povrede-ligamenta-kolena-3907-c54-content.htm>

Kugovnik, O., Supej, M. in Nemeč, B. (2003). *Biomehanika alpskega smučanja*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.

Lešnik, B. (1999). *Definiranje in primerjava učinkovitosti gibalnih struktur sodobnih veleslalomskih tehnik*. Doktorska disertacija, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.

Lešnik, B. in Žvan, M. (2007). *Naše smučine: teorija in metodika alpskega smučanja*. Ljubljana: SZS-ZUTS Slovenije.

Levine, H. B. & Bosco III, J. A. (2007). Sagittal and Coronal Biomechanics of the Knee. *Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases*, 65 (1), 87–95.

Maquet, PGJ. (1984). *Biomechanics of the knee*. Berlin: Springer, 15–285.

Müller, E., Bartlett, R., Raschner, C., Schwameder, H., Benko-Bernwick, U. & Lindinger, S. (1998). Comparisons of the ski turn techniques of experienced and intermediate skiers. *Journal of Sports Science*, 16 (6), 545–559.

Petrovič, K., Belehar, I., Petrovič, R., Kaše, E. in Žnidaršič, J. (1987). *Po Rokovih smučinah*. Agencija za tržišne komunikacije OSSA in Založba Drava Celovec.

Petrovič, R. (1992). Smeri razvoja tehnike v alpskem smučanju (kratka analiza tehničnih disciplin na olimpijskih igrah). *Šport*, 40 (4), 16–17.

Pulko, S. (2012). *Energijska analiza alpskega smučarja*. Diplomsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko.

Rxbound. (2012). Pridobljeno 30. 5. 2013, iz http://www.rxbound.com/2012_04_01_archive.html

Smith, P. N., Refshauge, K. M. and Scarvell, J. M. (2003). Development of the concepts of knee kinematics. *Arch Phys Med Rehab*; 84: 1895-902.

Specifications for competition equipment and commercial markings. (2012). Pridobljeno 29. 5. 2013, iz http://www.fis-ski.com/data/document/competition-equipment_1213_aug12.pdf

Specifications for competition equipment and commercial markings. (2014). Pridobljeno 6.3.2015, iz http://www.fis-ski.com/mm/Document/documentlibrary/AlpineSkiing/04/31/04/Competitionequipment_1415_clean_Neutral.pdf

Supej, M., Kugovnik, O. Nemeč, B. in Šmitek, J. (2001). Doba smučanja s sledenjem telesa – Tekmovalna slalomski tehnika z vidika biomehanike. The era of skiing with following of the body – Racing slalom technique from the biomechanical point of view. *Šport*, 49 (4), 49–55.

Supej, M., Kugovnik, O. in Nemeč, B. (2002) – III. Kako biti najhitrejši v veleslalomu na svetovnem pokalu [How to be the fastest on the World cup giant slalom race]. *Šport*, 50(4), 9-13.

Supej, M. (2004). *Vpliv spremenjenih biomehanskih parametrov na tekmovalno slalomsko tehniko: doktorska disertacija*. Ljubljana.

Supej, M. (2011). Nova metodologija 3D merjenja v športu s poudarkom na alpskem smučanju: MVN in RTK GNSS = New 3D measurement methodology for sport with emphasis on alpine skiing: MVN and RTK GNSS. *Šport (Ljublj.)*, 59, (3/4), 171–178.

Supej, M., Kugovnik, O. & Nemeč, B. (2003). Kinematic determination of the beginning of a ski turn. *Kinesiologija Slovenica*, 9 (1), 5–11.

Supej, M. & Holmberg, H.-C. (2010). How Gate Setu and Turn Radii Influence Energy Dissipation in Slalom Ski Racing. *Journal of Applied Biomechanics*, 26, 454–464.

Supej, M. in Zorko, M. (2014). Osnove biomehanike kolenskega sklepa. *Medicina športa*. 7–10.

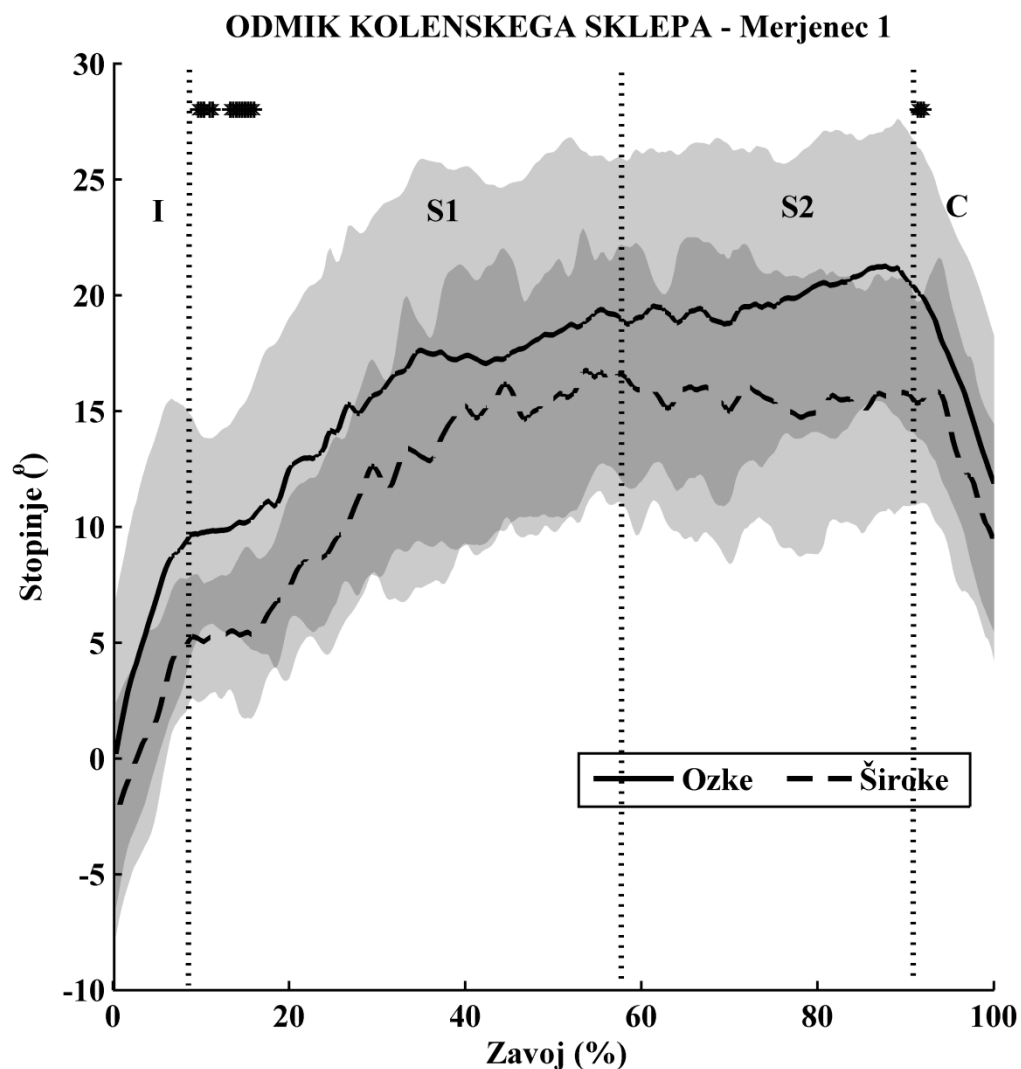
Tooms, RE. (1987). Arthroplasty of ankle and knee. In: Crenshaw, AH., ed. *Campbell's Operative Orthopaedics*. St. Louis: Mosby Company, 1152–211.

Xsens. (2013). Pridobljeno 2. 6. 2013, iz http://www.analog.com/en/content/cs_xsens_customer_story/fca.html

Travnik, L., Košak, (2004). R. Anatomija in biomehanika kolenskega sklepa. Pridobljeno 20. 2. 2014, iz: <https://www.mf.uni-lj.si/dokumenti/a8458f5f3fc5406030adc6f4a0a15cdb.pdf>

Yoneyama T., Kagawa H., Okamoto A., Sawada M. (2003). Joint motion and reating forces in the carving ski turn compared with conventional ski turn. *Sports Engineereing* 3, 161–176.

7 PRILOGE

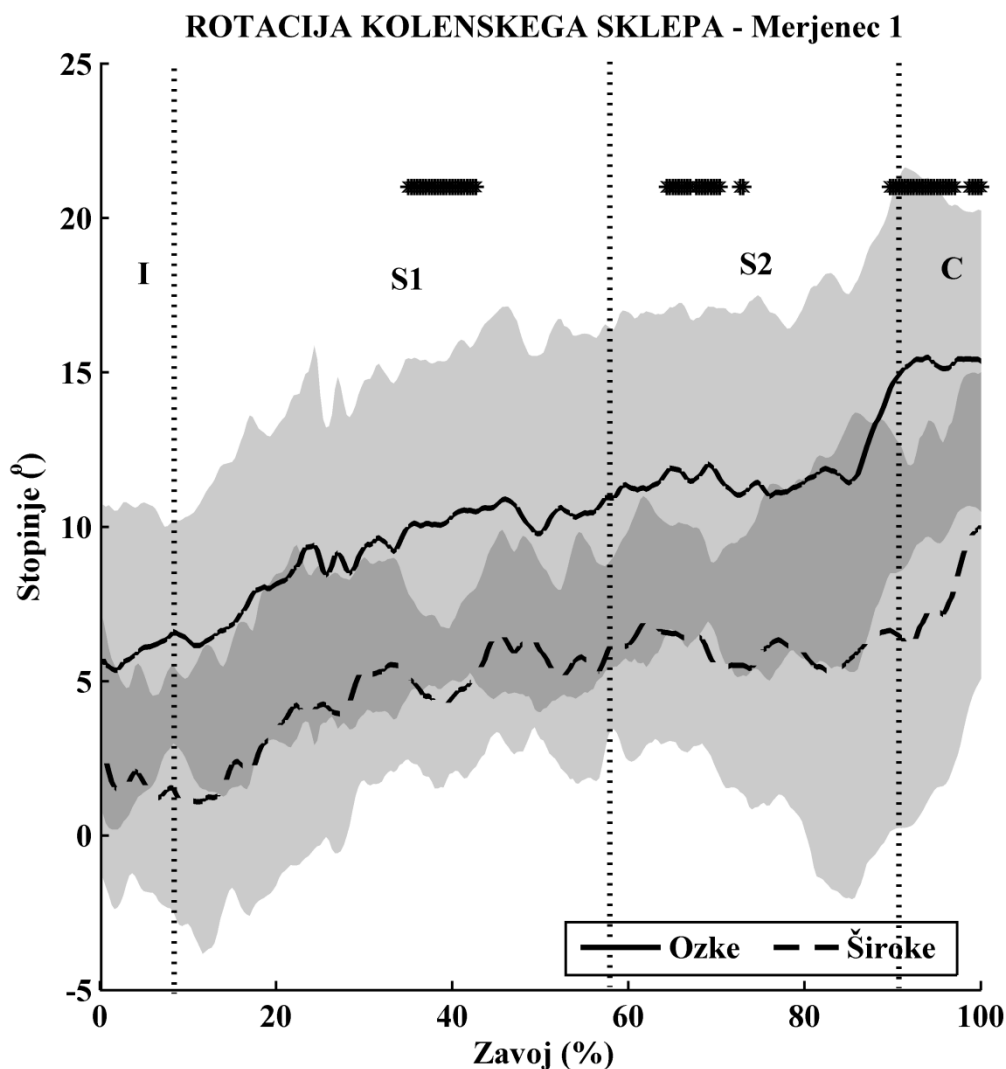


Slika 19: Odmik kolenskega sklepa – Merjenec 1

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

— ozke smuči; - - - - široke smuči; ***** – statistična značilnost ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

..... – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

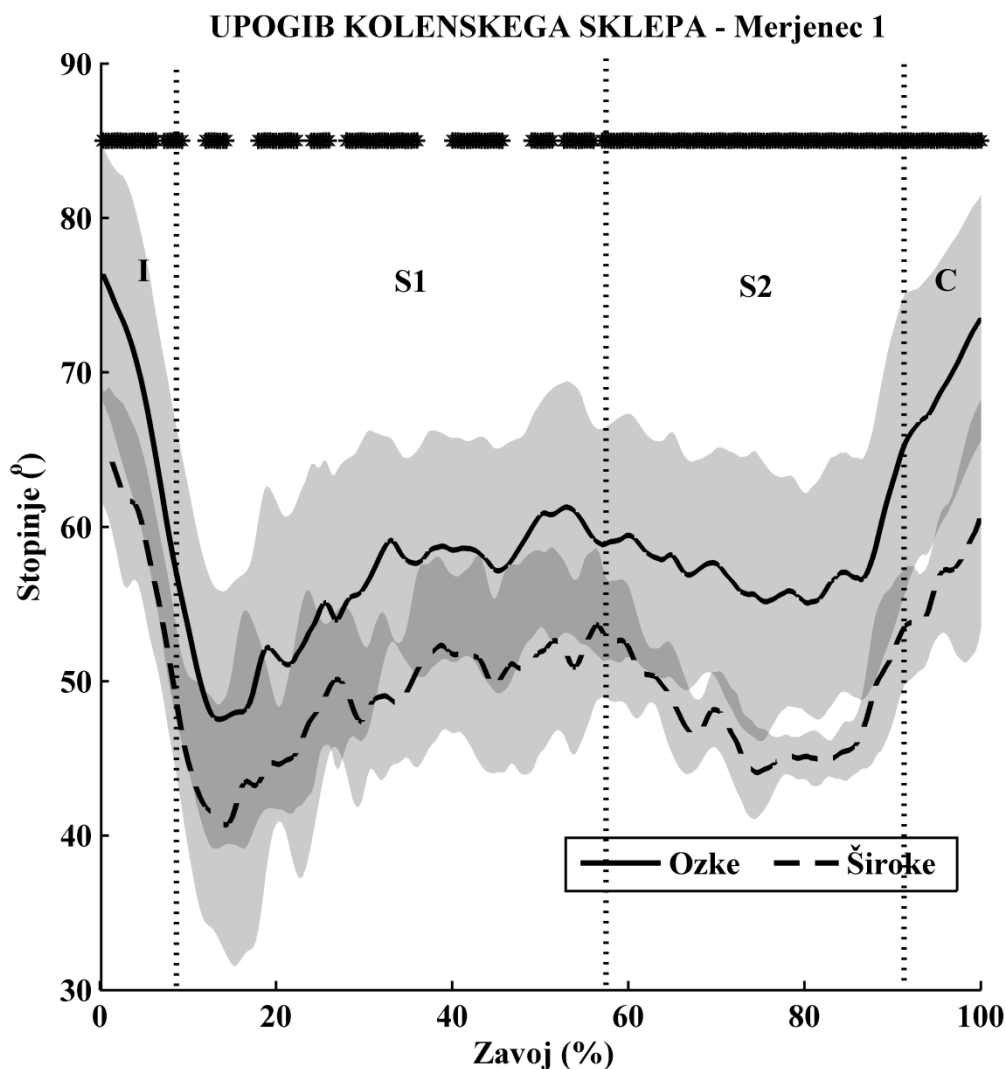


Slika 20: Rotacija kolenskega sklepa – Merjenec 1

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

— ozke smuči; - - - - široke smuči; ***** – statistična značilnost ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

⋮ – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

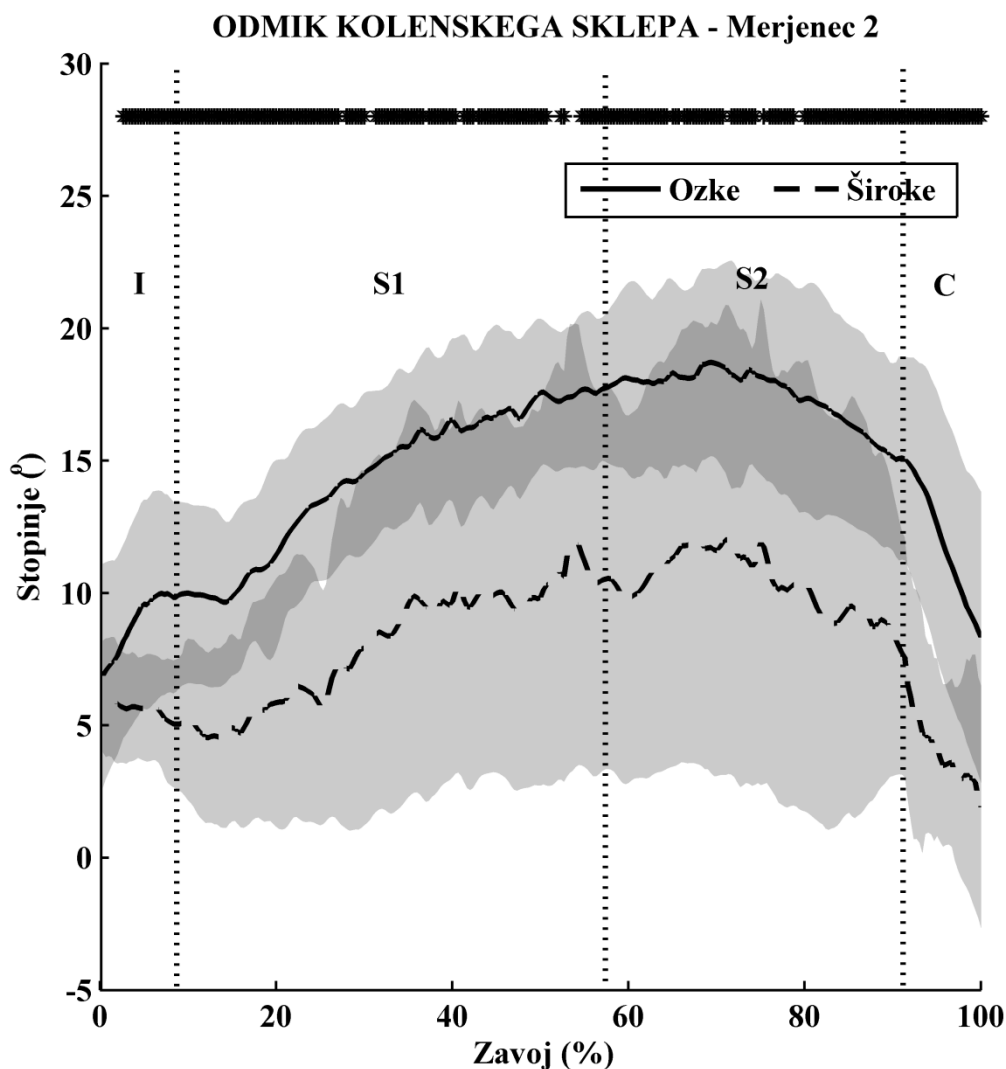


Slika 21: Upogib kolenskega sklepa – Merjenec 1

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

— ozke smuči; - - - - široke smuči; ***** – statistična značilnost ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

..... – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

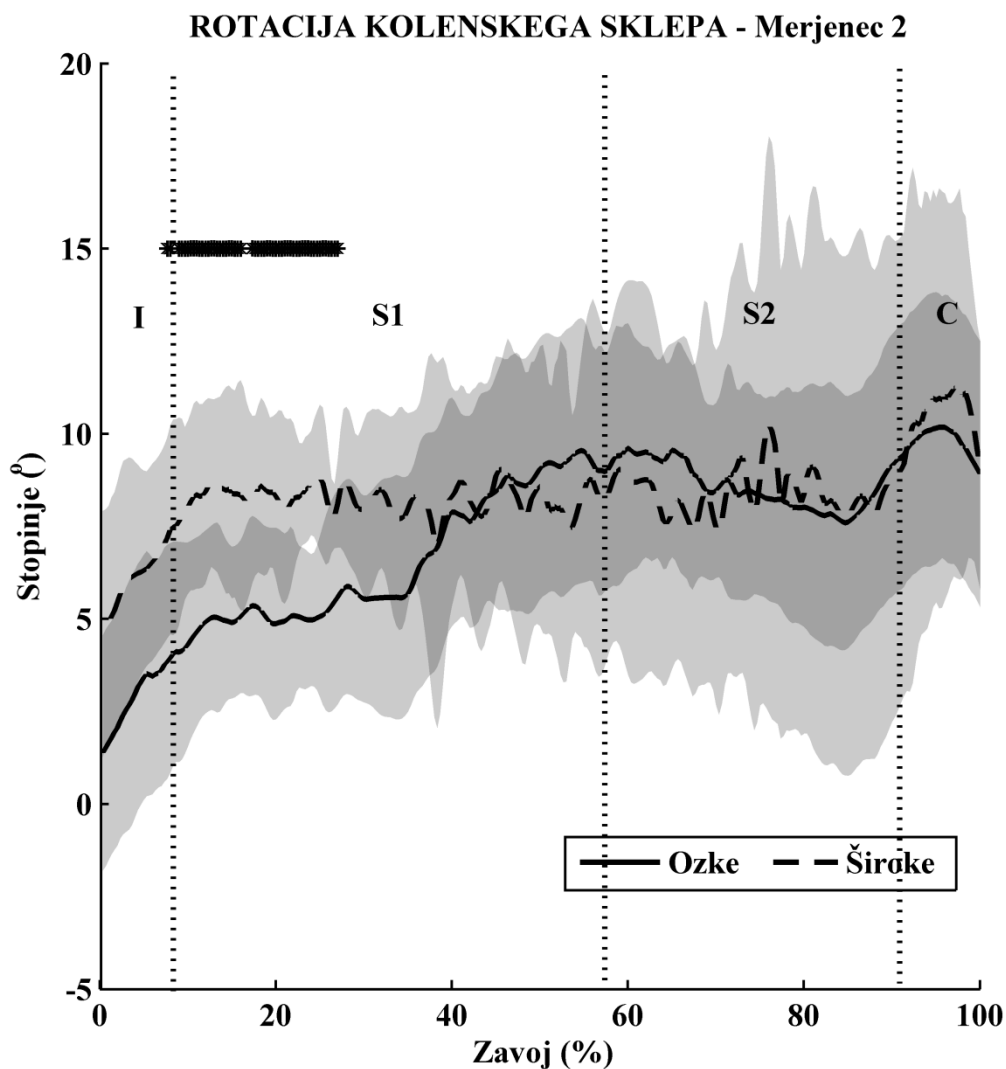


Slika 22: Odmik kolenskega sklepa – Merjenec 2

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

—— ozke smuči; - - - - široke smuči; ***** – statistična značilnost ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

..... – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

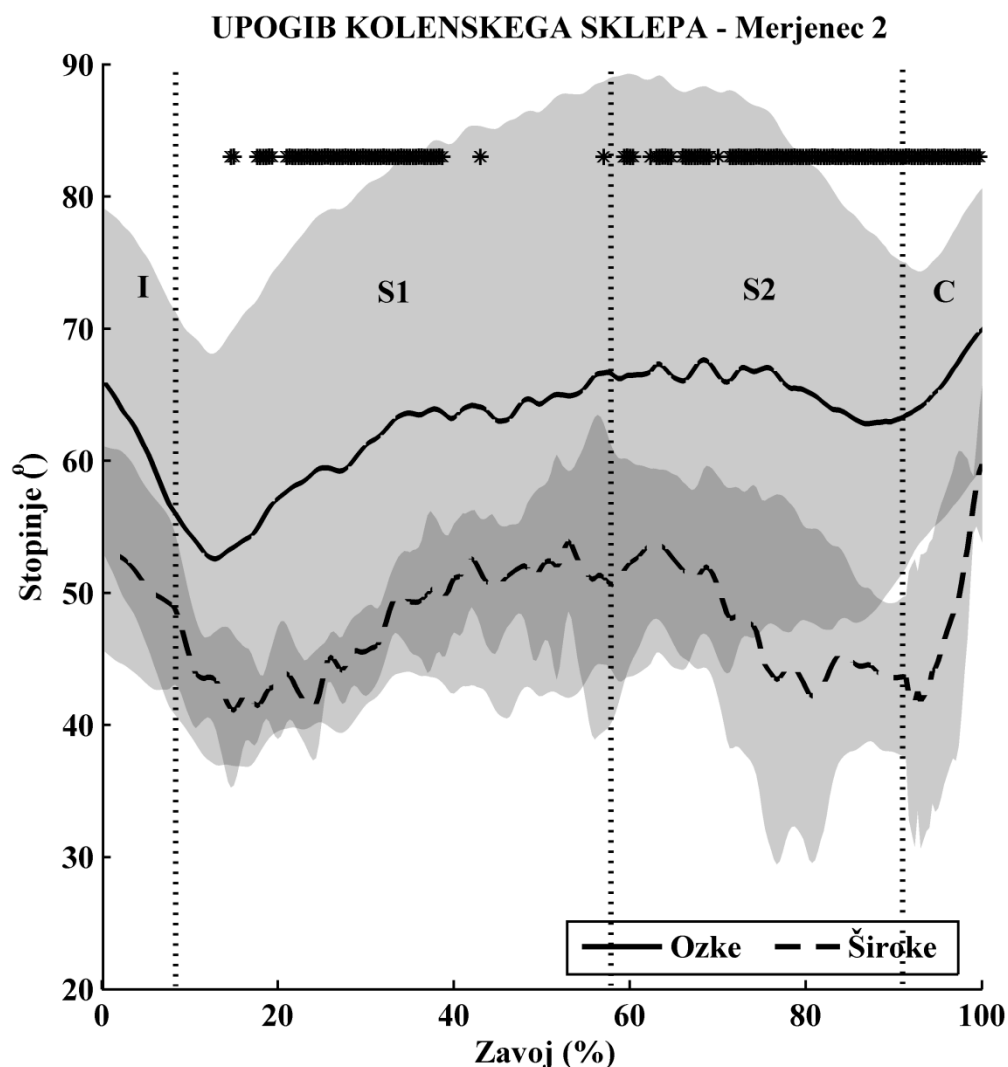


Slika 23: Rotacija kolenskega sklepa – Merjenec 2

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

— ozke smuči; - - - - široke smuči; ***** – statistična značilnost ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

..... – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

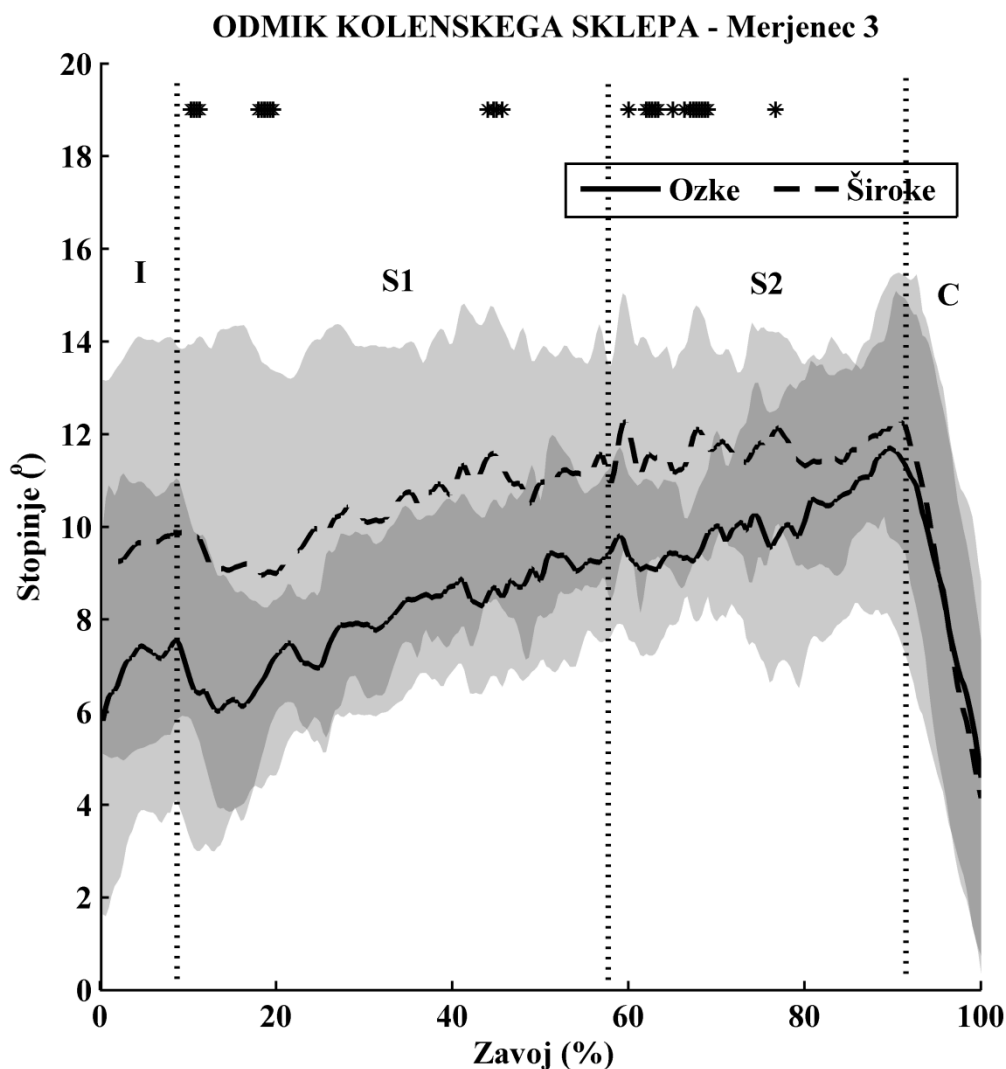


Slika 24: Upogib kolenskega sklepa – Merjenec 2

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

— ozke smuči; - - - - široke smuči; ***** – statistična značilnost ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

..... – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

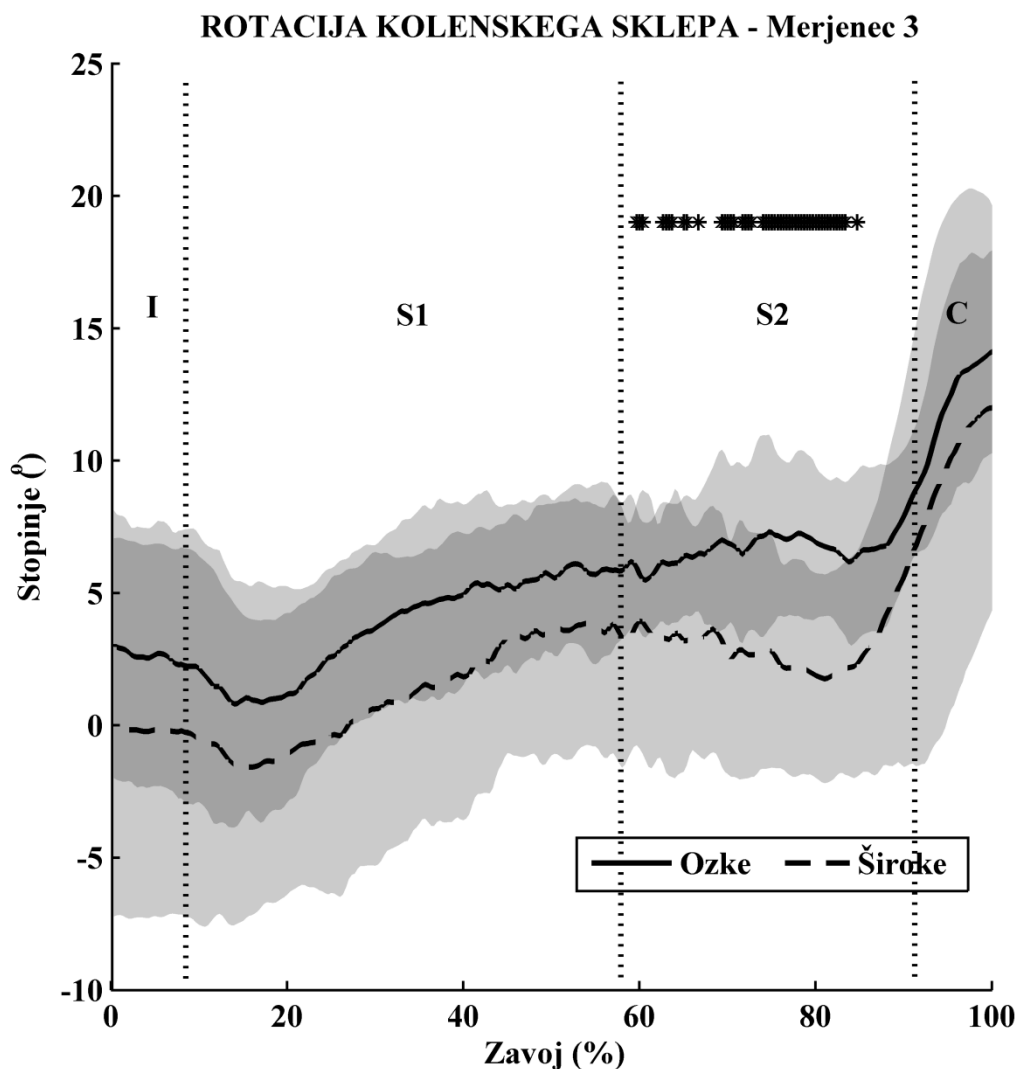


Slika 25: Odmik kolenskega sklepa – Merjenec 3

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

— ozke smuči; - - - - široke smuči; ***** – statistična značilnost ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

..... – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

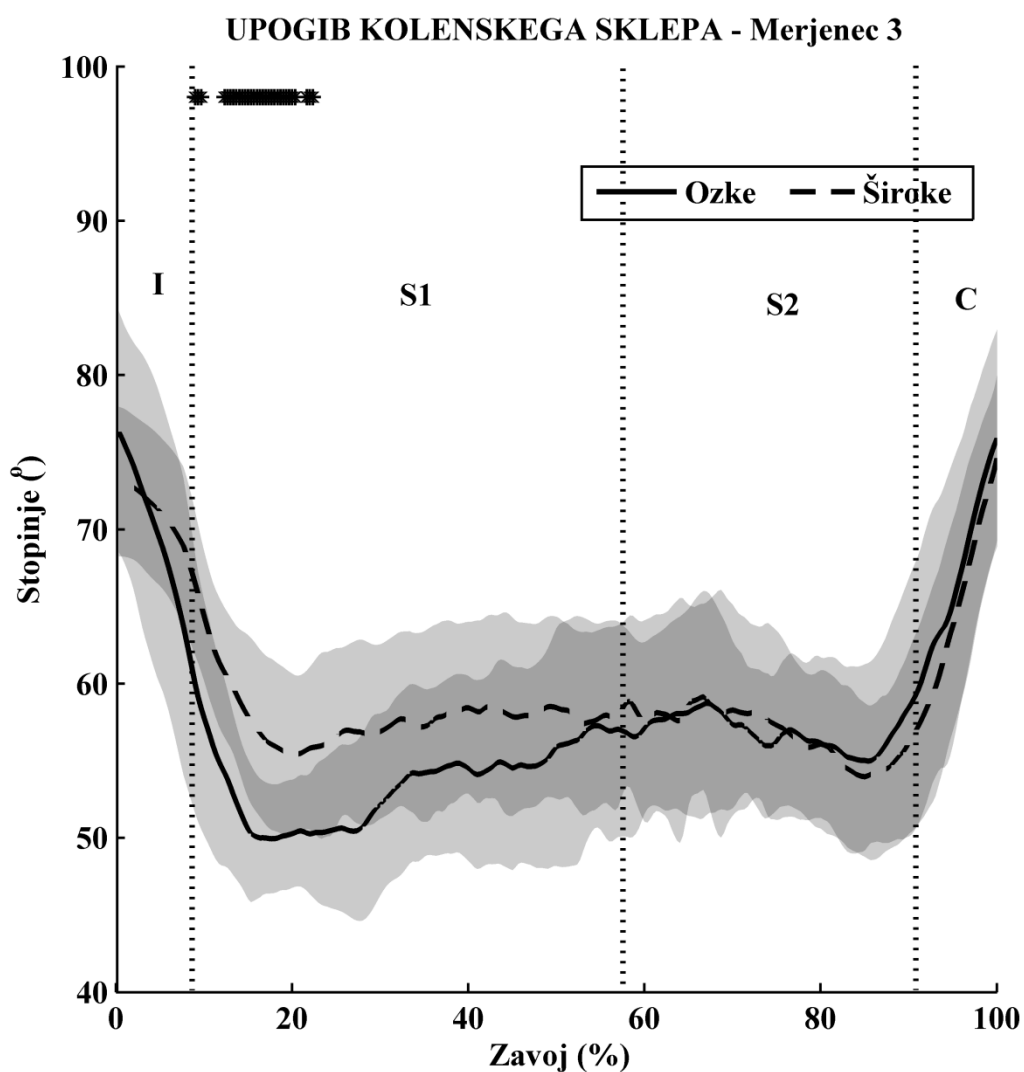


Slika 26: Rotacija kolenskega sklepa – Merjenec 3

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

— ozke smuči; - - - - široke smuči; ***** – statistična značilnost ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

⋮ – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

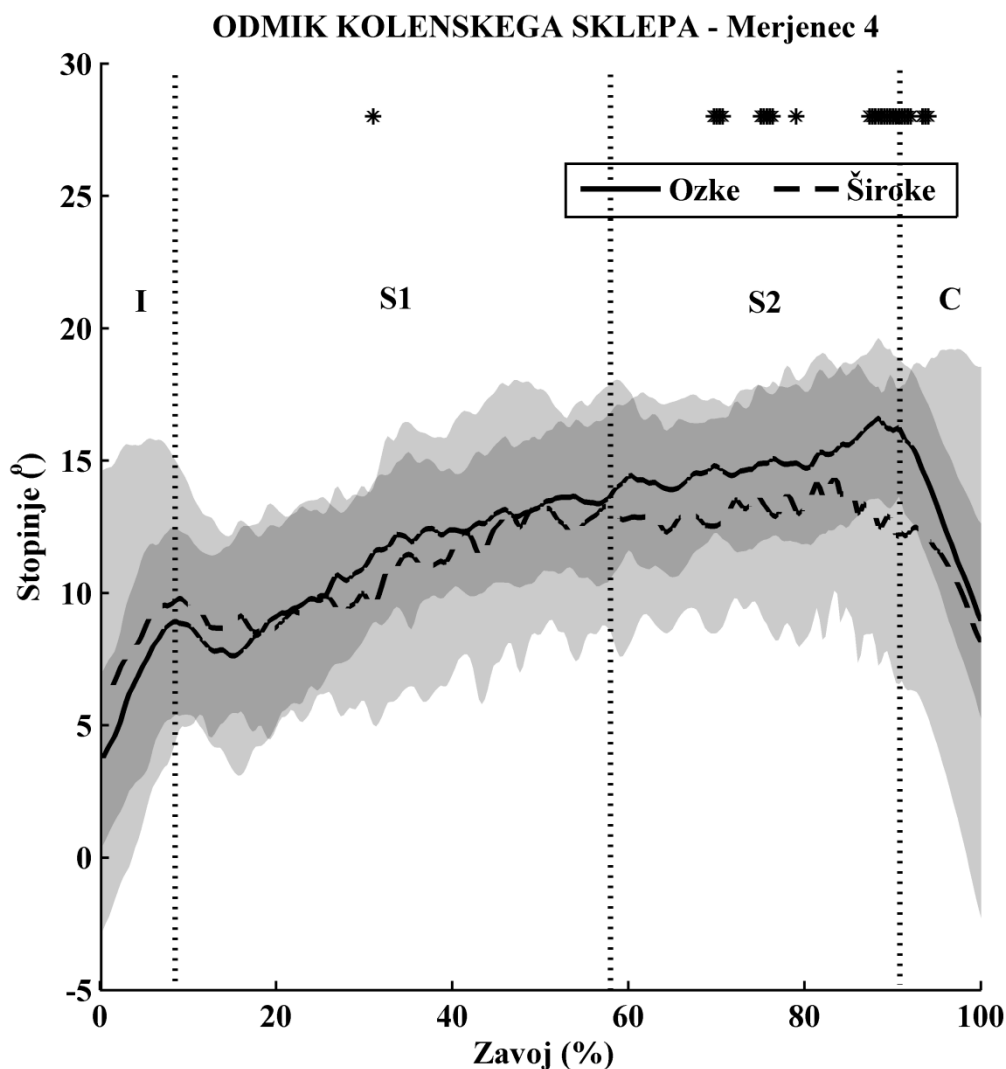


Slika 27: Upogib kolenskega sklepa – Merjenec 3

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

— ozke smuči; - - - - široke smuči; ***** – statistična značilnost ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

..... – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

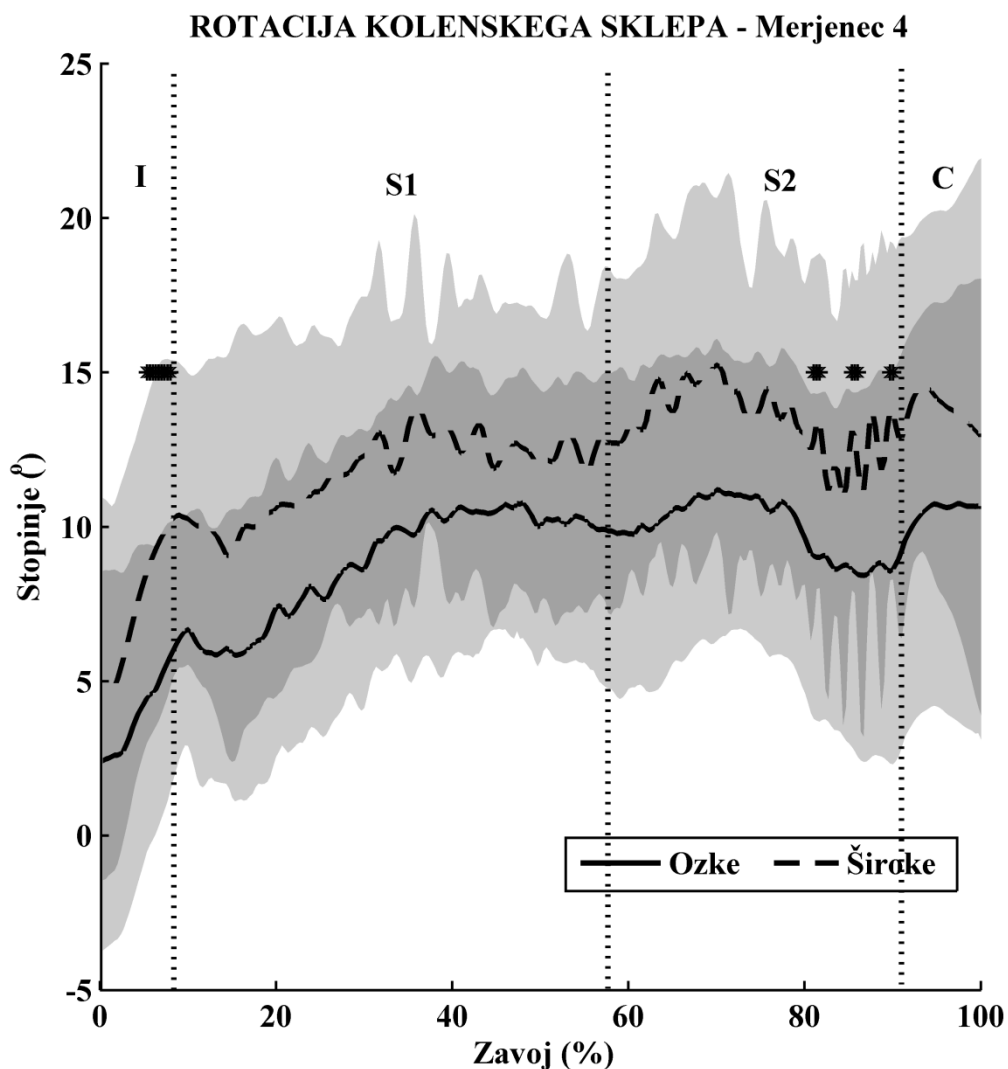


Slika 28: Odmik kolenskega sklepa – Merjenec 4

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

—— ozke smuči; - - - - široke smuči; ***** – statistična značilnost ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

..... – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

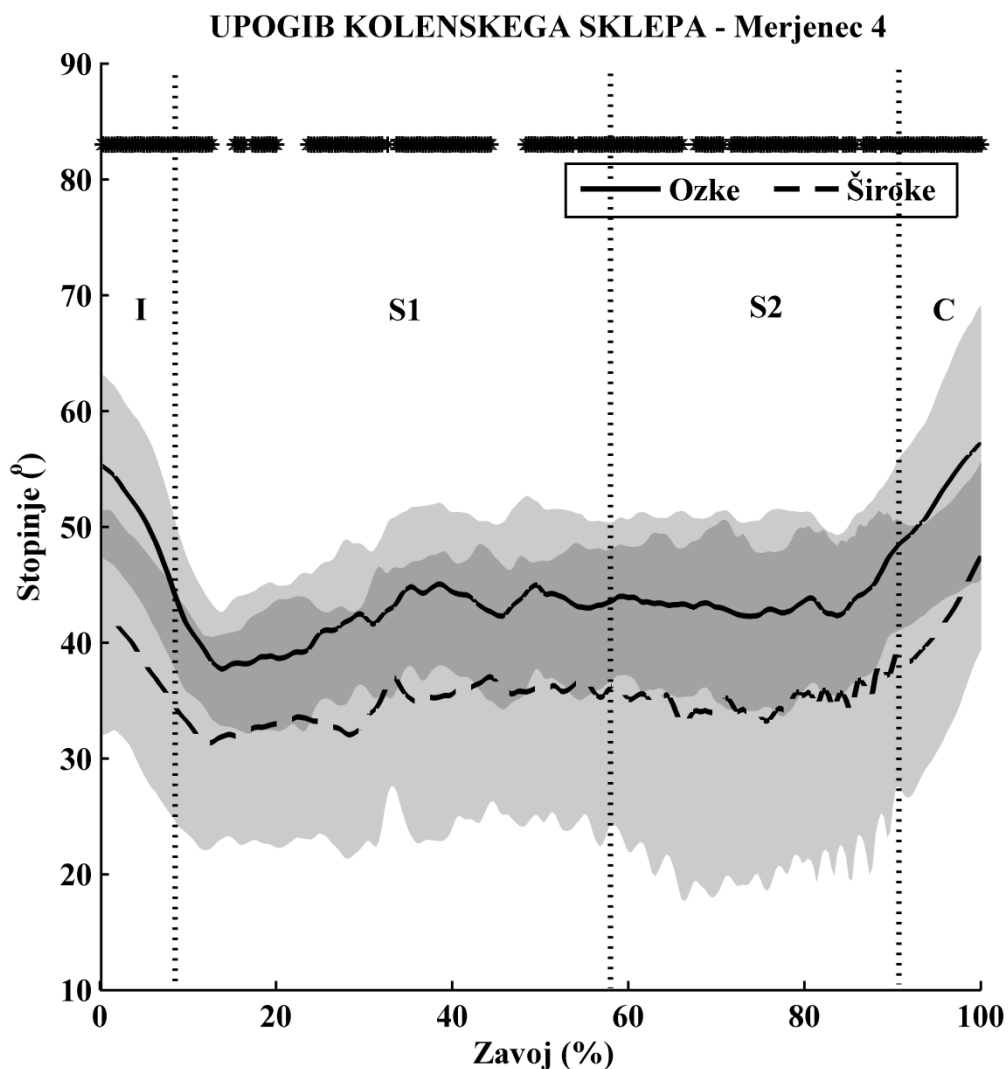


Slika 29: Rotacija kolenskega sklepa – Merjenec 4

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

—— ozke smuči; ---- široke smuči; ***** – statistična značilnost ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

..... – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).

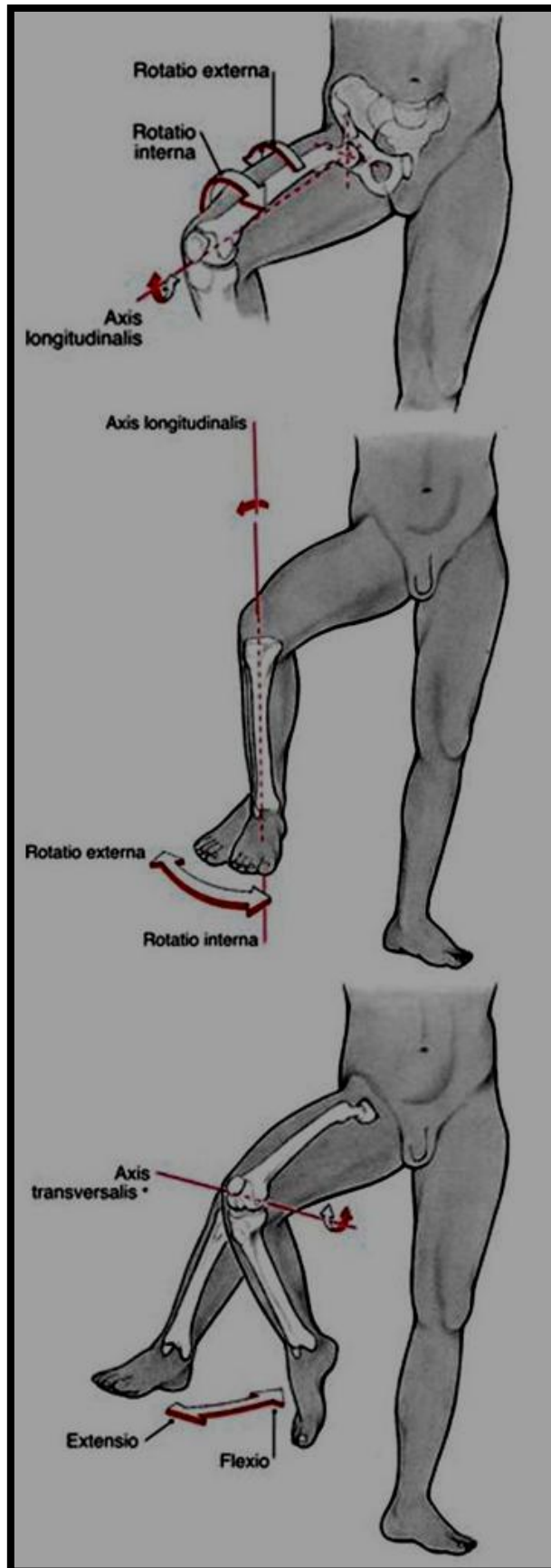


Slika 30: Upogib kolenskega sklepa – Merjenec 4

Legenda: abscisna os – cikel zavoja (%); ordinatna os – kot v kolenskem sklepu (°);

—— ozke smuči; ---- široke smuči; ***** – statistična značilnost ($p < 0,05$); ■ – standardna deviacija; ■ – presek standardnih deviacij;

..... – razdelitev zavoja na 4 faze: začetna faza (I), faza zavijanja 1 (S1), faza zavijanja 2 (S2) in zaključna faza (C).



Slika 31: Gibi v kolenskem sklepu (Jerkan, 2013)