

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

studij za stjecanje visoke stručne spreme

i stručnog naziva: profesor kineziologije, magistar kineziologije

Antonija Golubić

**ČIMBENICI RIZIKA NASTANKA**  
**OZLJEDA HAMSTRINGSA U SPORTU**

(diplomski rad)

Mentor:

prof.dr.sc. Goran Marković

Zagreb, lipanj 2015.

## ČIMBENICI RIZIKA NASTANKA OZLJEDA HAMSTRINGSA U SPORTU

### SAŽETAK

Cilj je ovog rada dati pregled i na jednom mjestu sažeti najvažnije spoznaje iz relevantne literature o mehanizmima, čimbenicima rizika i učinkovitim mjerama prevencije nastanka ozljeda hamstringsa. Rad će prikazati važnost i ulogu mišića hamstringsa u sportu, dominantno u sprinterskim aktivnostima kod kojih najčešće i dolazi do nastanka ozljede hamstringsa, specifičnosti anatomije mišića hamstringsa te najučestalije mehanizme nastanka ozljede (istezajući tip i sprinterski tip). Glavni je cilj rada, na temelju pregledane dostupne literature, definirati i prikazati koji su specifični ekstrinzični i intrinzični čimbenici rizika koji sportaša dovode u povećanu opasnost od nastanka ozljede hamstringsa, te koje su učinkovite mjere prevencije od nastanka takvih ozljeda u sportaša.

Ozljede mišića hamstringsa jedne su od najčešćih ozljeda u sportaša, posebice u sportovima u kojima dominiraju sprinterske aktivnosti. Dva su najčešća mehanizma nastanka ozljeda hamstringsa, istezajući tip i sprinterski tip ozljede. Istezajući tip ozljede najčešće se javlja u sportovima kao što je ples. S druge strane, sprinterski tip ozljede se najčešće javlja u sportovima u kojima dominiraju brze, balističke aktivnosti, velika ubrzanja i usporavanja te nagle promjene smjera kretanja. Rizikni čimbenici ozljede hamstringsa mogu se podijeliti u dvije općenite kategorije: intrinzični čimbenici i ekstrinzični čimbenici rizika. Nadalje, čimbenici rizika mogu biti promjenjivi ili nepromjenjivi. Danas je poznato kako se rizik od ozljede hamstringsa može značajno umanjiti i to tako da se djeluje na otklanjanje ili modifikaciju poznatih promjenjivih čimbenika rizika. U tom smislu potrebno je provoditi učinkovite mjere prevencije koje trebaju biti sastavni dio treninga sportaša kako bi se što je moguće više umanjio rizik od njegova ozljeđivanja.

### KLJUČNE RIJEČI:

ekscentrična kontrakcija, ekstrinzični čimbenici rizika, intrinzični čimbenici rizika, istezajući tip ozljede, mišići hamstringsa, sprinterski tip ozljede

# **THE RISK FACTORS OF HAMSTRING INJURIES IN SPORTS**

## **SUMMARY**

The aim of this thesis is to provide an overview of relevant literature and to summarize the most important findings on the mechanisms, risk factors and effective measures for prevention of hamstring injuries. The thesis will provide relevant information about the importance and role of hamstring muscles in sports, predominantly in sprint activities, in which hamstring injuries usually occur, the anatomical specifics of a hamstring muscle and the most common hamstring injuries mechanisms (stretch type and sprint type). Therefore, the main objective of this thesis, based on the reviewed literature, is to define and display specific and most common extrinsic and intrinsic risk factors that lead to increased risk of hamstring injuries among athletes. The effective measures for prevention of hamstring injuries in sport will also be presented.

Hamstring muscle injury is one of the most common injuries in sports, especially in sports in which sprint activities are dominant. Two of the most common hamstring injuries mechanisms are stretch type and sprint type. The stretch type of injury is most common among sports such as dancing. On the other hand, sprint type of injury is most common among sports in which sprint activities, great acceleration and deceleration, and frequent directional changes are dominant. Risk factors for hamstring injuries can be divided into two general categories: intrinsic and extrinsic risk factors. Furthermore, those risk factors can be either adjustable or non-adjustable. It is known that the risk of a hamstring injury may be significantly reduced by acting on, adjusting and/or eliminating the known adjustable risk factors. In this context, it is necessary to implement effective prevention measures as an integral part of the athletes training in order to reduce the risk of hamstring injuries.

## **KEY WORDS:**

eccentric contraction, extrinsic risk factors, hamstring muscles, intrinsic risk factors, sprint type of injury, stretch type of injury

## SADRŽAJ

1. Specifičnosti anatomije hamstringsa.....	6
1.1. Anatomski položaj.....	6
1.2. Inervacija.....	8
1.3. Fiziološka građa hamstringsa.....	8
1.4. Funkcija.....	9
2. Uloga mišića hamstringsa u lokomociji.....	10
2.1. Ciklus trčanja.....	10
2.2. Aktivnost mišića hamstringsa u pojedinim fazama ciklusa trčanja.....	11
2.3. Uloga mišića hamstringsa u pojedinim fazama ciklusa trčanja.....	12
2.4. Dužina mišića hamstringsa u pojedinim fazama ciklusa trčanja.....	13
3. Ozljede hamstringsa.....	15
3.1. Prevalencija ozljeda mišića hamstringsa.....	15
3.2. Prevalencija ponovljene ozljede mišića hamstringsa.....	16
3.3. Mehanizam ozljede hamstringsa.....	17
3.3.1. Klasifikacija ozljeda hamstringsa.....	19
3.3.2. Tipični mehanizam ozljede hamstringsa.....	20
3.3.2.1. Sprinterski tip ozljede.....	21
3.3.2.2. Istezajući tip ozljede.....	22
3.4. Brzina oporavka.....	23
4. Čimbenici rizika nastanka ozljede hamstringsa.....	24
4.1. Intrinzični čimbenici rizika.....	25
4.1.1. Prijašnja ozljeda.....	25
4.1.2. Ozljede donjeg dijela leđa, kuka, koljena ili gležnja.....	26
4.1.3. Anatomske specifičnosti građe hamstringsa.....	27
4.1.4. Demografske karakteristike.....	29
4.1.4.1. Etnicitet.....	29
4.1.4.2. Dob.....	30
4.1.5. Neravnoteža jakosti i snage.....	31
4.1.5.1. Nedostatak jakosti mišića hamstringsa.....	31
4.1.5.2. Bilateralna asimetrija jakosti hamstringsa.....	32

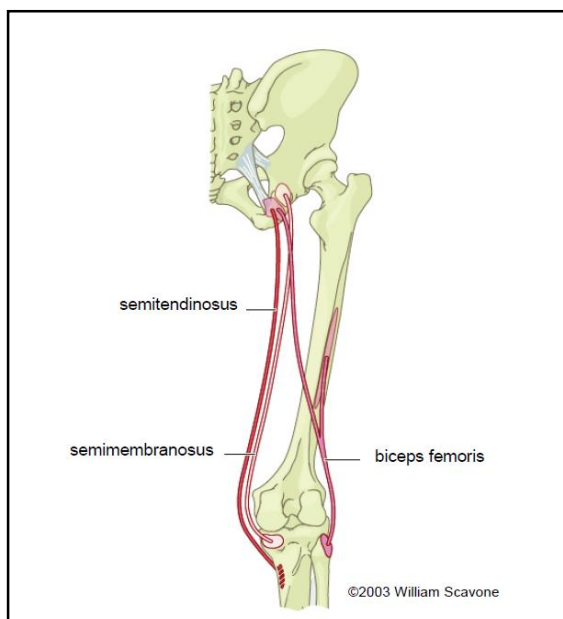
4.1.5.3. Asimetrija jakosti hamstringsa u odnosu na kvadriceps ipsilateralne noge (H:Q odnos).....	32
4.1.6. Kut maksimalnog momenta sile fleksora koljena i fleksora kuka.....	34
4.1.7. Stabilnost trupa.....	35
4.1.8. Fleksibilnost.....	35
4.1.9. Mišićni umor.....	37
4.1.10. Živčana napetost.....	39
4.1.11. Funkcionalni pokazatelji.....	40
4.2. Ekstrinzični čimbenici rizika.....	40
4.2.1. Specifično-sportski čimbenici rizika.....	40
5. Učinkovite mjere prevencije.....	42
5.1. Trening ekscentrične jakosti hamstringsa.....	43
5.2. Vježba nordijskog hamstringsa (NHE).....	44
5.3. Inercijski ergometar.....	45
5.4. Izokinetički trening jakosti.....	46
5.5. Trening fleksibilnosti.....	47
5.6. Tehnike manipulacije sakro-ilijakalnog zgloba.....	47
5.7. Proprioceptivni trening.....	48
5.8. Preporučene preventivne vježbe.....	48
6. Zaključak.....	50
7. Literatura.....	53

# 1. SPECIFIČNOST ANATOMIJE HAMSTRINGSA

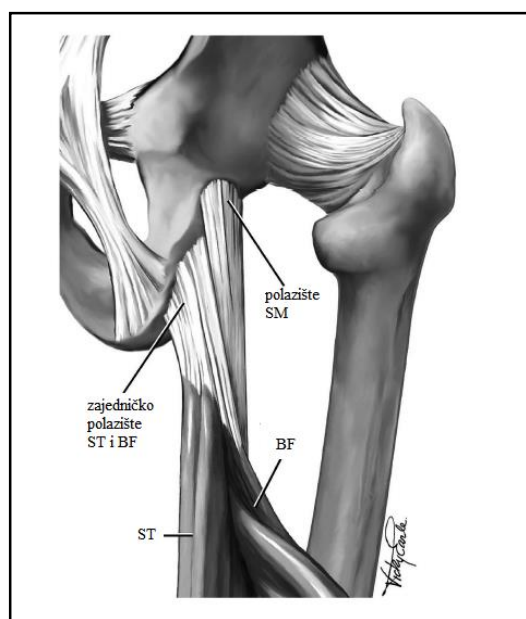
## 1.1. ANATOMSKI POLOŽAJ

Spoznaje o specifičnostima anatomske građe mišića hamstringsa predstavljaju polaznu osnovu za razumijevanje mehanizama ozljede ove mišićne skupine.

Skupina mišića stražnje strane natkoljenice jednim se imenom naziva hamstrings mišićnom skupinom. Ovu skupinu mišića čine tri mišića: s lateralne strane natkoljenice, biceps femoris (duga i kratka glava)(BF); s medijalne strane natkoljenice, semimembranosus (SM) i semitendinosus (ST) (Askling, 2008) (slika 1). Mišići hamstringsa polaze sa zajedničke tetive sa sjedne kvrge sa stražnje strane zdjelice (Ropiak i sur., 2012). Mišići se razdvajaju približno 2 do 10 cm od sjedne kvrge gdje prvo dolazi do odvajanja tetive SM, 6 cm distalno od sjedne kvrge počinju vlakna BF (Ahmad i sur. 2013) (slika 2).

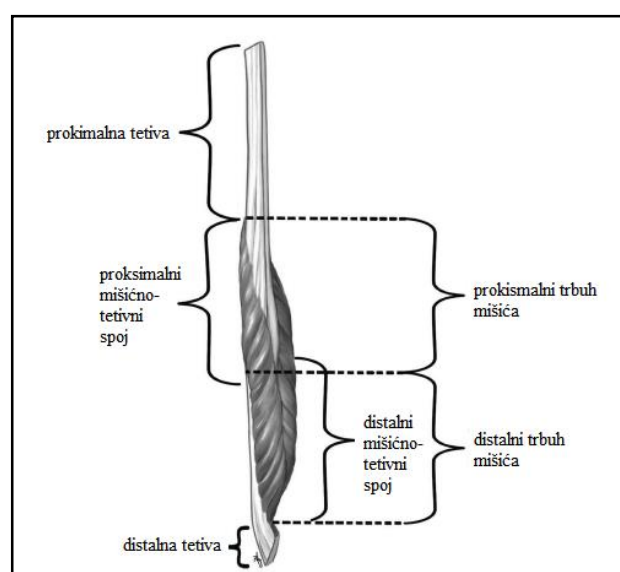


**SLIKA 1-** mišići hamstringsa



**SLIKA 2-** zajedničko polazište mišića hamstringsa (sjedna kvrge)

SM polazi sa sjedne kvrge i veže se na nekolicinu struktura posteromedialnog dijela koljena, i to za: poplitealni ligament, posteriornu kapsulu, posteriorni rog medialnog meniska, posteriorni oblique ligament, aponeurozu mišića popliteus, tetiva SM prolazi ispod medijalnog kolateralnog ligamenta i hvata se za prednji dio kapsule (Ropiak i sur., 2012; Ahmad i sur., 2013) (slika 3). Proksimalna mišićno tetivna spojica (MTJ) SM ukupno čini 70% konačne dužine mišića (Ahmad i sur., 2013).

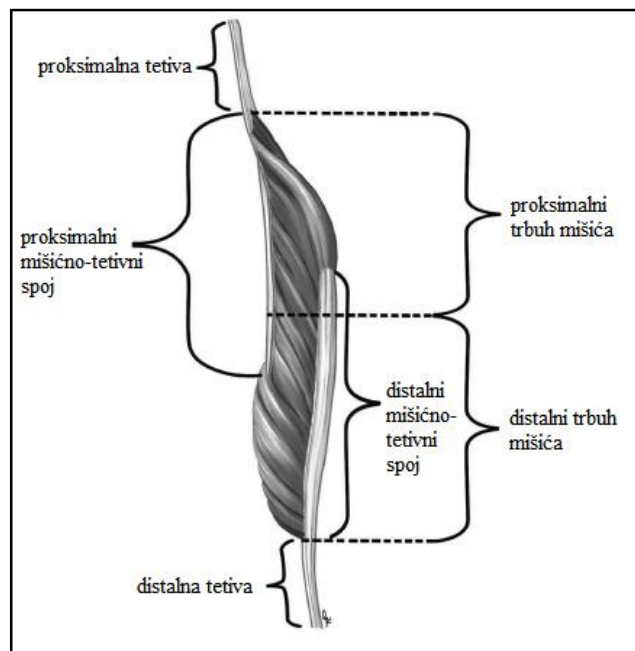


**SLIKA 3-** polazište i građa SM

ST polazi s sjedne kvrge i veže se za proksimalni i medijalni dio metafize tibije zajedno s mišićem gracilisom i sartoriusom, tvoreći pes anserinus ili pačju nogu koja prolazi preko medijalnog kolateralnog ligamenta koljena (Ropiak i sur., 2012; Ahmad i sur., 2013).

BF se sastoji od dvije glave: kratka glava BF i duga glava BF. Mišićno tetivna spojica (MTJ) BF ukupno čini 60% konačne dužine mišića (Ahmad i sur., 2013). Duga glava BF polazi sa sjedne kvrge i sakrotuberalnog ligamenta, prolazi kroz skup tetiva i fascija oko glave fibule i veže se za njenu glavu i lateralni kondil tibije. Kratka glava BF polazi sa distalnog i posterolateralnog dijela femura, lateralno od linea asperae, lateralne suprakondilarne regije i lateralnog intermuskularnog septuma. Veže se za tetivu duge glave bicepsa i za tetivni i fascijalni dio posterolateralne kapsule, te

za ilijotibijalni traktus, glavu fibule i za proksimalni i lateralni dio tibije (Ropiak i sur., 2012; Ahmad i sur., 2013) (slika 4).



**SLIKA 4-** polazište i građa duge glave BF

## 1.2. INERVACIJA

Svi mišići hamstringsa inervirani su kroz tibijalnu granu živca ishijadikusa, osim kratke glave BF. SM, ST i duga glava BF inervirani su tibijalnom granom živca ishijadikusa koji iz leđne moždine izlazi na razini L5, S1, S2 i S3. Kratka glava BF je inervirana putem peronealne grane živca ishijadikusa koji iz leđne moždine izlazi na razini L5, S1 i S2 (Ropiak i sur., 2012).

## 1.3. FIZIOLOŠKA GRAĐA HAMSTRINGSA

Mišići hamstringsa dominantno su građeni od brzih glikolitičkih mišićnih vlakana (tip II). Gerret (1984) u svom radu ističe kako na mišićna vlakna tipa II u hamstringsu otpada ukupno 58% mišićnih vlakana. Ostali autori ističu približno slične



udjele mišićnih vlakana tipa II, točnije, prema Dahmane i sur. (2006) 51% mišićnih vlakana tipa II čini BF.

BF, SM i ST međusobno se razlikuju s obzirom na specifičnu mišićnu arhitekturu: dužina mišićnih vlakana, veličina fiziološkog presjeka mišića, dužina proksimalne i distalne slobodne tetive (Askling, 2008). Proksimalna tetiva SM dvostruko je duža od proksimalne tetive duge glave BF, te 10 puta duža od proksimalne tetive ST. Mišićna vlakna SM značajno su kraća u odnosu na mišićna vlakna ST i BF duge glave (Askling, 2008, Opar i sur., 2012). Opar i sur. (2012) ističu kako duga glava BF ima veći fiziološki presjek od kratke glave; jednako tako, duga glava BF ima kraća mišićna vlakna u usporedbi s kratkom glavom.

#### 1.4. FUNKCIJA

Mišići hamstringsa (izuzev kratke glave BF) su dvozglojni mišići, što znači da prelaze preko, i omogućavaju istovremeni pokret u dva zgloba (kuk i koljeno). Za vrijeme raznih aktivnosti ova dva zgloba kreću se u različitim smjerovima, što dovodi do istežanja mišića hamstringsa (Ropiak i sur., 2012; Ahmad i sur., 2013).

Mišići hamstringsa primarno djeluju kao ekstenzori u zglobu kuka i fleksori u zglobu koljena. Također, mišići hamstringsa imaju važnu ulogu i kao agonisti prednjem križnom ligamentu koljena (ACL), osiguravajući rotacijsku i prednju stabilnost koljena tako što, zajedno s ACL-om, sprječavaju prednju translaciju tibije u odnosu na kondil femura za vrijeme fleksije u zglobu koljena (Ropiak i sur., 2012).

SM ima važnu ulogu u stabilizaciji koljena, sudjeluje u fleksiji i medijalnoj rotaciji potkoljenice u koljenom zglobu te u ekstenziji, adukciji i medijalnoj rotaciji natkoljenice u zglobu kuka (Ropiak i sur., 2012; Ahmad i sur., 2013). ST sudjeluje u fleksiji i unutarnjoj rotaciji potkoljenice u zglobu koljena te osigurava valgus stabilnost koljena (Ropiak i sur., 2012; Ahmad i sur., 2013). Uloga kratke i duge glave bicepsa je fleksija i lateralna rotacija potkoljenice u zglobu koljena, kao i ekstenzija, adukcija i lateralna rotacija natkoljenice u zglobu kuka (Ropiak i sur., 2012; Ahmad i sur., 2013). Specifična uloga duge glave BF odnosi se na osiguravanje posteriorne

stabilnosti zdjelice te ekstenziju u zglobu kuka. Primarna aktivnost kratke glave BF je sudjelovanje u fleksiji koljena i ekstenziji kuka.

## 2. ULOGA MIŠIĆA HAMSTRINGSA U LOKOMOCIJI

### 2.1. CIKLUS TRČANJA

Analiza ciklusa trčanja ukazuje na dvije glavne faze: faza zamaha i faza oslonca. Jedan ciklus započinje od trenutka kontakta pete i podloge, a traje sve dok isto stopalo ponovno ne dotakne podlogu. Kod trčanja ne postoji faza dvostrukog oslonca kao što je to slučaj kod hoda (oba stopala istovremeno u kontaktu s podlogom) (Novacheck, 1998).

Faza oslonca može se podijeliti na 3 podfaze: prvi kontakt, oslonac, propulzivna faza. Za vrijeme prvog kontakta dolazi do fleksije koljena i kontakta pete i podloge. U sjedećoj podfazi dolazi do prijenosa težine tijela. Konačno, treća, propulzivna faza započinje kada se peta odigne od tla (Novacheck, 1998).

Faza zamaha započinje neposredno nakon propulzivne podfaze. U fazi zamaha noga i stopalo se pripremaju za novi kontakt s podlogom. Kod trčanja faza zamaha započinje prije približno 50% završenosti jednog ciklusa trčanja (39-36%), za razliku od hodanja u kojem faza oslonca traje duže od 50% jednog ciklusa (Novacheck, 1998).

Za vrijeme trčanja neprekidno se izmjenjuju faze ubrzavanja (propulzija) i usporavanja (apsorpcija). Faza apsorpcije započinje podfazom oslonca i traje do završetka faze zamaha, a dijeli se na apsorpciju početnog kontakta i apsorpciju oslonačke podfaze. U fazi apsorpcije dolazi do usporavanja brzine centra mase u horizontalnom i vertikalnom smjeru. Nakon faze oslonca, centar mase ubrzava svoje horizontalno i vertikalno kretanje za vrijeme propulzivne faze oslonca, te dolazi do povećanja kinetičke i potencijalne energije. Slijedi propulzivna faza zamašne faze ciklusa na kraju koje započinje novi period apsorpcije (Novacheck, 1998).

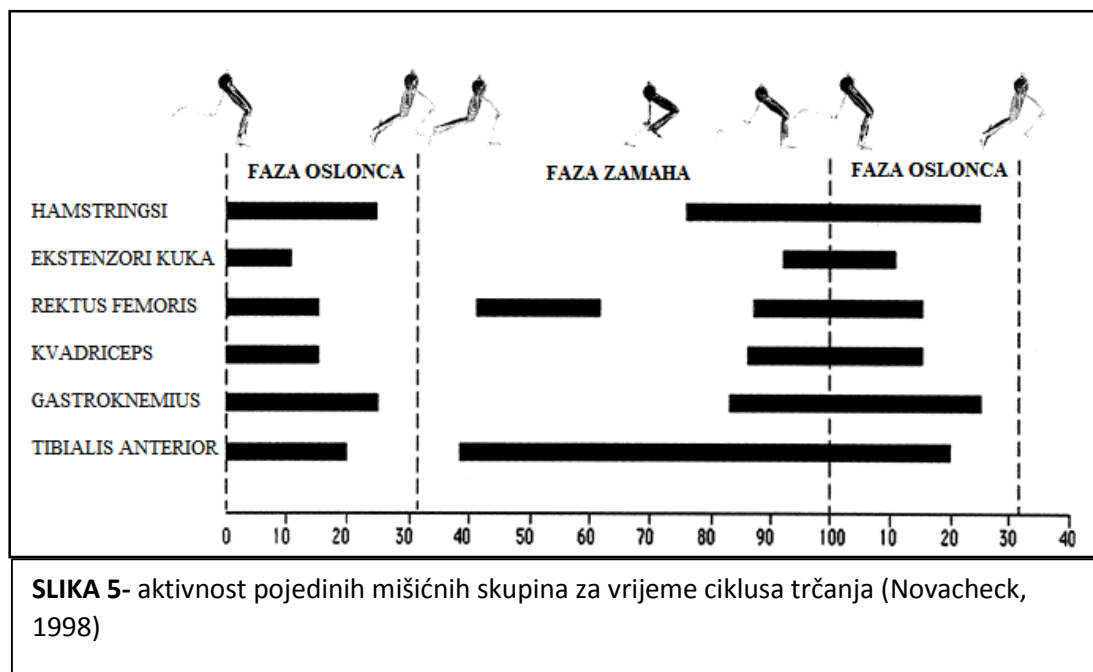
Novacheck (1998) navodi kako je za vrijeme faze apsorpcije u oslonačkoj fazi ciklusa koljeno u flektiranom položaju (cca. 45°), nakon čega slijedi propulzivna faza

u kojoj je koljeno ekstenzirano za približno 25°. Autor navodi i kako je faza apsorpcije to kraća što je brzina trčanja veća, što znači i da dolazi do manje fleksije u zglobu koljena pri većim brzinama. Također, dolazi i do većih vrijednosti ekstenzije koljena u propulzivnoj fazi (do 20°). Za vrijeme faze zamaha maksimalna fleksija u zglobu koljena iznosi 60° fleksije kod hoda (kod maksimalnog sprinta maksimalna fleksija koljena može doseći 130°). Specifični kut ekstenzije kuka pri trčanju iznosi 70-80° (Kenny i sur., 2012).

## 2.2. AKTIVNOST MIŠIĆA HAMSTRINGSA U POJEDINIM FAZAMA CIKLUSA TRČANJA

Istraživanja s područja biomehanike trčanja pokazuju kako su mišići hamstringsa aktivni, u većem ili manjem udjelu, za vrijeme cijelog ciklusa trčanja (slika 5). Maksimalna aktivnost mišića hamstringsa zabilježena je u završnom dijelu faze zamaha i u prvom dijelu faze oslonca (Yu i sur., 2008; Chumanov i sur., 2011; Ahmed i sur., 2013). Chumanov i sur. (2011) navode kako mišići hamstringsa maksimalnu ekscentričnu kontrakciju postižu za vrijeme zadnjih 25% zamašne faze ciklusa trčanja, za vrijeme koje djeluju kao antagonistički mišići kvadricepsu. Rezultati istraživanja Mann-a (1981) pokazuju kako mišići hamstringsa maksimalni momenat sile (ekstenzije kuka i fleksije koljena) postižu u trenutku kontakta pete s podlogom. Za vrijeme kontakta pete i podloge mišići hamstringsa primarno djeluju kroz koncentričnu kontrakciju kako bi omogućili ekstenziju kuka (Yu i sur., 2008). Higashihara i sur. (2010), Onishi i sur. (2002) i Schache i sur. (2013) ističu kako ST i BF djeluju kao sinergisti za vrijeme završnog dijela faze zamaha i početnog dijela faze oslonca kroz kompleksnu neuromuskularnu koordinaciju. Također, autori ističu kako je BF dominantno aktivan za vrijeme srednje faze zamaha, dok je ST dominantno aktivan za vrijeme završne faze zamaha i prvog dijela faze oslonca. Schache i sur. (2013) i Joke i sur. (2015) u svojim istraživanjima pokazuju kako ST u završnoj fazi zamaha postiže najveću razinu mišićne aktivnosti u usporedbi s ostalim mišićima hamstringsa. Pošto u toj fazi dolazi do maksimalnog istežanja mišića hamstringsa i najveće razine negativnog rada (ekscentrična kontrakcija), Joke i sur. (2015) navode kako u uvjetima visokog opterećenja, ST ima glavnu ulogu u stvaranju i kontroli

momenta sile u zglobu kuka i koljena. Nalazi Joke i sur. (2015) sukladni su rezultatima ranijih istraživanja (Arnold i sur., 2000). Thelen i sur. (2006) navode kako se aktivacija BF značajno povećava između 70 i 80% ciklusa trčanja, a svoj maksimum postiže u završnom dijelu zamašne faze. Također, aktivnost BF u fazi zamaha značajno se povećava s povećanjem brzine trčanja (Best i sur., 2013).



### 2.3. ULOGA MIŠIĆA HAMSTRINGSA U POJEDINIM FAZAMA CIKLUSA TRČANJA

Primarno djelovanje mišića hamstringsa za vrijeme trčanja je u ekscentričnom režimu rada. Primarna uloga hamstringsa je usporavanje pokrete potkoljenice, prema naprijed, u koljenu zglobu za vrijeme završnog dijela faze zamaha u svrhu pripreme noge i stopala za kontakt pete s podlogom (Stanton i sur., 1989). Istovremeno s usporavanjem ekstenzije koljena, hamstrings u kasnoj fazi zamaha i prvom dijelu faze oslonca djeluju kao ekstenzori natkoljenice u zglobu kuka.

Za vrijeme završnog dijela faze zamaha hamstrings primarno djeluju kroz ekscentričan režim rada kako bi usporili kretanje potkoljenice u zglobu koljena,

suprotstavljajući se tako njegovoj ekstenziji. U sljedećoj fazi, prvoj polovici faze oslonca, ekscentričan rad hamstringsa prelazi u koncentričan i ovi mišići postaju aktivni ekstenzori kuka (Woods i sur., 2015). Sugiura i sur. (2008) navode kako mišići hamstringsa moraju izvršiti iznimno brzu kontrakciju, odnosno izmjenu ekscentričnog režima rada u koncentričan, kako bi generirali velike količine sile. Novacheck (1998), također, navodi kako je uloga hamstringsa usporavanje momenta sile tibije u zglobu koljena za vrijeme njegove ekstenzije, točno prije podfaze prvog kontakta pete s podlogom. Za vrijeme zadnjih 25% zamašne faze, hamstrings sudjeluju u ekstenziji kuka istovremeno usporavajući ekstenziju koljena (Ahmed i sur., 2013; Yu i sur., 2008). Također, pošto su mišići hamstringsa dvozglojni, djeluju i kao prijenosnici energije između koljena i kuka. Razvoj momenta oko koljena suprotstavljen je njegovu kretanju, pri čemu mišići hamstringsa apsorbiraju energiju u koljenu i prenose je na kuk.

Najveće ekscentrično opterećenje na hamstringse dešava se upravo u završnom dijelu zamašne faze ciklusa trčanja. Volpi i sur. (2004) navode kako se u završnom dijelu zamašne faze kuk nalazi u fleksiji većoj od  $70^\circ$ , dok je koljeno ekstendirano za manje od  $40^\circ$  fleksije pri brzini od oko  $1000^\circ/s$ . Mišići hamstringsa ostaju aktivni i za vrijeme prve polovice faze oslonca za vrijeme koje, kroz koncentričnu kontrakciju, omogućavaju ekstenziju kuka i suprotstavljaju se ekstenziji koljena (Ahmed i sur., 2013; Yu i sur., 2008). Promjena režima rada mišića hamstringsa iz ekscentričnog u koncentrični dešava se iznimno brzo, što omogućava stabilizaciju koljena uz istovremenu ekstenziju u zglobu kuka za vrijeme faze stražnjeg oslonca.

#### 2.4. DUŽINA MIŠIĆA HAMSTRINGSA U POJEDINIM FAZAMA CIKLUSA TRČANJA

Mišići hamstringsa u završetku faze zamaha postižu svoju maksimalnu dužinu i prelaze u ekscentričan režim rada neposredno prije kontakta pete s tlom (Ahmed i sur., 2013; Heiderscheit i sur., 2005; Schache i sur., 2009; Yu i sur., 2008; Thelen i sur., 2005). Za vrijeme završne faze zamaha i prve polovice faze oslonca dolazi do maksimalnog izduljivanja mišićno-tetivnih struktura hamstringsa i do postizanje

njihove maksimalne aktivnosti (Yu i sur., 2008; Chumanov i sur., 2011). Najveću razinu negativnog rada (ekscentrična kontrakcija), hamstrings postižu između 70 i 90% završenosti ciklusa trčanja (Thelen i sur., 2006). Thelen i sur. (2006) zabilježili su maksimalnu izduženost mišića hamstringsa kod 45% do 90% završenosti ciklusa trčanja s maksimalnom točkom izduženosti za vrijeme zadnjeg dijela faze zamaha točno prije kontakta pete s podlogom. Autori, također, navode kako se negativni rad hamstringsa značajno povećava s povećanjem brzine. U usporedbi s ostalim mišićima hamstringsa, duga glava BF, u toj fazi ciklusa trčanja, najviše se izduljuje. Prema Thelen i sur. (2008), duga glava BF izduljuje se do približno 9,5% svoje duljine u uspravnom mirnom stavu, nadalje SM postiže duljinu od 7,4%, a ST 8,1% svoje duljine u uspravnom mirnom stavu. Dakle, do potpunog izduživanja mišića hamstringsa dolazi kada je koljeno potpuno ekstenzirano, a kuk flektiran. S druge strane, mišići hamstringa su najviše skraćeni kada je koljeno potpuno flektirano, a kuk ekstenziran (Morgan-Jones i sur., 2000).

U usporedbi s mišićima prednje strane natkoljenice (kvadriceps) koji dominantno djeluju kao ekstenzori koljena i fleksori kuka, hamstrings proizvodi veće momente sile za vrijeme ekscentrične kontrakcije. Također, Asmussen (1953) i Komi (1973, 1973(1)) navode kao je ekscentrična kontrakcija učinkovitija od koncentrične. Svoje navode temelje na spoznaji kako ekscentrična kontrakcija proizvodi veće sile uz cca. 20% manju potrošnju kisika, proizvodnju ugljičnog dioksida, te posljedično i uz manju potrošnju energije u usporedbi s koncentričnom kontrakcijom. Nadalje, Garrett (1990) i Thelen i sur. (2006) navode kako pasivne komponente mišića (tetive) u izduženom položaju (ekscentrična kontrakcija) imaju sposobnost apsorpcije i redistribucije kinetičke energije uda u zamahu (zamašna faza) prije kontakta pete s podlogom, povećavajući tako potencijal koncentrične kontrakcije.

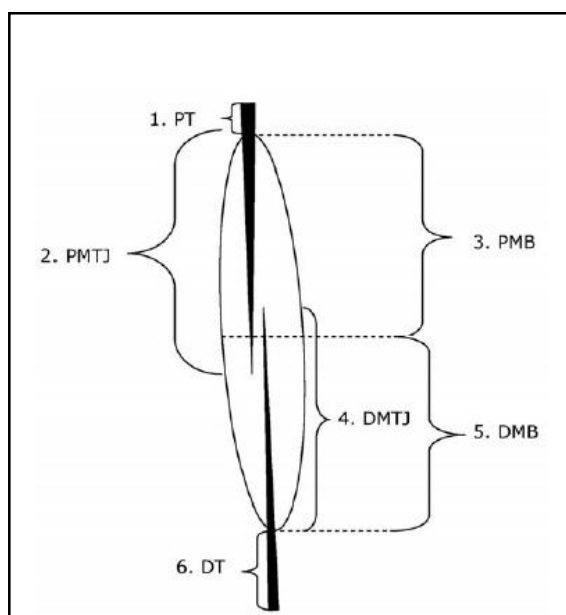
### 3. OZLJEDE HAMSTRINGSA

#### 3.1. PREVALENCIJA OZLJEDA HAMSTRINGSA

Ozljede mišića hamstringsa spadaju među najčešće ozljede u sportu (Ahmad i sur., 2013; Ali i sur., 2012; Clanton i sur., 1998; Cohen i sur., 2007). Autori navode kako na ozljede hamstringsa otpada čak 6% do 29% svih ozljeda u sportu (ovisno o pojedinom sportu). Sportovi u kojima dominiraju sprinterske aktivnosti i udarci nogom su ujedno i sportovi u kojima najčešće dolazi do ozljede hamstringsa (nogomet, ragbi, američki nogomet, atletika- posebice sprinterske aktivnosti). Također, osim u dominantno sprinterskim aktivnostima, do ozljede hamstringsa dolazi i u aktivnostima koje zahtijevaju velike amplitude pokreta u zglobu kuka i koljena, takva tipična aktivnost je ples. Brubaker i sur. (1974) navode kako na ozljede hamstringsa otpada čak 50% svih ozljeda mišića kod sprintera, posebice u disciplini prepone. Hawkins i sur. (2000), pak, navode da na ozljede mišića hamstringsa, u dvije uzastopne sezone u australskom nogometu, otpada ukupno 12% svih ozljeda mišića ta da je vjerojatnost ozljede hamstringsa do 2,5 puta veća nego vjerojatnost ozljede mišića kvadricepsa (prosječno 5 ozljeda mišića hamstringsa po jednom klubu u jednoj sezoni). Autori ističu kako su sportaši u dvije sezone zbog ozljeda hamstringsa, u prosijeku, izbivali 90 trenažnih dana i 15 utakmica po sezoni po jednom klubu. Brooks i sur. (2006) navode kako je prevalencija ozljeda hamstringsa u ragbiju 0,27 ozljeda po 1000 sati treninga i 5,6 ozljeda po 1000 sati natjecanja u periodu od 2 godine. Ekstrand i sur. (1982) iznose podatke o prevalenciji ozljeda hamstringsa kod nogometaša u Europi, navodeći kako 17% svih sportskih ozljeda u nogometu otpada na ozljede hamstringsa te da 12% nogometaša u Europi doživi ovakvu vrstu ozljede u karijeri. U populaciji plesača čak njih 34% doživjelo je akutnu ozljedu mišića hamstringsa, dok je 17% plesača imalo kronične ozljede hamstringsa (Askling i sur., 2002). Osim u navedenim sportovima, autori iznose podatke o visokom udjelu ozljeda hamstringsa i u drugim sportovima: skijanju na vodi, skijaškom trčanju, judu, kriketu, itd.. (Chakravarthy i sur., 2005; Connell i sur., 2004; De Smet i sur., 2000; Koulouris i sur., 2003).

Najveći dio ozljeda hamstringsa otpada na ozljede MTJ duge glave BF (Scheurman i sur., 2015) (slika 6). Slijede ozljede SM i ST te gotovo zanemariv broj

ozljeda kratke glave BF (Scheurman i sur., 2015). Ipak, autori navode kako u većini slučajeva dolazi do ozljede minimalno dva mišića hamstringsa (Scheurman i sur., 2015). Thelen i sur. (2005) navode kako čak 80% ozljeda hamstringsa otpada na ozljedu duge glave BF. U studiji Ekstrand i sur. (2012), 84% ozljeda hamstringsa otpada na ozljede duge glave BF, 11% na ozljede SM te 5% na ozljede ST. Slično, Koulouris i sur. (2007) navode kako 84% ozljeda otpada na ozljede BF, 10% na SM te 6% na ST.



**SLIKA 6-** shematski prikaz mišićno-tetivnog kompleksa duge glave BF- regije ozljede: 1. proksimalna tetiva; 2. proksimalni MTJ; 3. proksimalni trbuh mišića; 4. distalni MTJ; 5. distalni trbuh; 6. distalna tetiva

### 3.2. PREVALENCIJA PONOVLJENE OZLJEDE MIŠIĆA HAMSTRINGSA

Ozljede hamstringsa imaju iznimno visoku stopu ponovljenog ozljeđivanja. Liu i sur. (2012) ističu kako se postotak ponovljene ozljede hamstringsa u Engleskom profesionalnom nogometu kreće između 12% i 48%. Autori, također, iznose usporedbu rizika ponovljene ozljede mišića hamstringsa s rizikom ponovljenih ozljeda iščašenja gležnja (15%), kontuzije bedra (12%), istegnuća medijalnog kolateralnog ligamenta (11%). Ahmad i sur. (2013), Mendiguchia i sur. (2012) navode



kako rizik od ponovljene ozljede hamstringsa iznosi 12% do 31%. Nadalje, prijašnja ozljeda hamstringsa povećava rizik od ponovljene ozljede za 2 do 6 puta (Arnason i sur., 2008; Bennell i sur., 1998; Ahmad i sur., 2013). Opar i sur. (2012) iznose podatke o učestalosti ponovljene ozljede hamstringsa u Američkom nogometu (32%), ragbiju (21%) i nogometu (16%). Stopa ponovljene ozljede u Australskom nogometu, u prvom i drugom tjednu povratka u igru, iznosi 12,6% te 8,1% (Orchard i sur., 2002). Autori iznose kako ukupni rizik od ponovnog ozljeđivanja u jednoj sezoni iznosi 30,6% (Orchard i sur., 2002).

Visoka učestalost ozljeda i ponovljenih ozljeda mišića hamstringsa u sportu za posljedicu ima izbivanje sportaša s treninga i natjecanja te posljedično i značajne financijske troškove za klubove (propuštena natjecanja i troškovi rehabilitacije). Iz tog je razloga prevencija ovakvih ozljeda iznimno važna i od interesa za brojne sportske klubove. Izneseno naglašava važnost razumijevanja specifičnih mehanizama, situacija u kojima dolazi do ovakvih ozljeda, kao i specifičnih intrinzičnih i ekstrinzičnih faktora rizika koji sportaša stavljaju u povećanu opasnost od ozljede hamstringsa u svrhu kreiranja učinkovitih mjera primarne i sekundarne prevencije.

### 3.3. MEHANIZAM OZLJEDE HAMSTRINGSA

Ozljede mišića hamstringsa najčešće se dešavaju u specifično-sportskim ne-kontaktним situacijama (Lempeine i sur., 2013). Do ozljede hamstringsa najčešće dolazi uslijed brzih balističkih aktivnosti kao što su sprint ili udarac nogom (Opar i sur., 2012). Osim kod sprinterskih aktivnosti, do ozljede može doći i uslijed sporih pokreta velike amplitude (Opar i sur., 2012). Elliott i sur. (2011) navode kako su čak 92,0% do 93,5% svih ozljeda ne-kontaktne ozljede kod engleskih nogometaša. Ekstrand i sur. (2012) navode kako se najveći broj ozljeda hamstringsa dešava uslijed sprinterskih aktivnosti (70%), nadalje, autori navode i ostale mehanizme oljede: istežanje/otklizavanje (5%), nagli okreti (4%) i skokovi (2%). Verrall i sur. (2005) navode kako do ozljede mišića dolazi ili zbog akumulacije mikroskopskih mišićnih oštećenja (mikrotraume) ili kao posljedica jednog akutnog traumatskog događaja koji mehanički opterećuje mišić iznad njegovih granica. Ropiak i sur. (2012), također,

navode da ako se mišićno-tetivne strukture izduže iznad svog elastičnog kapaciteta, doći će do njihova oštećenja. Ekscentrična kontrakcija uzrokuje nastanak mikrooštećenja mišića. Morgan (1990) iznosi teoriju akumulacije mikrooštećenja koju naziva „sarcomere popping effect“, navodeći da uslijed ekscentrične kontrakcije dolazi do pretjeranog izduživanja pojedinih sarkomera, dovodeći do njihova oštećenja kada se mišić opusti. Kod ponovljenih kontrakcija, područje oštećenja sarkomera raste, vremenom dolazi do oštećenja membrane (mikrooštećenja) i narušavanja homeostaze kalcija (Armstrong i sur., 1983). Nusprodukti tih mikrooštećenja mišićnih vlakana podražuju nocioptore mišića uzrokujući pojavu odgođenog mišićnog zamora (DOMS) (Armstrong, 1990). Kada se sarkomere izduže iznad svoje optimalne duljine dolazi do njihove smanjene sposobnosti proizvodnje sile (Morgan, 1990). Oslabljene sarkomere postepeno postaju pretjerano istegnute, pri čemu pasivne strukture mišića moraju preuzeti veći dio napetosti. Takve promjene na sarkomerama uzrokuju pomicanje odnosa dužina-napetost mišića prema većoj mišićnoj dužini (Camilla i sur., 2001). Smanjenje sposobnosti mišića da proizvede silu dovodi do smanjenja sposobnosti mišića da apsorbira energiju, što mišić i mišićno-tetivnu spojnicu stavlja u povećani rizik od nastanka ozljede (Pinniger i sur., 2000). Nadalje, autori ukazuju na postojanje optimalne dužine mišića pri kojoj mišić proizvodi maksimalnu silu. Mišićna vlakna imaju veću sposobnost generiranja sile kada postignu optimalnu izduženost, dok izduživanje mišićnih vlakana iznad tog nivoa uzrokuje gubitak određenog broja aktin-miozinskih mostova čime se smanjuje potencijal generacije sile (Gordon i sur., 1966). Kod svakog dodatnog izduživanja mišića, pasivne strukture (titive) počinju preuzimati sve više opterećenja, povećavajući svoju napetost. Dakle, snažne ekscentrične kontrakcije koje mišić dovode u izduženi položaj, povećavaju rizik od oštećenja mišićnih vlakana i/ili tetiva (Gordon i sur., 1966).

Autori naglašavaju kako su mišići hamstringsa aktivni za vrijeme cijelog ciklusa trčanja (faza zamaha i faza oslonca), dok svoju maksimalnu aktivaciju postižu u završnoj fazi zamaha i prvom dijelu faze oslonca (Chumanov i sur., 2011; Yu i sur., 2008). Za vrijeme zadnjih 25% završne faze zamaha, brzom ekscentričnom kontrakcijom, hamstrings sudjeluju u ekstenziji kuka istovremeno usporavajući ekstenziju koljena, dok u prvom dijelu faze oslonca hamstringa brzo prelaze u

koncentričan režim rada usporavajući kretanje tibije prema naprijed u zglobu koljena istovremeno ekstenzirajući natkoljenicu u zglobu kuka (Chumanov i sur., 2011; Yu i sur., 2008; Opar i sur., 2012). Autori navode kako su mišići hamstringsa upravo u tim fazama ciklusa trčanja podložni nastanku ozljede zbog snažne ekscentrične kontrakcije. Brojni autori navode završnu fazu zamaha kao najkritičniju za nastanak ozljede hamstringsa zato što u toj fazi dolazi do najvećeg izduživanja (ekscentrična kontrakcija) mišićno-tetivnih struktura i do njihove maksimalne aktivacije (Chumanov i sur., 2011; Yu i sur., 2008; Opar i sur., 2012). S druge strane, Mann i Sprague (1981) navode kako maksimalni moment sile fleksije koljena i ekstenzije kuka za vrijeme faze oslonca ukazuje na povećani rizik nastanka ozljede u fazi oslonca ciklusa trčanja. Autori se slažu kako do ozljede hamstringsa dolazi zbog snažne ekscentrične kontrakcije i istezanja mišića (Opar i sur., 2012; Chumanov i sur., 2011; Yu i sur., 2008; Heiderscheit i sur., 2005). Zaključno, autori se slažu kako je najučestaliji mehanizam ozljede ekscentrična kontrakcija hamstringsa u završnoj fazi zamaha i prvom dijelu faze oslonca za vrijeme kojih je kuk flektiran i koljeno ekstenzirano (Ropiak i sur., 2012; Opar i sur., 2012; Chumanov i sur., 2011; Yu i sur., 2008; Heiderscheit i sur., 2005; Lempeine i sur., 2013).

### 3.3.1. KLASIFIKACIJA OZLJEDA HAMSTRINGSA

Postoji više klasifikacijskih kriterija ozljeda mišića. S obzirom na mehanizam nastanka ozljede, razlikujemo sprinterski i istezajući tip ozljede hamstringsa. S druge strane, ozljede mogu biti direktne (trauma- izravan udarac u mišić) ili indirektne (nastaju zbog snažne ekscentrične kontrakcije) (Garrett, 1990). Konačno, ozljede hamstringsa možemo podijeliti s obzirom na anatomske položaje nastanka ozljede te s obzirom na težinu ozljede (Ahmad i sur., 2013). S obzirom na mjesto oštećenja razlikujemo proksimalne (ozljede hvatišta tetive na sjednu kvrgu i proksimalnom MTJ), centralne (MTJ i trbuh mišića) i distalne (ozljede distalnog MTJ ili distalne tetive i njenog hvatišta) ozljede mišića (Lempainen i sur., 2007). S obzirom na stupanj oštećenja mišića ozljede je moguće stupnjevati od malih kontuzija (nagnječenja) mišića do stvaranja hematoma unutar mišića i pucanja mišićnih

vlakana. Za stupnjevanje težine ozljede najčešće se koristi slijedeći sustav stupnjevanja:

0. stupanj – nema vidljivih znakova oštećenja mišićnih vlakana na MR-u
1. prvi stupanj (ozljede istezanja)- istezanje mišićno-tetivnih struktura, mala oštećenja koja dovode do <5% gubitka funkcije;
2. drugi stupanj (djelomična ruptura) – pucanje manjeg broja mišićnih vlakana, gubitak funkcije 5-50%;
3. treći stupanj (potpuna ruptura) – >59% gubitka funkcije (Lee i sur., 2012; O'Donoghue, 1984; Ropiak i sur., 2012).

Ropiak i sur. (2012) navode kako je 12% ozljeda hamstringsa djelomična ruptura ili proksimalna avulzija, dok 9% otpada na potpune rupture. Čak 97% ozljeda hamstringsa u nogometu klasificirano je kao ozljede prvog i drugog stupnja (Croisier, 2004). Ekstrand i sur. (2012) u svom su istraživanju na Europskim nogometašima utvrdili kako je 13% (od ukupno 207) ozljeda hamstringsa bilo klasificirano kao ozljede nultog stupnja, 57% kao ozljede prvog stupnja, 27% kao ozljede drugog stupnja te svega 3% kao ozljede trećeg stupnja. Autori iznose kako 2 od 3 ozljede hamstringsa (nulti i prvi stupanj) ne pokazuju znakove mišićnog oštećenja na MR-u, ali ipak uzrokuju više od pola ukupnog vremena izbjivanja s terena. Duga glava BF je najčešće ozljeđivan mišić hamstringsa; slijedi SM, dok se ST rijetko ozljeđuje (Ropiak i sur., 2012). Izolirane ozljede ST ili BF najčešće su klasificirane kao ozljede drugog stupnja (Lempainen i sur., 2006).

### 3.3.2. TIPIČNI MEHANIZMI OZLJEDA HAMSTRINGSA

Dva su tipična mehanizma ozljede hamstringsa: sprinterski tip i istezajući tip ozljede. Autori se slažu kako je sprinterski tip ozljede zastupljenije u puno većoj mjeri od istezajućeg tipa ozljeda hamstringsa u sportu (Askling i sur., 2007; Brooks i sur., 2006; Garrett, 1996; Garrett i sur., 1989). Woods i sur. (2004) navode kako je mehanizam nastanka ozljede hamstringsa u Engleskom nogometu u 17% slučajeva

istezajući tip, a u 57% slučajeva do ozljede hamstringsa dolazi uslijed sprinterskih aktivnosti (sprinterski tip).

### 3.3.2.1. SPRINTERSKI TIP OZLJEDE

Do ozljede mišića hamstringsa najčešće dolazi uslijed brzih, balističkih pokreta kao što su trčanje ili udarac nogom (Opar i sur., 2012). Sportske aktivnosti u kojima dominiraju balistički pokreti (skijanje, nogomet, sprint) imaju veći rizik od ozljeđivanja hamstringsa (Christopher i sur., 2013). Elliott i sur. (2011) ističu kako se najveći broj ozljeda hamstringsa u nacionalnoj nogometnoj ligi SAD-a dešava upravo uslijed ne-kontaktne aktivnosti, odnosno prilikom sprinta. Brook i sur. (2006) navode kako se čak 68% ozljeda hamstringsa u ragbiju u Velikoj Britaniji dešava za vrijeme trčanja i sprinterskih aktivnosti, a 10% uslijed udarca nogom. Nadalje, Gabbe i sur. (2005) navode kako na ozljede hamstringsa u Australnskom nogometu koje se dešavaju uslijed udarca nogom, otpada 19% svih ozljeda hamstringsa. Woods i sur. (2004) navode da se 57% ozljeda hamstringsa u Engleskom nogometu dešava uslijed trkačkih/sprinterskih aktivnosti.

Rezultati brojnih studija koje su se bavile utvrđivanjem faze ciklusa trčanja u kojoj dolazi do ozljede hamstringsa, usuglašene su te ističu zadnji dio faze zamaha i prvi dio faze oslonca (točno nakon kontakta pete i podloge) kao vrijeme u ciklusu trčanja u kojem su mišići hamstringsa najpodložniji ozljedi (Thelen i sur., 2005; Yu i sur., 2008; Christopher i sur., 2013). Kenny i sur. (2012) u svom su istraživanju pokazali da kut fleksije kuka za vrijeme trčanja utječe na maksimalni moment sile hamstringsa, navodeći da se momenat sile povećava s povećanjem fleksije u zglobu kuka. Thelen i sur. (2005) ističu kako se kutevi u zglobu koljena i kuka povećavaju proporcionalno povećanju brzine trčanja. Pošto se s povećanjem brzine trčanja smanjuje i kut u zglobu kuka (veća fleksija), iz navedenog je moguće zaključiti kako je rizik od nastanka ozljede to veća što je brzina trčanja veća.

Sprinterski tip ozljede hamstringsa najčešće zahvaćaju tetivu ili aponeurozu mišića te proksimalno mišićno-tetivnu spojnicu. Thelen i sur. (2005) navode kako čak 80% ozljeda hamstringsa otpada na ozljedu duge glave BF za vrijeme trkačkih

aktivnosti. U studiji Woods-a i sur. (2015), 53% ozljeda hamstringsa otpada na ozljede duge glave BF. Najčešće dolazi do ozljede na MTJ. I to stoga što mišići hamstringsa imaju duge proksimalne i distalne tetive koje sežu duboku u trbuh mišića, stvarajući tako produžene MTJ (10-12 cm) (Lempainen i sur., 2007). Schuerman i sur. (2015) navode kako se mišićno-tetivne strukture duge glave BF najviše izdužuju za vrijeme zadnjeg dijela faze zamaha kod sprinterskih aktivnosti. Razlog tome je u činjenici da ST i BF stvaraju veći momenat sile ekstenzije kuka u usporedbi s SM, s druge strane BF imaju manji fleksijski momenat sile u koljenu u usporedbi sa ST i SM (Thelen i sur., 2005). Fleksija u zglobu koljena dovodi do manjeg izduživanja mišića za vrijeme ekscentrične kontrakcije, pošto BF ima manji momenat sile kod fleksije koljena, dolazi do njegova veća izduživanja u odnosu na ST i SM. Kombinacija velikog momenta sile BF kod ekstenzije kuka i manjeg momenta sile kod fleksije koljena, uzrokuje većim izduživanjem BF u odnosu na ST i SM (Thelen i sur., 2005). Zbog veće amplitude izduživanja, BF je podložniji nastanku ozljede u usporedbi s ST i SM. Još jedan razlog češćem ozljeđivanju BF u usporedbi sa ST jest manja fascikularna dužina BF u usporedbi s ST, zbog čega je BF manje tolerantan na istezanje, ima manje mogućnosti pohrane energije negativnog rada u usporedbi sa ST (Scheurmans i sur., 2015). Pošto je ST najaktivniji za vrijeme završne faze zamaha, ako se zbog ozljede smanji njegova sposobnost da generira silu za vrijeme negativnog rada, taj će nedostatak nastojati nadoknaditi BF, dodatno se opterećujući. Dakle, svaki deficit u funkciji ST ili koordinaciji rada ST i BF, dovest će do smanjene efikasnosti oba mišića što predstavlja značajan rizični faktor od nastanka ozljede (Scheurmans i sur., 2015). Autori iznose kako bi anatomske specifičnosti BF mogle biti uzrokom njegova učestala ozljeđivanja, zbog odvojene inervacije dvije glave BF može doći do njihove asinkrone stimulacije što će, posljedično, dovesti do neefikasne kontrakcije rezultirajući smanjenim kapacitetom generacije sile (Woods i sur., 2015).

### 3.3.2.2. ISTEZAJUĆI TIP OZLJEDE

Do istezajućeg tipa ozljede hamstringsa dolazi uslijed sporih aktivnosti koje zahtijevaju veliku amplitudu pokreta fleksije u zglobu kuka s ekstenziranom koljenom te koje završavaju u ekstremnim položajima, npr. „špaga“ ili položaj kod preskoka

preko prepone u atletici (Askling i sur., 2007). Nadalje, Askling i sur. (2008) navode sportove u kojima učestalo dolazi do ozljede hamstringsa uslijed pokreta velikom amplitudom: akrobatika, aerobika, balet, bodybuilding, skijaško trčanje, penjanje, ples, gimnastika, hokej na ledu, judo, taekwondo. U svojoj studiji, provedenoj na 15 plesača, Askling i sur. (2007) su pokazali kako je do ozljede mišića hamstringsa došlo prilikom izvedbe sporih aktivnosti istezanja; kod 11 ispitanika prilikom izvedbe špage u sagitalnoj ravnini te kod njih 4 prilikom izvedbe bočne špage. Takvi spori pokreti koji zahtijevaju veliku fleksiju u zglobu kuka u kombinaciji s ekstenziranom koljenom, dovode mišiće hamstringsa u izduženi položaj (Askling i sur., 2006). Ako se mišić izduži iznad svog elastičnog kapaciteta, doći će do njegova oštećenja i to će u najvećem broju slučajeva biti oštećenja proksimalne tetive blizu hvatišta.

Kod istezajućeg tipa ozljeda najčešće dolazi do oštećenja proksimalne tetive SM u blizini sjedne kvрге (Askling i sur., 2007). Askling i sur. (2007) iznose kako je u 87% slučajeva ozljede hamstringsa za vrijeme sporih pokreta istezanja došlo do ozljede SM, zajedno s ozljedama kvadricepsa (87%).

### 3.4. BRZINA OPORAVKA

Iako su rjeđe i za posljedicu imaju manje deficite (jakosti, fleksibilnosti), istezajući tip ozljede hamstringsa rezultiraju dužim vremenom rehabilitacije i povratka sportaša na teren (Askling i sur., 2006). Simptomi ozljede SM (istezajući tip) nisu uvijek izraženi u tolikoj mjeri kao što su to simptomi ozljede BF (sprinterski tip), a ponekad mogu i izostati. Zbog izostajanja vidljivih simptoma, sportaši se često preuranjeno vraćaju na teren (Askling i sur., 2006). Preuranjeni povratak na teren rezultira povećanim rizikom od ponovljene ozljede ili razvoj kronične ozljede hamstringsa što će u konačnici rezultirati još dužim vremenom oporavka ili prekidom sportske karijere (Askling i sur., 2006, 2007). Također, anatomska lokacija ozljede mišića povezana je s vremenom oporavka sportaša (Askling i sur., 2007; Ahmad i sur., 2013). Askling i sur. (2007) su u svojoj studiji pokazali kako ozljede proksimalnog dijela mišića, bliže sjednoj kvrgi, kao i oštećenje proksimalne slobodne tetive, zahtijevaju duži period rehabilitacije u usporedbi s ozljedama trbuha mišića. Nadalje, Askling i sur. (2007) navode kako je sportašima koju su ozlijedili slobodnu

tetivu duge glave BF trebalo tri puta više vremena da se vrate na razinu pripremljenosti kao prije ozljede u usporedbi sa sportašima koji su imali ozljede trbuha mišića. Produženo vrijeme povratka nakon ozljede u korelaciji je s: (1) ozljedama više mišića hamstringsa, (2) ozljedama kratke glave BF, (3) postojanje intermuskularnog edema, (4) oštećenje > 75% poprečnog presjeka mišića (Ropiak i sur., 2013).

#### 4. ČIMBENICI RIZIKA NASTANKA OZLJEDE HAMSTRINGSA

U literaturi se navodi niz čimbenika koji povećavaju rizik nastanka ozljede hamstringsa u sportu. Većina autora navodi prijašnju ozljedu kao najznačajniji čimbenik rizika za nastanak nove ozljede. Ahmad i sur. (2013) i Mendiguchia i sur. (2012) navode kako rizik od ponovljene ozljede hamstringsa iznosi 12% do 31%. Nadalje, prijašnja ozljeda hamstringsa povećava rizik od ponovljene ozljede za 2 do 6 puta (Arnason i sur., 2008; Bennell i sur., 1998; Ahmad i sur., 2013).

Osim navedenih čimbenika, autori najčešće ističu i dob, neravnotežu jakosti agonista i antagonistu procjenjivanu H:Q omjerom te sniženu razinu jakosti hamstringsa (maksimalni momenat sile) (Arnason i sur., 2008; Bennell i sur., 1998; Ahmad i sur., 2013, Engebretsen i sur., 2010, Gabbe i sur., 2006).

Generalno se čimbenici rizika nastanka ozljeda u sportu mogu podijeliti na kategorije: intrinzične čimbenike rizika i ekstrinzične čimbenike rizika. Nadalje, čimbenike rizika moguće je podijeliti i na promjenjive i nepromjenjive, odnosno na one na koje imamo utjecaja putem trenažnog i preventivnog programa ili njihove modifikacije te na one na koje ne možemo utjecati (Spencer i sur., 2009; Mendiguchia i sur., 2012; Sherryl i sur., 2011; Gabbe i sur., 2012). Najzastupljeniji intrinzični čimbenici rizika u literaturi su: dob, rasa, prijašnja ozljeda hamstringsa, ozljede gležnja, koljena ili kuka, anatomske specifičnosti građe hamstringsa, umor mišića, jakost (niska razina jakosti mišića hamstringsa, niska razine jakosti lumbo-zdjelične regije, neravnoteža jakosti hamstringsa u odnosu na kvadriceps ipsilateralne noge), loša fleksibilnost, nedostatak stabilnosti trupa. Najzastupljeniji ekstrinzični čimbenici rizika su: čimbenici rizika povezani sa sportskom aktivnošću (nedostatno zagrijavanje prije aktivnosti, povećani trenažni volumen, loša tehnika, trenažno iskustvo, igrača



pozicija, nivo natjecanja) (Spencer i sur., 2009; Mendiguchia i sur., 2012; Ahmad i sur., 2013). Autori naglašavaju kako ne postoji izolirani čimbenik rizika ozljede hamstringsa, već je potrebno sagledavati skupine čimbenika rizika koji, u kombinaciji, stvaraju preduvjete za nastanak ozljede hamstringsa. S obzirom na velik broj i međusobno preklapanje brojnih rizičnih čimbenika, kod procjene rizika od nastanka ozljede hamstringsa u obzir treba uzeti međupovezanost i utjecaj pojedinog čimbenika na ostale. Identifikacija čimbenika rizika predstavlja bitnu pretpostavku oblikovanja i implementacije učinkovitih preventivnih i rehabilitacijskih programa ozljede hamstringsa u sportu.

#### 4.1. INTRINZIČNI ČIMBENICI RIZIKA

Intrinzični čimbenici rizika vezani su uz osobu (sportaša), a odnose se na: prijašnje ozljede, motoričke sposobnosti (npr. jakos, snaga, fleksibilnost), anatomske specifičnosti, demografska obilježja (spol, dob) te funkcionalne sposobnosti. Intrinzični čimbenici rizika, nadalje, mogu bit promjenjivi i nepromjenjivi, odnosno na oni koje možemo mijenjati i oni na koje nemamo utjecaja (Spencer i sur., 2009; Mendiguchia i sur., 2012; Sherryl i sur., 2011; Gabbe i sur., 2012). Među promjenjive intrinzične čimbenike rizika spadaju: nedovoljna jakost, bilateralna asimetrija u jakosti, H:Q omjer, fleksibilnost, stabilnost trupa i mišićni umor. Nepromjenjivi intrinzični čimbenici rizika su: prijašnja ozljeda, demografske karakteristike i anatomske specifičnosti.

##### 4.1.1. PRIJAŠNJA OZLJEDA

Prijašnja ozljeda mišića hamstringsa se u literaturi navodi kao najznačajniji čimbenik rizika za nastanak nove ozljede. Brojni autori navode prijašnju ozljedu hamstringsa kao značajan čimbenik koji povećava rizik od ponovljene ozljede za čak 2 do 6 puta, dok je rizik od ponavljanja ozljede najveći u prvih 8 tjedana nakon povratka u sportsku aktivnost iako su sportaši u povećanom riziku naredne 2 godine od prve ozljede (Arnason i sur., 2008; Bennell i sur., 1998; Ahmad i sur., 2013). Gabbe i sur. (2006) navode kako su igrači pod 3 puta većim rizikom od ponavljanja ozljede

čak i nakon 1 godine od prve ozljede hamstringsa. Razlozi povećanog rizika re-ozljeđivanja mogli bi biti: nedovršen proces zacjeljivanja tkiva (preuranjeni povratak na teren), stvaranje ožiljkastog tkiva, razvoj neuromuskularnih deficita, razvoj funkcionalnih kompenzacija (Best i sur., 2013). Spencer i sur. (2009) navode kako proces regeneracije i remodeliranja ozljeđenog mišića mogu potrajati do 9 mjeseci nakon ozljede. Na mjestu ozljeđenih mišićnih i/ili tetivnih stanica, dolazi do stvaranja fibroznog tkiva. Novo formirano vezivno tkivo nije funkcionalno kao mišićne i tetivne stanice na čijem se mjestu formira (Verrall i sur., 2001). Ožiljkasto je tkivo manje elastičnosti, nema kontraktilnih sposobnosti i dovodi do smanjenja površine tetive/aponeuroze te smanjenja dužine mišića. To za posljedicu ima promijenjen odnos sile-dužine mišića, atrofiju mišića, smanjenu razinu aktivacije te smanjenu ekscentričnu jakost (Mendiguchia i sur., 2012; Opar i sur., 2012). Opar i sur. (2012) u svom preglednom radu navode smanjenje ekscentrične jakosti hamstringsa, promjene u kutu generiranja maksimalnog momenta sile hamstringsa te smanjenu fleksibilnost kao najistraživanije čimbenike rizika nastanka ponovljene ozljede. Kod ozljede hamstringsa dolazi do značajnog povećanja optimalnog kuta za proizvodnju maksimalnog momenta sile fleksora koljena (Brockett i sur., 2004). Autori, nadalje, navode kako je do povećanja kuta došlo zbog smanjenja optimalne dužine mišića. Orchard (2001) navodi kako povijest ozljeda lista, kvadricepsa, koljena, osteitis pubis i bolovi u donjem dijelu leđa, također, povećavaju rizik od ozljede hamstringsa.

#### 4.1.2. OZLJEDE DONJEG DIJELA LEĐA, KUKA, KOLJENA ILI GLEŽNJA

Verrall i sur. (2001) navode prijašnje ozljede koljena i prepona (osteitis pubis) kao značajne čimbenike rizika za ozljedu hamstringsa, navode kako je od 6 australskih nogometaša s prijašnjom ozljedom ACL-a, njih 4 doživjelo ozljedu hamstringsa za vrijeme sezone. Koulouris i sur. (2007), također, navode prijašnju ozljedu prednje križne sveze (ACL-a) kao rizični čimbenik ozljede hamstringsa. Autori navode kako zbog ozljede koljena ili prepone (osteitis pubis) dolazi do promjene u biomehaničkim odnosima donjih ekstremiteta. Woods i sur. (2015) navode kako prijašnja ozljeda koljena ili gležnja rezultira promjenama u pokretu proksimalnog tibiofibularnog zgloba što utječe na biomehaniku BF, povećavajući rizik ozljede BF. Oštećenjem

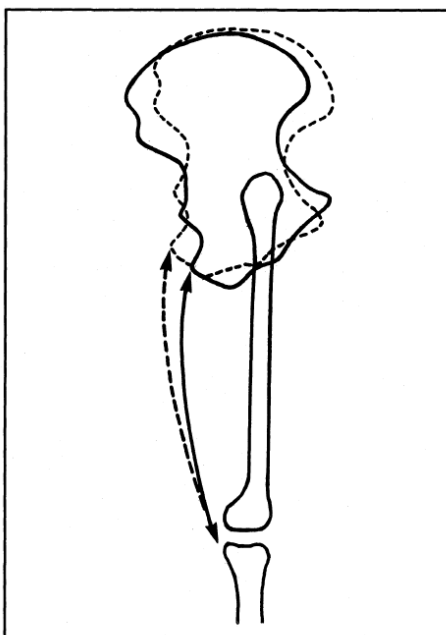
ACL-a narušava se prednja koljenska stabilnost. Budući da mišići hamstringsa djeluju kao sinergisti ACL-u u sprječavanju prednje translacije tibije, oštećenjem ACL-a hamstrinzi preuzimaju veći dio opterećenja kako bi spriječili prednju translaciju tibije za vrijeme fleksije koljena. Samim time su mišići hamstringsa izloženi većoj opasnosti od ozljede uslijed snažne ekscentrične kontrakcije. Orchard (2001) navodi povezanost ozljede lista s rizikom od ozljede hamstringsa. Autori ističu kako prijašnja ozljeda donjeg dijela leđa nije povezana s rizikom od ozljede hamstringsa, ali pronađena je povezanost s povećanim rizikom od iradirajuće boli u hamstrings (Varrall i sur., 2001). Za 19% boli u stražnjoj strani natkoljenice za vrijeme jedne sezone australskog nogometa, nisu pronađeni znakovi oštećenja na MR snimkama. Autori pretpostavljaju kako je bol u hamstrinzima rezultat iradirajuće boli zbog impigment sindroma na razini L5-S1, nazivajući taj fenomen „back related hamstrings strain“ (Varrall i sur., 2001).

#### 4.1.3. ANATOMSKE SPECIFIČNOSTI GRAĐE HAMSTRINGSA

Mišići hamstringsa su dvozglobni mišići, što im omogućava da u isto vrijeme ekstendiraju kuk i flektiraju koljeno koncentričnom kontrakcijom te da za vrijeme ekscentrične kontrakcije flektiraju kuk i ekstendiraju koljeno što ih stavlja u izduženi položaj (Opar i sur., 2012). Snažne ekscentrične kontrakcije (izduživanje) stavlja mišiće hamstringsa u povećani rizik od nastanka ozljede. Duga glava BF je najozljeđivaniji mišić hamstringsa. Thelen i sur. (2005) navode kako čak 80% ozljeda hamstringsa otpada na ozljedu duge glave BF za vrijeme trkačkih aktivnosti. Jedan od mogućih razloga je i dvostruka inervacija obje glave BF. Opar i sur. (2012) navode kao zbog dvostruke inervacije BF može doći do neusklađene stimulacije dvije glave BF te posljedično i do nekoordinirane kontrakcije BF. Opar i sur. (2012) navode kako duga glava BF ima kraća mišićna vlakna i veći poprečni presjek od kratke glave. Duža mišićna vlakna omogućavaju veće istezanje mišića, time smanjujući rizik od prekomjernog izduživanja za vrijeme ekscentrične kontrakcije. Pošto je duga glava BF podložna najvećem istezanju za vrijeme ekscentrične kontrakcije hamstringsa, njena kraća mišićna vlakna stavljaju dugu glavu BF u povećani rizik od ozljeđivanja za vrijeme ekscentrične kontrakcije (Opar i sur., 2012).

Lieber i sur. (1988) i Gerrett i sur. (1984) navode kako mišići hamstringsa imaju velik udio mišićnih vlakana tipa II (58%). Nadalje, autori navode kako su brza glikolitička vlakna podložnija nastanku mikrooštećenja uslijed ekscentrične kontrakcije, čime predstavljaju veći rizik za ozljedu hamstringsa (Lieber i sur., 1988; Gerrett i sur., 1984; Mascherson i sur., 1996). Kod mišićnih vlakna tipa II brže dolazi do umora i zakašnjele pojave mišićne upale uslijed ekscentričnih kontrakcija nego kod tip I mišićnih vlakana. Frieden i Lieber (1992) ističu kako se mikrooštećenja mišića uslijed ekscentrične kontrakcije dominantno dešavaju na brzim (tip II) mišićnim vlaknima sa niskim oksidativnim kapacitetom.

Autori navode stupanj inklinacije zdjelice kao značajan rizični faktor ozljede hamstringsa (Abebe i sur., 2009; Sherry i sur., 2004; Hennessey i sur., 1993). Sva se tri mišića hamstringsa hvataju na sjednu kvrgu na stražnjoj strani zdjelice. Stoga inklinacija zdjelice stavlja mišiće hamstringsa u izduženiji položaj što, u kombinaciji s fleksijom kuka povećava naprezanje te grupe mišića pri ekscentričnoj kontrakciji (slika 7) (Opar i sur., 2012; Abebe i sur., 2009; Sherry i sur., 2004; Hennessey i sur., 1993). Franz i sur. (2009) navode kako kod inklinacije zdjelice dolazi do kompenzacije u obliku povećane lumbalne lordoze što pak rezultira smanjenim opsegom pokreta ekstenzije (ROM) u zglobu kuka. Također, inklinacija zdjelice povezana je s manjom aktivacijom gluteus maximusa (Mendiguchia i sur., 2012). Autori navode kako je kod ozlijeđenih sportaša uočena smanjena razina jakosti zbog deficita ekstenzornog ROM kuka za vrijeme trčanja i manje aktivacija gluteusa maximusa.



**SLIKA 7-** dužina hamstringsa kod neutralne pozicije zdjelice (puna linija) i promjena dužine hamstringsa prilikom inklinacije zdjelice (isprekidana linija)

#### 4.1.4. DEMOGRAFSKE KARAKTERISTIKE

##### 4.1.4.1. ETNICITET

U literaturi se nalaze oprečni rezultati vezani uz povezanost etniciteta i rase s povećanim rizikom od ozljede hamstringsa. Opar i sur. (2012) u svojoj preglednoj studiji navode kako su sportaši aborignskog, afričkog i karipskog podrijetla u povećanom riziku od nastanka ozljede hamstringsa. Autori navode kako su pripadnici ovih etničkih skupina u povećanom riziku od ozljede zbog većeg udjela mišićnih vlakana tipa II i veće inklinacije zdjelice u odnosu na pripadnike bijele rase (Brooks i sur., 2006; Woods i sur., 2004; Verrall i sur., 2001). Osobe afričkog podrijetla imaju veći udio mišićnih vlakana tipa II u usporedbi s Europljanima (Ama i sur., 1986). S druge strane, Mosner i sur. (1989) nisu utvrdili povezanost između veće inklinacije zdjelice u pripadnika afričkog u usporedbi s ispitanicima europskog podrijetla. Verrall i sur. (2001) u svojoj studiji navode kako je rizik ozljede hamstringsa 11,2 puta veći

kod australskih nogometaša aborignskog podrijetla u usporedbi s ostalim igračima. Woods i sur. (2004) u svojoj studiji provedenoj na profesionalnim igračima nogometa u Engleskoj, navode kako povećani rizik ozljede hamstringsa nije povezan s pripadnošću određenoj etničkoj skupini, već da su svi pripadnici crne rase u povećanom riziku od ozljeđivanja hamstringsa.

#### 4.1.4.2. DOB

Brojne studije navode dob kao značajan nezavisan čimbenik rizika ozljede hamstringsa (Opar i sur., 2012; Prior i sur., 2009; Orchard i sur., 2004; Woods i sur., 2004). Opar i sur. (2012) i Prior i sur. (2009) navode kako su sportaši stariji od 23-25 godina pod povišenim rizikom ozljeđivanja hamstringsa. Verrall i sur. (2001) ističu kako se rizik od ozljede, svakom godinom starosti, povećava za 1,3 puta kod australskih nogometaša, dok Henderson i sur. (2010) procjenjuju kako se rizik od ozljede hamstringsa povećava za 1,78 puta sa svakom godinom starosti kod engleskih nogometaša. Također, Verrall i sur. (2001) zaključuju kako se rizik od ozljede povećava za 30% sa svakom godinom starosti. Prior i sur. (2009) navode kako sportaši stariji od 25 godina imaju od 1,3 do 3,9 puta veći rizik od ozljede hamstringsa. I ostale studije potvrđuju slične rezultate (Opar i sur., 2012). Autori navode fiziološke i morfološke promjene, koje se dešavaju kao posljedica normalnog procesa starenja, kao potencijalne razloge povećanja rizika od ozljede sa starijom životnom dobi. Smanjenje mišićne mase i jakosti, povećanje tjelesne mase te smanjenje fleksibilnosti hamstringsa s dobi u literaturi se navode kao potencijali razlozi. Iako je kod starijih sportaša primijećeno postojanje navedenih parametara, ipak niti za jedan od navedenih razloga u literaturi nije postignuta statistički značajna korelacija s povećanim rizikom od ozljede hamstringsa (Gabbe i sur., 2006; Opar i sur., 2012; Arnason i sur., 2004). Gabbe i sur. (2006) u svojoj su studiji utvrdili povezanost indeksa tjelesne mase (BMI) i povećanog rizika od ozljede hamstringsa kod australskih nogometaša, navodeći kako igrači s  $BMI > 25 \text{ kg/m}^2$  imaju 2.5 puta veći rizik od ozljede hamstringsa. Orchard (2001) ističe kako je povišeni BMI indirektan čimbenik rizika za ozljedu hamstringsa pošto se povećava s povećanjem dobi. Orchard i sur. (2004) navode smanjenje jakosti hamstringsa kao potencijalne razloge,

do koje dolazi zbog degeneracije mišićnih vlakana koje je izazvano degenerativnim promjenama uslijed starenja na razini L5-S1 (impingement sindrom), te zbog hipertrofije lumbosakralnog ligamenta.

#### 4.1.5. NERAVNOTEŽA JAKOSTI I SNAGE

Brojni autori navode različite deficite u jakosti i snazi mišića hamstringsa kao važne rizične čimbenike ozljede (Opar i sur., 2012; Liu i sur., 2012; Prior i sur., 2009; Verrall i sur., 2012). Croiser i sur. (2000) navode kako mišićna neravnoteža jakosti hamstringsa i kvadricepsa (H:Q omjer jakosti) povećava rizik od ozljede hamstringsa za 4 do 5 puta.

##### 4.1.5.1. NEDOSTATNA JAKOST MIŠIĆA HAMSTRINGSA

Pregled literature pokazuje kontradiktorne nalaze vezane uz povezanost jakosti i rizika od ozljede hamstringsa. Istraživanja na životinjskim modelima pokazuju kako stimulirani mišići mogu podnijeti veću razinu opterećenja prije oštećenja izazvanog istezanjem mišića u usporedbi s djelomično aktiviranim mišićima (Opar i sur., 2012). S obzirom na navedeno, autori ističu kako su jači mišići zaštićeniji od ozljede uslijed istezanja, odnosno da slabost mišića predstavlja čimbenik rizika za ozljedu. Henderson i sur. (2010) u svom istraživanju pokazuju kako australski nogometaši s ozljedom hamstringsa imaju niži maksimalni koncentrični moment sile hamstringsa. Slično, Yamamoto (1993) uočava značajno manju razinu normalizirane jakosti hamstringsa kod ozlijeđenih japanskih sportaša u usporedbi s neozlijeđenima. Sugiura i sur. (2008) su utvrdili povezanost između smanjene koncentrične jakosti ekstenzora kuka i ozljeda hamstringsa. Croisier i sur. (2000) iznose kako je kod 70% slučajeva ozljede hamstringsa došlo do smanjene izokinetičke ekscentrične jakosti ozlijeđenog hamstringsa, navodeći smanjenu jakost kao prediktivni faktor buduće ozljede. Suprotno tome, Gabbe i sur. (2005) i Brenell sur. (1998) nisu utvrdili nižu razinu jakosti ozlijeđene noge.

#### 4.1.5.2. BILATERALNA ASIMETRIJA JAKOSTI HAMSTRINGSA

Opar i sur (2012) navode kako bilateralna asimetrija jakosti hamstringsa veća od 10% (60°/s) predstavlja značajan čimbenik rizika ozljede hamstringsa u američkom nogometu i atletici. Slična povezanost nije utvrđena prilikom testiranja bilateralne jakosti pri brzini od 180°/s i 300°/s (Orchard i sur., 1997). Ahmad i sur. (2013) iznose slične zaključke, navodeći kako je bilateralna asimetrija u jakosti od 10% do 15% značajan prediktor buduće ozljede. Orchard i sur. (1997) iznose da čak i bilateralna asimetrija od 8% kod australskih nogometaša predstavlja značajan rizični čimbenik. Frecklenton i sr. (2013) navode kako je ekscentrična asimetrija jakosti između L i D noge značajan prediktor ozljede hamstringsa, dok isto nije potvrđeno za koncentričnu asimetriju kod nogometaša. Schache i sur. (2011) su u svom istraživanju utvrdili kako se bilateralna asimetrija u jakosti hamstringsa značajno povećala 5 dana prije ozljede hamstringsa. Ipak, nisu sve studije potvrdile postojanje bilateralne asimetrije u jakosti hamstringsa kao prediktivni čimbenik za buduću ozljedu (Bennell i sur., 1998; Opar i sur., 2014). Opar i sur. (2014), nadalje navode kako bilateralna asimetrija ekscentrične jakosti hamstringsa od 10%, 15% ni 20% nije povećala rizik od nastanka ozljede hamstringsa, ali navode kako je niska razina ekscentrične jakosti bila prediktivni faktor ozljede kod australskih nogometaša.

#### 4.1.5.3. ASIMETRIJA JAKOSTI HAMSTRINGSA U ODNOSU NA KVADRICEPS IPSILATERALNE NOGE (H:Q odnos)

H:Q odnos jedan je od najistraživanijih rizičnih čimbenika u dostupnoj literaturi. Odnos jakosti agonista i antagonista mišića fleksora i ekstenzora koljena koristi se za utvrđivanje funkcionalnosti koljena, stabilnosti koljena i mišićne ravnoteže jakosti hamstringsa i kvadricepsa za vrijeme brzih pokreta (Orchard et al., 1997; Greco i sur., 2012). Best i sur. (2013) navode kako je odnos jakosti agonista i antagonista (H:Q odnos) bolji prediktor buduće ozljede hamstringsa u odnosu na procjenu jakosti samog hamstringsa. U literaturi se navode dvije mjere odnosa H:Q. To su tradicionalni izokinetički H:Q odnos i funkcionalni H:Q odnos (Aagaard i sur., 1998; Greco i sur., 2012). Tradicionalni H:Q odnos odnosi se na procjenu odnosa vršnog momenta sile hamstringsa i kvadricepsa u koncentričnim izokinetičkim



uvjetima (Cheung i sur., 2012). Zavisno od kutne brzine, taj se omjer kreće od 0,5-0,6 pri 60°/s pa sve do 1,0 pri 300°/s (Bennell et al., 1998; Orchard et al., 1997). Orchard i sur. (1997) naglašavaju kako su sportaši koji imaju H:Q koncentrični omjer bliži 1,0 pod manjim rizikom od ozljede mišića natkoljenice. Neki autori navode kako tradicionalni H:Q omjer nije najbolji prediktor buduće ozljede (Coombs i sur., 2002). Coombs i sur. (2002) navode kako je razina koaktivacije hamstringsa pri maksimalnoj koncentričnoj kontrakciji kvadricepsa 8-59%, dok je u obrnutom slučaju razina koaktivacije kvadricepsa samo 5-8%. Stoga autori smatraju kako bi odnos ekcentrične jakosti hamstringsa i koncentrične jakosti kvadricepsa predstavljao bolju mjeru procjene maksimalnog potencijala antagonista da se suprotstave koncentričnoj kontrakciji agonista za vrijeme funkcionalnog pokreta te predstavljao bolji prediktivni čimbenik buduće ozljede (Coombs i sur., 2002). U literaturi se takav se omjer naziva funkcionalni H:Q omjer ili dinamički omjer jakosti (Coombs i sur., 2002; Greco i sur., 2012). Funkcionalni H:Q omjer može biti izražen kao H koncentrični: Q ekscentrični omjer (kod flektiranog koljena), ili kao H ekscentrični: Q koncentrični omjer (kod ekstendiranog koljena)(Coombs i sur., 2002; Greco i sur., 2012 ). Autori navode kako normalan Hecc/Qcon omjer iznosi 1,0. Konačno, omjer eksplozivne jakosti (gradijenta sile) hamstringsa i kvadricepsa se također spominje kao potencijalno važan čimbenik za stabilizaciju koljena pri izvedbi eksplozivnih pokreta u sportu (Greco i sur., 2012). Autori navode kako su funkcionalni H:Q odnos i RTD H:Q odnos smanjeni kod grupe sportaša s ozljedom hamstringsa u odnosu na neozlijeđenu grupu. Prekomjerna koncentrična jakost kvadricepsa u odnosu na ekscentričnu jakost hamstringsa stavlja sportaša pod povećani rizik od nastanka ozljede (Copland i sur., 2009). Mogući razlog je da nizak funkcionalni H:Q odnos ukazuje na smanjenu sposobnost hamstringsa da uspore kretanje tibije u koljenu za vrijeme fleksije u kuku i ekstenzije koljena u završnoj fazi zamaha ciklusa trčanja (Opar i sur., 2012). Za vrijeme početne faze zamaha, snažna koncentrična kontrakcija kvadricepsa proizvodi okretni moment u zglobu koljena koji ima potencijal nadmašiti mehaničke sposobnosti hamstringsa, što stavlja dodatno opterećenja na hamstrings u njihovu nastojanju da uspore kretanje tibije u kasnoj fazi zamaha i suprotstave se sili generiranoj od strane kvadricepsa. Tako dolazi do dodatnog izduživanja mišića hamstringsa u završnoj fazi zamaha. Heiser i sur. (1984) navode kako tradicionalni

H:Q odnos  $< 0,5$  kod američkih nogometaša predstavlja značajan rizični čimbenik za ozljedu hamstringsa. Yeung i sur. (2009) iznose kako se rizik od ozljede hamstringsa povećava 17 puta kod H:Q odnosa ( $180^\circ/s$ ) manjeg od 0,6. Ostale studije potvrđuju nalaze Heisera i sur. (Sugiura i sur., 2008; Yamamoto i sur., 1993, Orchard i sur., 1997). Orchard i sur. (1997) navode kako je H:Q odnos bolja prediktivna mjera buduće ozljede od najcitiranijeg rizičnog faktora: prijašnje ozljede hamstringsa (98%). Ahmad i sur. (2013) navode kako H:Q odnos može varirati s obzirom na spol, sport i igračku poziciju. Povećanjem jakosti hamstringsa i promjenom H:Q odnosa djeluje se na modifikaciju optimalne dužine mišića, odnosno kuta proizvodnje maksimalnog momenta sile, što u konačnici može dovesti do smanjenja rizika od ozljede (Guex i sur., 2012).

#### 4.1.6. KUT MAKSIMALNOG MOMENTA SILE FLEKSORA KOLJENA I FLEKSORA KUKA

Opar i sur. (2012) navode kako su sportaši s većim kutem u koljenu za vrijeme proizvodnje maksimalnog momenta sile fleksije koljena (postizanje maksimalnog momenta sile pri manjoj mišićnoj duljini) u većoj opasnosti od ozljede hamstringsa. Kaufman i sur. (1989) definiraju optimalnu dužinu mišića kao mišićnu dužinu pri kojoj mišićni kontraktilni elementi imaju mogućnost generiranja maksimalnog momenta sile. Liu i sur. (2012) navode da kod osoba s ozljedom hamstringsa dolazi do značajnog povećanja kuta fleksije koljena pri generiranju maksimalnog momenta sile fleksije koljena. Autori nadalje navode kako povećanje kuta ukazuje na manju optimalnu mišićnu dužinu što povećava rizik od nastanka ozljede hamstringsa u usporedbi s neozlijeđenom nogom pri istom opsegu pokreta. Opar i sur. (2012) također navode kako sportaši s ozljedom hamstringsa imaju veći kut proizvodnje maksimalnog momenta sile na ozlijeđenoj nozi u usporedbi s neozlijeđenom. S druge strane, Yeung i sur. (2009) u svojoj studiji na japanskim sprinterima nisu utvrdili povezanost kuta maksimalnog momenta sile fleksora koljena i učestalosti ozljede hamstringsa. Stoga, pregledom literature nije u potpunosti jasno dali povećani kut stvaranja maksimalnog momenta sile značajno povećava rizik od ozljede hamstringsa ili je povećanje kuta posljedica ozljede.

Pregledom literature pronađen je jedan članak koji opisuje doprinos kuta fleksije kuka pri generiranju maksimalnog momenta sile za vrijeme sprinta (Guex i sur., 2012). Autori navode kako do izduživanja hamstringsa dolazi uslijed kombinacije ekstenzije koljena i fleksije kuka, navodeći kako je to izduženje još naglašenije uslijed inklinacije zdjelice, a kojeg omogućava veća ekstenzija kontralateralnog kuka u istoj fazi ciklusa trčanja (Schache i sur., 2002). Guex i sur. (2012) navode kako su i ekscentrični i koncentrični maksimalni moment sile u kuku, kao i H:Q odnos, veći kada je kuk flektiran.

#### 4.1.7. STABILNOST TRUPA

Stabilnost trupa korelira s ozljedama hamstringsa (Mendiguchia i sur., 2012). Ipak, utjecaj stabilnosti trupa na rizik od ozljede hamstringsa nije dovoljno istražen. Sherry i sur. (2004) navode kako je grupa ispitanika koja je provodila trening temeljen na poboljšanju stabilnosti trupa imala manji stupanj ponovljene ozljede hamstringsa u odnosu na grupu ispitanika koja je provodila samo trening jakosti i fleksibilnosti hamstringsa. Chumanov i sur. (2007) iznose hipotezu u kojoj navode kako povećanje stabilnosti trupa utječe na smanjenje napetosti mišića hamstringsa, navodeći kako se povećanjem stabilnosti trupa utječe na povećanje lumbo-zdjelične stabilnosti čime se djelomično rasterećuje hamstrings u njihovoj ulozi stabilizatora lumbo-zdjelične regije za vrijeme trčanja. Također, veća stabilnost trupa za vrijeme trčanja znači i manje oscilacije zdjelice (inklinacije i reklinacije) (Chumanov i sur., 2007).

#### 4.1.8. FLEKSIBILNOST

Pregledom literature nailazi se na oprečne zaključke vezane uz utjecaj fleksibilnosti na rizik od ozljede hamstringsa. Pretpostavka je da veća fleksibilnost hamstringsa pridonosi smanjenju rizika od ozljede zbog povećanja sposobnosti pasivnih komponenata mišića da apsorbiraju energiju prilikom ekscentrične faze kontrakcije zbog veće elastičnosti (Opar i sur., 2012). Druga teorija odnosi se na utjecaj fleksibilnosti hamstringsa na odnos kuta fleksije koljena u izometričnim uvjetima i proizvedenog momenta sile (Alonso i sur., 2009). Autori navode kako su

ispitanici s lošijom fleksibilnošću hamstringsa imali veći kut fleksije koljena pri proizvodnji maksimalnog momenta sile fleksije u izometričnim uvjetima rada. Nadalje, isti autori iznose zaključak kako sportaši s nedovoljnom fleksibilnošću hamstringsa imaju manju optimalnu dužinu mišića, što ih direktno stavlja pod povišeni rizik od ozljede hamstringsa. Veći broj istraživača (Arnason sur., 2004; Burkett, 1970; Orchard i sur., 1997; Gabbe i sur., 2006) u svojim studijama provedenim na američkim i australskim nogometašima nisu utvrdili povezanost fleksibilnosti hamstringsa s rizikom njihova ozlijeđivanja. Slično, Yeung i sur. (2009) nisu utvrdili povezanost fleksibilnosti hamstringsa i rizika njihova ozlijeđivanja u sprintera. Ipak, nekolicina je studija potvrdila pozitivnu povezanost nedostatne fleksibilnosti i rizika od ozljede hamstringsa (Bradley i sur., 2007; Henderson i sur., 2010; Witvrouw i sur., 2003). Isti autori pronalaze povezanost između značaja treninga fleksibilnosti provedenog u predsezoni s manjim brojem ozljeda hamstringsa u sezoni kod europskih nogometaša. Witvrouw i sur. (2003) navode kako je procijenjena fleksibilnost hamstringsa manja od 90° pri pasivnom podizanju pružene noge značajan rizični čimbenik nastanka buduće ozljede hamstringsa. Većina studija koja je proučavala utjecaj fleksibilnosti na povećani rizik od ozljede hamstringsa nije utvrdila takvu povezanost, navodeći kako fleksibilnost nije značajan rizični čimbenik (Mendiguchia i sur., 2012; Ahmad i sur., 2013). Ipak, nekolicina autora upozorava na moguće metodološke propuste tih istraživanja. Foreman i sur. (2006) upozoravaju na nedovoljnu preciznost testova koji su primjenjivani u većini studija za procjenu fleksibilnosti hamstringsa (testovi sjedni i dohvati, podizanje pružene noge i pretklon u stajanju), naglašavajući kako prilikom izvedbe navedenih testova nije bilo kontrole pokreta u kuku i lumbalnom dijelu kralježnice (nisu bili fiksirani i stabilizirani). Autori navode kako u takvim slučajevima nije moguće diferencirati doprinos pokreta u lumbalno-zdjeličnoj regiji povećanju opsega pokreta u testu fleksibilnosti hamstringsa.

S druge strane, iako se za fleksibilnost hamstringsa još uvijek pouzdano ne zna je li značajan rizični čimbenik, fleksibilnost ostalih mišića noge pokazala se važna u predikciji ozljede hamstringsa. Nekolicina studija potvrdila je kako je fleksibilnost kvadricepsa ipsilateralne noge povezana s incidencijom nastanka ozljeda hamstringsa (Prior i sur., 2009). Gabbe i sur. (2006, 2005) na skupini australskih nogometaša

prikazali su da sportaši koji na modificiranom „Thomas“ testu postignu fleksiju koljena veću od 51% imaju 70% manji rizik od ozljede hamstringsa. Isti autori navode kako fleksibilnost fleksora kuka također predstavlja rizičan faktor. Konkretno, Gabbe i sur. (2006) navode kako se za svako smanjenje fleksibilnosti fleksora kuka za 1° u modificiranom „Thomas“ testu rizik od ozljede hamstringsa povećava za 15% kod sportaša starijih od 25 godina. Nadalje, nedovoljna fleksibilnost iliopsoasa nije se pokazala kao značajan rizični čimbenik ozljede hamstringsa u istraživanju Gabbe i sur. (2006). Ipak autori navode važnost iliopsoasa kontralateralne noge za vrijeme trčanja, navodeći kako se maksimalna izduženost iliopsoasa stajne noge dešava usporedno s maksimalnim izduživanjem hamstringsa zamašne noge za vrijeme trčanja (Chamanov i sur., 2007; Riley i sur., 2010). Također, aktivnost iliopsoasa u ranoj fazi zamaha uzrokuje povećanje inklinacije zdjelice, što mišiće hamstringsa kontralateralne noge stavlja u izduženiji položaj. U svojoj preglednoj studiji, Freckleton i sur. (2013) navode kako bilateralne asimetrije u fleksibilnosti kvadricepsa, „Slump“ testu, stupnju fleksije lumbalne kralježnice, testu podizanja pružene noge i testu „sjedni i dohvati“ nisu značajni čimbenici rizika ozljede hamstringsa.

Zaključno, fleksibilnost hamstringsa ostaje nedorečeni rizični čimbenik ozljede hamstringsa. Potrebna su daljnja istraživanja s jasno definiranim metodološkim slijedom kako bi se utvrdio stvaran utjecaj nedostatne fleksibilnosti hamstringsa na rizik od njihova ozljeđivanja.

#### 4.1.9. MIŠIĆNI UMOR

Opar i sur. (2012) u svojoj studiji navode umor kao značajan rizični čimbenik ozljede hamstringsa, navodeći kako se većina ozljeda hamstringsa dešava u kasnijim fazama natjecanja kada je umor već prisutan. Mohr i sur. (2003) navode kako je mišićni umor prisutan pred kraj natjecanja/utakmice, potvrđujući to nalazom kako je prijedena udaljenost u drugoj polovici utakmice manja za 5-10%. Nalazi ostalih istraživanja iznose slične zaključke (Brooks i sur., 2006; Woods i sur., 2004; Gerett i sur., 1996). Woods i sur. (2015) navode kako smanjena sposobnost mišića da generira silu proizlazi iz smanjene sposobnosti apsorpcije energije. Pokazalo se kako mišići kod

kojih je došlo do umora, uslijed električne stimulacije u laboratorijskim uvjetima, imaju sniženu sposobnost apsorpcije energije prije nastanka oštećenja u usporedbi s mišićima bez zamora (Mair i sur., 1996). Autori navode kako umorni mišići imaju veću vjerojatnost od nastanka ozljede zbog smanjene sposobnosti da se odupru izduživanju za vrijeme ekscentrične kontrakcije. Drugim riječima, umoreni se mišić mora više izdužiti kako bi bio u mogućnosti apsorbirati energiju, čime se izlaže većem riziku od ozljede (Mair i sur., 1996). Pinniger i sur. (2000) su u svojoj studiji pokazali kako umor mišića hamstringsa povećava kut ekstenzije koljena za vrijeme završne faze zamaha kod trčanja, što bi značilo da se mišići hamstringsa u tom slučaju još dodatno izdužuju, povećavajući rizik od ozljede. Ipak, usporedno s povećanjem ekstenzije koljena, dolazi do kompenzatornog smanjenja fleksije kuka, stoga ove se dvije pojave poništavaju, dovodeći u pitanje zaključke Pinnigera i suradnika (2000). Nadalje, autori navode kako te promjene u poziciji kuka i koljena uslijed umora izazvanog dinamičkim aktivnostima mogu dovesti do promjene u proprioceptiji. Pritom navode kako umor mišića nakon izokinetičkog treninga izaziva smanjenje maksimalne voljne kontrakcije fleksora koljena za 30%, što potencijalno umanjuje proprioceptivne sposobnosti mišića (Allen i sur., 2010). Smanjena proprioceptija stvara dojam normalnog izduživanja mišića za vrijeme trčanja, dok se hamstrings zapravo neprestano pretjerano izdužuje, povećavajući rizik od nastanka mikrooštećenja čija akumulacija dovodi do nastanka ozljede mišića (Allen i sur., 2010). Nadalje, uslijed umora mišića dolazi do smanjenja ekscentrične jakosti hamstringsa za 16,8%, kao što dolazi i do smanjenja funkcionalnog H:Q odnosa za 15,0%. Istovremeno, ne dolazi do značajne promjene u koncentričnoj jakosti fleksora koljena (Small i sur., 2009). Slične su nalaze utvrdili i Rahnama i sur. (2003). Potencijalni rizik ozljede hamstringsa predstavljaju i promjene u uzorcima neuromišićne koordinacije uslijed umora. Kyrolainen i sur. (2000) ukazuju na činjenicu da svaki čimbenik koji dovodi do promjene tog uzorka predstavlja rizik za ozljedu mišića. U svojoj su studiji, Kyrolainen i sur. (1999) pokazali kako do najvećih promjena u aktivacijskim uzorcima za vrijeme povećanja brzine trčanja dolazi kod BF. Pinniger i sur. (2000), sukladno ranijim istraživanjima, navode kako uslijed umora za vrijeme sprinta, dolazi do ranije aktivacije BF i SM. Autori ističu kako do promjene aktivacijskog obrasca dolazi zbog umora mišića ili zbog živčanog umora

izazvanog iritacijom ili oštećenjem živaca koji inerviraju mišić. Devlin (2000) navodi i ostale potencijalne faktore povezane sa umorom hamstringsa, a koji povećavaju rizik od njegove ozljede: promjene u tehnici, smanjena koncentracija i ostali psihološki čimbenici. Ipak, ovi čimbenici nisu potvrđeni u istraživanjima, već su izneseni kao pretpostavke i budući mogući pravci istraživanja povezanosti umora i povećanog rizika ozljede hamstringsa.

#### 4.1.10. ŽIVČANA NAPETOST

Abnormalna živčana napetost definira se kao abnormalan fiziološki i mehanički odgovor neuromišićnog sustava na podražaj uz očuvani normalni opseg pokreta i elastične sposobnosti mišića (Newsham, 2006). Devlin i sur. (2000) obrazlažu kako grane živac ishidjadikusa koje inerviraju mišiće hamstringsa mogu biti iritirane ili oštećene, što u konačnici dovodi do povećanja živčane napetosti u mišiću s ili bez prisustva iritirane boli. S vremenom takva povećana živčana napetost dovodi do lokalnog oštećenja i propadanja mišićnih vlakana hamstringsa. Autori, nadalje navode kako je živčanu napetost moguće procijeniti „Slump“ testom. Turl i sur. (1998) navode abnormalnu živčanu napetost kao značajan rizični čimbenik ozljede hamstringsa, iznoseći podatke kako se u čak 50% sportaša nakon ozljede hamstringsa (I stupanj) javlja abnormalna živčana napetost. S druge strane, Prior i sur. (2009) u svom istraživanju nisu potvrdili postojanje abnormalne živčane napetosti kao značajnog čimbenika rizika za ozljedu hamstringsa. Navedeni autori smatraju kako živčana napetost indirektno, kroz smanjenje opsega pokreta, može utjecati na nastanak ozljede hamstringsa. Zaključno, pregledom literature ustanovljen je manjak čvrstih dokaza o povezanosti živčane napetosti i rizika od ozljede hamstringsa.

#### 4.1.11. FUNKCIONALNI POKAZATELJI

Freckleton i sur. (2013) napravili su pregled 10 istraživanja koja su se bavila povezanošću funkcionalnih pokazatelja i rizika od ozljede hamstringsa. Autori navode kako su samo vertikalni skok iz čučnja (rizik se smanjuje za 1,47 puta za svaki postignuti cm na testu) i razlika u funkcionalnoj duljini noge veća od 1,8 cm značajni prediktivni čimbenici rizika nastanka ozljede hamstringsa, ali uz nisku razinu statističke značajnosti. Ostale promatrane mjere nisu povezane s rizikom od ozljede hamstringsa: jakost abdominalnih mišića, maksimalni primitak kisika i druge mjere aerobne sposobnosti, maksimalna snaga, vertikalni skok s pripremom (CMJ), brzina trčanja te asimetrija u laksičnosti koljena. Slično, Gabbe i sur. (2006) i Arnason i sur. (2004) nisu utvrdili povezanost između rizika od ozljede hamstringsa i sljedećih mjera: maksimalnog primitka kisika, vertikalnih skokova i sastava tijela.

#### 4.2. EKSTRINZIČNI ČIMBENICI RIZIKA

Ekstrinzični čimbenici rizika odnose se na vanjske, okolinse i situacijske čimbenike, odnosno sport-specifične čimbenike rizika.

##### 4.2.1. SPECIFIČNO-SPORTSKI ČIMBENICI RIZIKA

Specifično-sportski rizični čimbenici odnose se na: igračku poziciju, kvalitativnu razinu natjecanja, nepravilnu tehniku, nedostatan zagrijavanje prije aktivnosti i dominantnu nogu kod udaraca. Ekstrinzični čimbenici rizika mogu biti promjenjivi ili nepromjenjivi. Promjenjivi ekstrinzični čimbenici su: nepravilna tehnika i neadekvatno zagrijavanje.

Verrall i sur. (2001) navode kako je prevalencija ozljeda hamstringsa za čak 20% veća kod igrača australskog nogometa koji nastupaju u višim rangovima natjecanja. Slične su rezultate objavili Woods i sur. (2004) i Brooks i sur. (2006). Brooks i sur. (2006) navode kako je incidencija ozljeda hamstringsa kod profesionalnih igrača bila gotovo dvostruko veća u usporedbi s polu-profesionalnim igračima



(profesionalni igrači: 5,6 ozljeda/1000 sati igre; polu-profesionalni igrači: 3,0 ozljeda/1000 sati igre). Suprotno, vrijeme provedeno na terenu nije se pokazalo kao značajan rizični čimbenik (Arnason i sur, 2004; Gabbe i sur., 2005; Witvrouw i sur., 2003). Elliott i sur. (2011) navode kako je pred-sezona (7 tjedana prije početka sezone) u Nacionalnoj Nogometnoj Ligi SAD-a period u kojem dolazi do najvećeg broja ozljeda hamstringsa (53,1%). Kao mogući razlog, autori navode pad razine kondicijske pripremljenosti za vrijeme odmora između sezona. Whiteside i sur. (1985) iznose slične podatke, pokazujući kako se većina ozljeda hamstringsa dešava u periodu pred-sezone u proljeće.

U preglednoj studiji Prior i sur. (2009) i Freckleton i sur. (2013) navode kako nema razlike između rizika nastanka ozljeda hamstringsa kod dominantne u usporedbi s nedominantnom nogom kod sportova u kojima dominiraju udarci nogom. S druge strane, Ekstrand i sur. (2012) navode kako je veća prevalencija ozljeda zabilježena kod dominantne (pucačke) noge u Europskih nogometaša (55% ozljeda na dominantnoj nozi).

Orchard i sur. (1997) su ustanovili kako se igrači na pozicijama koje zahtijevaju više sprinterskih aktivnosti nalaze pod većim rizikom od nastanka ozljede hamstringsa. Isti autor, navode i podatak kako nogometaši na terenu imaju 22-37% veću incidenciju ozljede hamstringsa u usporedbi s vratarima. Smanjeni rizik ozljeda hamstringsa kod vratara u nogometu potvrdili su i Woods i sur. (2004). Brooks i sur. (2006) u svojoj studiji navode kako je incidencija ozljede hamstringsa u igrača ragbija značajno veća kod bekova (8,6 ozljeda/1000 sati igre) u usporedbi s napadačima (3,0 ozljeda/1000 sati igre). Kao potencijalni razlog, autori navode kako bekovi u ragbiju pretrče više sprinterskih dionica po utakmici u usporedbi s napadačima. Nadalje, Elliott i sur. (2011) navode kako igračke pozicije u ragbiju s povećanim zahtjevima za brzinom imaju značajno veću učestalost ozljede hamstringsa u usporedbi s igračkim pozicijama s naglašenim zahtjevima jakosti.

Brooks i sur. (2006) zaključuju kako je veća incidencija ozljeda početkom drugog poluvremena povezana s hlađenjem mišića u poluvremenu. Bitan čimbenik rizika nastanka ozljeda hamstringsa u sportu je i zagrijavanje. Safran i sur. (1988) navode kako je primjereno zagrijavanje ključno u prevenciji ozljeda mišića jer se

povećanjem temperature mišića povećava i njihova elastična sposobnost, a time i tolerancija većeg izduživanja za vrijeme ekscentrične kontrakcije.

## 5. UČINKOVITE MJERE PREVENCIJE

Kao najučestalije mjere prevencije u literaturi se navodi jačanje i istežanje mišića hamstringsa. Pored toga „tradicionalnog“ pristupa, postoji i noviji „funkcionalni“ pristup koji u obzir uzima međuovisnost segmenata tijela i utjecaj stabilnosti trupa na mehaniku hamstringsa za vrijeme aktivnosti (Goldman i sur., 2011; Mendiguchia i sur., 2010; Lempainen i sur., 2013). Funkcionalni pristup sastoji se od treninga agilnosti i stabilizacije trupa i pokazao se učinkovitijim od tradicionalnog pristupa (Sherry i sur., 2004). Sherry i sur. (2004) navode kako je incidencija ponovljene ozljede kod skupine koja je provodila funkcionalni rehabilitacijski program, temeljen na vježbama agilnosti i stabilizacije trupa, iznosila 7,7% unutar jedne godine, dok je kod grupe koja je provodila tradicionalni program rehabilitacije incidencija ponovljene ozljede iznosila čak 54,5%-70%. Prilikom oblikovanja preventivnog programa vježbanja potrebno je sagledati sve potencijalne promjenjive čimbenike rizika, uz uvažavanje prisutnih nepromjenjivih čimbenika rizika. Programi prevencije ozljeda hamstringsa trebali bi se temeljiti na holističkom pristupu koji u obzir uzima međuzavisnost segmenata tijela, posebice međuodnos lumbalne kralježnice, sakro-ilijakalnog zgloba, mišića zdjelične regije (Mason i sur., 2007; Mendiguachia i sur., 2012). Argument takvom holističkom pristupu mogao bi biti zanemarivanje doprinosa pokreta u lumbo-sakralnoj regiji i doprinos mišića trupa kod procjene fleksibilnosti hamstringsa. Mendiguachia i sur. (2012) navode kako je potrebno holistički sagledavati varijable pokretljivosti i jakosti hamstringsa, bez potrebe za njihovom izolacijom. Prema tim autorima, samo na takav način moguće je postići globalniji pristup i bolje razumijevanje složenih mehanizama i međuodnosa pojedinih varijabli u pozadini ozljeda hamstringsa.

Kod odabira vježbi na umu valja imati i specifičnosti anatomske građe i mehanizme kontrakcije pojedinih mišića hamstringsa, primjerice, poznato je da su ST

i SM najaktivniji pri kraćoj mišićnoj duljini, dok se najveća aktivacija duge glave BF odvija pri većoj mišićnoj duljini (Onishi i sur., 2002). Navedeno bi značilo da bi, ako želimo utjecati na povećanje jakosti SM i ST, vježbe trebalo izvoditi uz veći kut fleksije u zglobu koljena. Obrnuto, za jačanje BF, kut fleksije koljena trebao bi biti manji prilikom izvedbe vježbi. Također, učinkoviti pristup preventivnim programima trebao bi se temeljiti na implementaciji dinamičkih pokreta, specifično-sportskih vježbi i pliometrijskih zadataka koje su srodnije situaciji u kojoj dolazi do ozljede hamstringsa. Tome u prilog govore i istraživanja Verrall-a i sur. (2005) i Cameron-a i sur. (2007) koji naglašavaju važnosti implementacije vježbi za povećanje neuromišićne kontrole donjih ekstremiteta i lumbalno-zdjelične regije u uspješnoj prevenciji ozljeda hamstringsa. Verrall i sur. (2005) navode kako preventivni program s naglaskom na pokrete trupa za vrijeme trčanja (uspravno držanje, fleksija trupa, fleksija i rotacija trupa) dovodi do smanjenja ozljeda hamstringsa za 70% u periodu od prosječno 2 godine.

## 5.1. TRENING EKSCENTRIČNE JAKOSTI HAMSTRINGSA

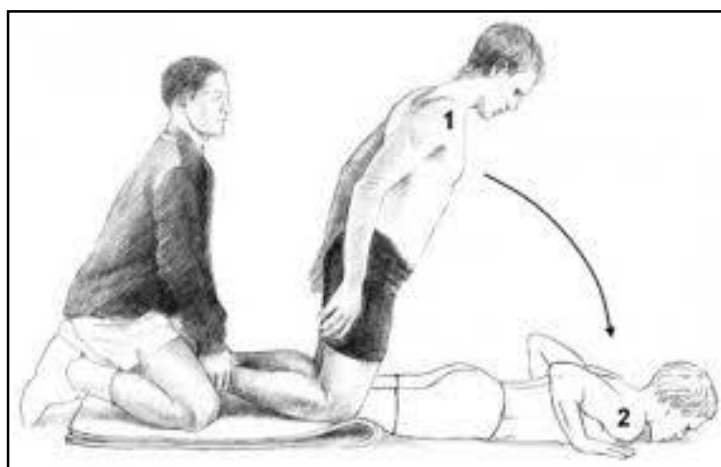
Brughelli i sur. (2010) navode kako ekscentrični trening jakosti utječe na pomicanje odnosa dužina-napetost prema većoj mišićnoj duljini i na povećanje broja serijskih sarkomera u mišiću. Autori navode kako se povećanjem ekscentrične jakosti hamstringsa utječe na povećanje H:Q odnosa. Nadalje, jačanje mišića u njegovom izduženom položaju (ekscentrična kontrakcija) ima značajnu preventivnu vrijednost, pošto do ozljeda hamstringsa dolazi upravo prilikom ekscentrične kontrakcije. Geux i sur. (2012) navode kako je potrebno kontrolirati fleksiju kuka od 70° do 80° za vrijeme izvedbe vježbi za povećanje ekscentrične jakosti hamstringsa. Isti autori navode kako je upravo to idealan kut kod kojeg se postižu pozitivni učinci na povećanje dužine sarkomera i povećanje elastičnog kapaciteta pasivnih struktura mišića, kao i pozitivan utjecaj na povećanje jakosti. Geux i sur. (2012) nadalje navode kako je kod vježbi na trenažerima, kod kojih je kuk fiksiran (pregib koljena na trenažeru u ležanju), poželjno dodati veće opterećenje za vrijeme fleksije koljena. Isti autori iznose preporuke za prevenciju ozljeda hamstringsa, navodeći kako bi se preventivni program trebao sastojati od kombinacije ekscentrične i koncentrične

komponente jačanja hamstringsa, naglašavajući kako je kombinirani ekscentrično-koncentrični trening efikasniji u održavanju visokog nivoa inervacije mišića. Ekscentrična komponenta trebala bi se provoditi pod kutem fleksije kuka specifičnim za sprinterske aktivnosti (80°-90°) jer se pri tom kutu omogućava postizanje maksimalnog momenta sile čime se utječe na povećanje otpornosti fleksora koljena prilikom ekscentrične kontrakcije. Askling i sur. (2003) utvrdili su pozitivan učinak koncentrično-ekscentričnog programa vježbanja na inercijskom Yo-Yo ergometru na prevenciju ozljeda hamstringsa. Ipak, u studiji Gabbe i sur. (2006) nije utvrđen statistički značajan doprinos treninga jakosti hamstringsa na prevenciju njegova ozljeđivanja. Slične nalaze objavili su i Engebretsen i sur. (2008). Gabbe i sur. (2006) predlažu postepeno povećanje intenziteta i volumena ekscentričnog treninga jakosti, zbog činjenice da ekscentrični trening u velikoj mjeri izaziva zakašnjelu pojavu mišićne upale.

## 5.2. VJEŽBA NORDIJSKOG HAMSTRINGSA (NHE)

Kod NHE, vježbač iz klečeće pozicije kontrolirano spušta ravan trup prema tlu kroz ekstenziju u zglobu koljena, a time i naglašenu ekscentričnu kontrakciju hamstringsa (slika 8) (Opar i sur., 2012). Većina autora navodi NHE kao učinkovitu vježbu u prevenciji ozljeda hamstringsa. Petersen i sur. (2011) u svojoj studiji navode kako je trening ekscentrične jakosti mišića hamstringsa u kombinaciji s NHE utjecao na smanjenje broja ozljeda hamstringsa. Brockett i sur. (2001) navode kako NHE povećava ekscentričnu jakost hamstringsa te da utječe na smanjenje kuta proizvodnje maksimalnog momenta sile. Budući su oba čimbenika povezana s nastankom ozljeda hamstringsa, NHE se pokazala se kao učinkovita vježba za smanjenje rizika od ozljede. Gabbe i sur. (2006) usporedili su dva preventivna programa (tradicionalni program jačanja i istežanja hamstringsa, trening ekscentrične jakosti s NHE), te su ustanovili kako je skupina koja je provodila ekscentrični trening s NHE imala značajno nižu incidenciju ozljeda hamstringsa (4%) u odnosu na drugu skupinu (13%). Ipak, potencijalni nedostatak studije (niska razina sudjelovanja ispitanika) ukazuje na upitnost navedenih rezultata. Amason i sur. (2008) navode kako je implementacija NHE u kondicijski trening u pred-sezoni rezultirala smanjenjem

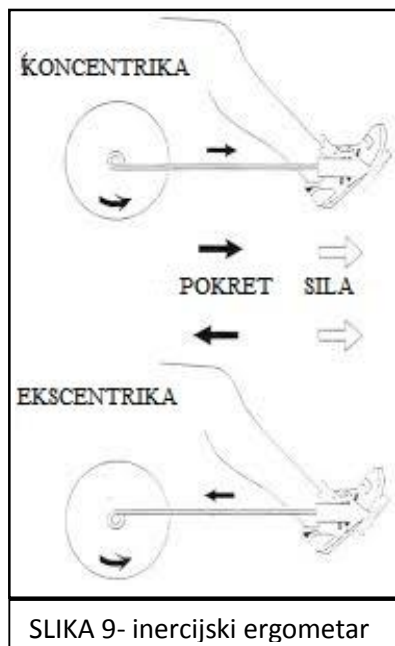
incidencije ozljeda hamstringsa za 65% u usporedbi s kontrolnom grupom. Ono i sur. (2010), pak, bilježe manju aktivaciju duge glave BF i SM u usporedbi s ST i gracilisom za vrijeme ekscentričnog opterećenja prilikom izvedbe pregiba koljena na trenažeru (pokret sukladan pokretu prilikom izvedbe NHE), zaključujući kako NHE nije optimalna vježba za adaptaciju BF (kao najozljeđivanijeg mišića) ekscentričnim opterećenjima za vrijeme aktivnosti.



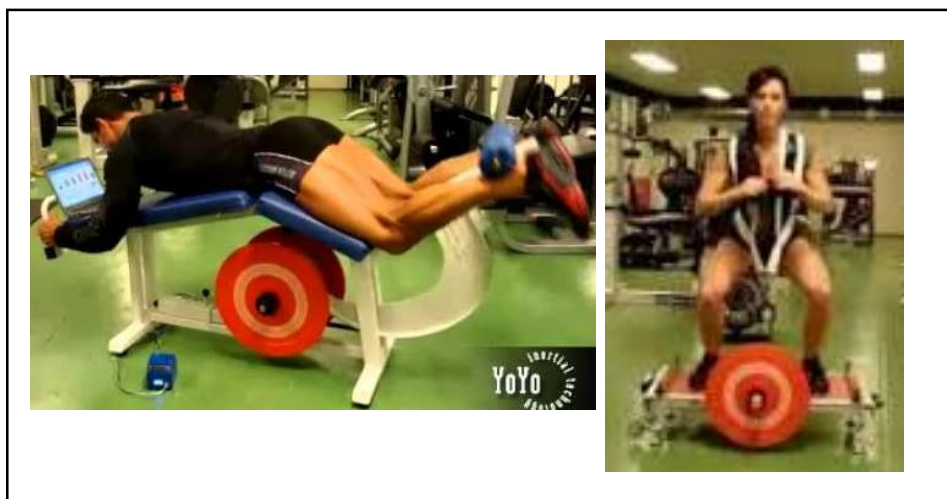
SLIKA 8- NHE

### 5.3. INERCIJSKI ERGOMETAR

Inercijski ergometar dizajniran je za izvedbu unilateralnih i bilateralnih vježbi (slika 9). Askling i sur. (2003) navode kako je nakon 10-tjednog treninga na inercijskom ergometru došlo do povećanja ekscentrične jakosti hamstringsa i smanjenja incidencije ozljeda hamstringsa u usporedbi s kontrolnom grupom koja nije provodila nikakav dodatni trening. Slično, Hoyo i sur. (2015) navode kako je došlo do smanjenja incidencije ozljeda mišića nogu nakon provedbe 10-tjednog treninga na Yo-Yo inercijskom ergometru (slika 10). Istovremeno je zabilježeno i povećanje skakačkih i sprinterskih sposobnosti nakon provedbe programa.



SLIKA 9- inercijski ergometar



SLIKA 10- yo-yo inercijski ergometar

#### 5.4. IZOKINETIČKI TRENING JAKOSTI

Brojni autori navode kako izokinetički trening jakosti utječe na smanjenje neravnoteže jakosti hamstringsa u odnosu na kvadriiceps. Croisier i sur. (2008) navode kako ispitanici s utvrđenom neravnotežom jakosti kroz H:Q omjer, a koji nisu bili podvrgnuti izokinetičkom treningu jakosti, imaju veću incidenciju ozljede hamstringsa.

## 5.5. TRENING FLEKSIBILNOSTI

Nalazi o učinkovitosti treninga fleksibilnosti na smanjenje rizika nastanka ozljede hamstringsa su podijeljeni. Prilikom odabira vježbi fleksibilnosti, na umu valja imati vrstu, trajanje i učestalost provedbe pojedine vježbe (Malliaropulus i sur., 2004). Shrier (1999) navodi kako su PNF tehnike istezanja učinkovitije u povećanju fleksibilnosti u odnosu na balističko i statičko istezanje. Utvrđeno je kako PNF tehnika, kao i balističke tehnike istezanja, povećavaju električnu aktivnost i napetost mišića za vrijeme istezanja. Stoga kod ekscentrične kontrakcije mišića, za vrijeme PNF istezanja, mišić proizvodi veću silu. Ovi nalazi ukazuju na mogućnost ponovnog ozljeđivanja ili nastanka nove ozljede (Shrier, 1999). Imajući to na umu, Malliaropulus i sur. (2004) preporučuju primjenu pasivnih tehnika istezanja uz inklinaciju zdjelice kako bi se povećao učinak istezanja hamstringsa. Goldman i sur. (2010) navode kako vježbe fleksibilnosti koje traju manje od 10 s nisu dostatne kako bi se utjecalo na povećanje fleksibilnosti mišića. Preporuka je da se vježbe fleksibilnosti izvode uz izdržaj od 20-30 s kao bi se postigao pozitivan učinak (Safran i sur., 1988). Arnason i sur. (2008) navode kako uvođenje vježbi fleksibilnosti u zagrijavanje kod nogometaša nije utjecalo na smanjenje incidencije ozljeda hamstringsa u promatranoj skupini. Slično, van Mechelen i sur. (1993) nisu zabilježili smanjenje incidencije ozljede hamstringsa u grupi koja je provodila program zagrijavanja i istezanja mišića u usporedbi s kontrolnom skupinom. Nadalje, nalazi dviju preglednih studija, također, navode kako nije moguće utvrditi stvarnu vrijednost treninga fleksibilnosti u prevenciji ozljeda hamstringsa (Thacker i sur., 2004; Weldon i sur., 2003). Malliaropulus i sur. (2004) u svojoj studiji iznose kako učestalost primjene pasivnog istezanja za vrijeme rehabilitacije drugog stupnja ozljede hamstringsa pridonosi bržem povratu opsega pokreta u zglobu koljena. No, u istraživanju nije potvrđena preventivna korist pasivnog istezanja od ozljede hamstringsa.

## 5.6. TEHNIKE MANIPULACIJE SAKRO-ILIJAKALNOG (SI) ZGLOBA

Disfunkcija SI zgloba dovodi do povećane inklinacije zdjelice na ipsilateralnoj strani i reklinacije na kontralateralnoj strani, što povećava rizik ozljede hamstringsa

za vrijeme sprinterskih aktivnosti (Cibulka i sur., 1986). Autori navode kako se manipulacijom SI zgloba djeluje na smanjenje inklinacije zdjelice, a time i na smanjenje prekomjernog izduživanja hamstringsa za vrijeme trčanja. Hoskins i sur. (2006) preporučuju manualnu terapiju kralježnice i zdjelice kao dio preventivnog programa ozljeda hamstringsa. Premda nisu ustanovili statistički značajan učinak manualne terapije na incidenciju ozljeđivanja hamstringsa, navedeni su autori utvrdili statistički značajno smanjenje ozljeda mišića nogu i donjeg dijela leđa.

## 5.7. PROPRIOCEPTIVNI TRENING

Nalazi dviju studija o utjecaju proprioceptivnog treninga (koristeći vježbe na polukružnoj ravnotežnoj dasci) na prevenciju ozljeda mišića noge pokazuju nejasne rezultate (Emery i sur., 2007; Söderman i sur., 2000). Nalazi njihovih studija ukazuju na potencijalu korist proprioceptivnog treninga u smanjenju učestalosti nastanka ozljeda mišića donjih ekstremiteta, ali ne i izolirano na ozljede hamstringsa. S druge strane, istraživanje Kraemer i sur. (2009) ukazuje kako 3-godišnji proprioceptivni trening ima pozitivan utjecaj na smanjenje incidencije ozljede hamstringsa kod nogometašica.

## 5.8. PREPORUČENE PREVENTIVNE VJEŽBE

Comfort i sur. (2009) iznose preporuke za rehabilitaciju ozljeda hamstringsa koje se mogu primjeniti i u preventivne svrhe. Autori navode kako je potrebno provoditi vježbe fleksibilnosti u kombinaciji s vježbama jakosti hamstringsa (dominantno ekscentrična komponenta jakosti). Comfort i sur. (2009) preporučuju primjenu sljedećih vježbi: NHE, iskoračni čučanj i pliometrijske vježbe (skokovi iz počučnja, raskoračni skokovi, dubinski skokovi). Nadalje, Lorenz i sur. (2011) navode preventivni značaj sljedećih vježbi: ekscentrični iskorak natrag (osoba se opire izvedbi koraka u natrag), ekscentrično povlačenje (osoba se opire povlačenju pokušavajući ne napraviti korak naprijed), ekscentrični ispadi (početna pozicija je u iskoraku, nakon čega slijedi naglo spuštanje u poziciju ispada) i „good morning“ vježba. Brughelli i sur. (2008) predlažu sljedeće vježbe za povećanje ekscentrične



jakosti hamstringsa: ekscentrični dubinski skokovi sa sanduka (doskok uz fleksiju u koljenu i kuku), ekscentrični iskoraci (iz pozicije iskoraka slijedi naglo spuštanje do pozicije čučnja u iskoraku), Zerchers čučanj i mrtvo dizanje na jednoj nozi. Heiderscheit i sur. (2010) i Sherry i sur. (2004) predlažu implementaciju vježbi za stabilizaciju trupa i neuromišićnu kontrolu u preventivni program: dijagonalne pretklone i zaklone s otporom, upor na laktovima u različitim ravninama – bez i sa rotacije trupa, mali most s osloncem jednom nogom na pilates lopti (uz mijenjanje oslonačke noge), rotacija trupa kroz fleksiju u zglobu kuka osloncem na jednoj nozi. Cameron i sur. (2009) u svojoj su studiji iznijeli prijedlog „HamSprint“ programa koji se temelji na nizu serija sprinteva, vježbi agilnosti i vježbi namijenjenih poboljšanju tehnike trčanja, koordinacije i funkcionalnosti hamstringsa. „HamSprint“ program kreiran je na temelju nalaza Camerona i sur. (2009) o povezanosti nedostatne neuromišićne kontrole i visoke incidencije ozljeda hamstringsa. Stoga se ovaj program sastoji od vježbi za povećanje neuromišićne kontrole koje se usmjeravaju na održavanje posturalne kontrole i na brzu proizvodnju sile. Program predlaže sljedeće vježbe: marširanje s visokim podizanjem koljena, sprintovi iz padajućeg starta, sprintovi s eksplozivnim startom, sprintovi iz raznih pozicija (npr. skok iz čučnja-sprint), grabeći korak, poskoci iz gležnja, križni korak, visoki i niski skip, dokoračno kretanje u polučučnju. Autori navode kako je došlo do značajnog povećanja kontrole pokreta donjih ekstremiteta nakon 6 tjedana provedbe programa s navedenim vježbama, što može imati značajnu preventivnu važnost „HamSprint“ programa. Sličan preventivni program, temeljen na povećanju neuromišićne kontrole, predlažu i Gambetta i sur. (2006). Njihov se trening sastojao od raznih varijanti balansiranja na jednoj nozi, vježbi starta i vježbi doskoka.

## 6. ZAKLJUČAK

Mišići hamstringsa (stražnje strane natkoljenice) sastoje se od tri mišića (BF-duga i kratka glava, ST i SM) koji imaju zajedničko polazište sa sjedne kvrge (Ropiak i sur., 2012). Mišići hamstringsa (izuzev kratke glave BF) su dvozgladni mišići i vrše pokret u zglobovima kuka i koljena (Ropiak i sur., 2012; Ahmad i sur., 2013). Hamstringsi djeluju kao ekstenzori zgloba kuka i fleksori koljena, također, djeluju i kao sinergisti ACL-u osiguravajući rotacijsku i prednju stabilnost koljena (Ropiak i sur., 2012). Hamstringsi su aktivni za vrijeme cijelog ciklusa trčanja, a maksimalnu aktivnost postižu za vrijeme zadnjih 25% zamašne faze ciklusa trčanja (ekscentrična kontrakcija) (Chumanov i sur., 2011). Za vrijeme završnog dijela faze zamaha hamstrings primarno djeluju kroz ekscentričan režim rada kako bi usporili kretanje potkoljenice u zglobovima koljena (maksimalno ekscentrično opterećenje), suprotstavljajući se tako njegovoj ekstenziji. U prvoj polovici faze oslonca, ekscentričan rad hamstringsa prelazi u koncentričan i ovi mišići postaju aktivni ekstenzori kuka (Woods i sur., 2015).

Na ozljede mišića hamstringsa otpada 6% do 29% svih ozljeda u sportu, što ih čini jednim od najozljeđivanijih mišića (Ahmad i sur., 2013; Ali i sur., 2012; Clanton i sur., 1998; Cohen i sur., 2007). Hamstringsi se najčešće ozljeđuju u sportovima u kojima dominiraju sprinterske aktivnosti i aktivnosti koje zahtijevaju velike amplitude pokreta u zglobovima kuka uz ekstenzirano koljeno. Najčešće ozljeđivani mišić hamstringsa je duga glava BF (80%-84%) (Thalen i sur., 2005; Ekstrand i sur., 2012). Hamstringsi imaju visoku stopu ponovljene ozljede (12%-48%), prijašnja ozljeda hamstringsa povećava rizik od ponovljene ozljede za 2 do 6 puta (Liu i sur., 2012; Arnason i sur., 2008; Bennell i sur., 1998; Ahmad i sur., 2013).

Lempeine i sur. (2013) navode kako do ozljeda hamstringsa najčešće dolazi u specifično-sportskim ne-kontaktima. Do ozljede dolazi za vrijeme završnog dijela faze zamaha i prvog dijela faze oslonca kada hamstringsi djeluju u ekscentričnom režimu rada (izduženi položaj) (Chumanov i sur., 2011; Yu i sur., 2008; Opar i sur., 2012). Za vrijeme tih faza trčanja kuk je flektiran, a koljeno ekstenzirano, odnosno hamstringsi se nalaze u maksimalnom izduženom položaju. Autori navode dva tipična mehanizma ozljede hamstringsa: sprinterski tip i istežući

tip ozljede (Askling i sur., 2007; Brooks i sur., 2006; Garrett, 1996; Garrett i sur., 1989). Češći mehanizam ozljede je sprinterski tip (57%) (Woods i sur., 2004). Do sprinterskog tipa ozljede dolazi uslijed brzih, balističkih pokreta (sprint, udarac nogom) kada dolazi do snažne ekscentrične kontrakcije hamstringsa. S druge strane, istežajući tip ozljede nastaje uslijed sporih aktivnosti koje zahtijevaju veliku amplitudu pokreta fleksije u zglobu kuka s ekstenziranom koljenom te završavaju u ekstremnim položajima (Askling i sur., 2007). Kod sprinterskog tipa ozljede hamstringsa najčešće dolazi do ozljede MTJ duge glave BF (80%) (Thelen i sur. 2005). Najozljeđivaniji mišić kod istežajućeg tipa ozljede je SM i njegova proksimalna tetiva (87%) (Askling i sur., 2007).

Čimbenici rizika ozljede hamstringsa mogu se podijeliti na ekstrinzične i intrinzične. Intrinzični čimbenici rizika odnose se na: prijašnje ozljede, demografske karakteristike, anatomske specifičnosti, deficite i asimetrije jakosti, fleksibilnost, mišićni umor. Ekstrinzični čimbenici rizika vezani su uz specifične sportske situacije (igrača pozicija, trenažni staž, neadekvatno zagrijavanje, loša tehnika) (Spencer i sur., 2009; Mendiguchia i sur., 2012; Sherryl i sur., 2011; Gabbe i sur., 2012). Kao najznačajniji čimbenik rizika navodi se prijašnja ozljeda (Arnason i sur., 2008; Bennell i sur., 1998; Ahmad i sur., 2013). Ostali značajni čimbenici rizika podrazumijevaju stariju životnu dob, neravnotežu jakosti agonista i antagonista procjenjivanu H:Q omjerom te sniženu razinu jakosti hamstringsa (maksimalni momenat sile) (Arnason i sur., 2008; Bennell i sur., 1998; Ahmad i sur., 2013, Engebretsen i sur., 2010, Gabbe i sur., 2006). S obzirom na velik broj i međusobno preklapanje brojnih rizičnih čimbenika, ne postoji izolirani čimbenik rizika ozljede hamstringsa. Stoga je potrebno sagledavati skupine čimbenika rizika koji, u kombinaciji, stvaraju preduvjete za nastanak ozljede.

Čimbenici rizika, nadalje, mogu biti promjenjivi ili nepromjenjivi. Na neke od navedenih rizičnih čimbenika možemo utjecati kroz trenažne i preventivne programe vježbanja, ili modifikacijom trenažnih uvjeta (promjenjivi). Među promjenjive čimbenike rizika spadaju: nedovoljna jakost, bilateralna asimetrija u jakosti, H:Q omjer, fleksibilnost, stabilnost trupa, mišićni umor, nedovoljno zagrijavanje i loša tehnika. Stoga je, kod kreacije preventivnih programa, bitno uočiti sve potencijalne promjenjive čimbenike rizika uz uvažavanje nepromjenjivih. Programi prevencije

ozljeda hamstringsa trebali bi se temeljiti na holističkom pristupu koji u obzir uzima međuzavisnost segmenata tijela, posebice međuodnos lumbalne kralježnice, sakro-ilijakalnog zgloba i mišića zdjelične regije (Mason i sur., 2007; Mendiguachia i sur., 2012). Kao najučestalije mjere prevencije u literaturi se navode jačanje i istezanja mišića hamstringsa („tradicionalni“ pristup). Učinkovitiji, novi, „funkcionalni“ pristup, u obzir uzima međuovisnost segmenata tijela i utjecaj stabilnosti trupa na mehaniku hamstringsa za vrijeme aktivnosti (Goldman i sur., 2011; Mendiguchia i sur., 2010; Lempainen i sur., 2013). Funkcionalni pristup podrazumijeva trening agilnosti i stabilizacije (Sherry i sur., 2004). Kao najučinkovitije mjere prevencije navode se: trening ekscentrične jakosti hamstringsa, vježba nordijskog hamstringsa (NHE), vježbe na inercijskom ergometru, izokinetički trening jakosti i propioceptivni trening. Također, u učinkovite preventivne programe trebalo bi uključiti i dinamičke pokrete, specifično-sportske vježbe i pliometrijske zadatke koji su srodni situaciji u kojoj dolazi do ozljede hamstringsa.

## 7. LITERATURA

1. Aagaard; et.al. (1998). A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med*; 26(2):231-7.
2. Abebe, E.; Moorman, C.; Garrett, Jr.W. (2009). Proximal hamstring avulsion injuries: injury mechanism, diagnosis and disease course. *Oper Tech Sports Med*; 17 (4): 205-9.
3. Ahmad, C.S.; et.al. (2013). Evaluation and Management of Hamstring Injuries. *The American J of Sports Med*; 20(10): 1-14.
4. Ali, K.; Leland, J.M. (2012). Hamstring strains and tears in the athlete. *Clin Sports Med.*; 31(2):263-272.
5. Allen, T.J.; Leung, M.; Proske, U. (2010). The effect of fatigue from exercise on human limb position sense. *J Physiol*; 15; 588 (8): 1369-77.
6. Alonso, J.; McHugh, M.P.; Mullaney, M.J.; Tyler, T.F. (2009). Effect of hamstring flexibility on isometric knee flexion angle-torque relationship. *Scand J Med Sci Sports*; 19:252e6.
7. Ama, P.F; Simoneau, J.A.; Boulay, M.R.; Serresse, O.; Theriault, G.; Bouchard, C. (1986). Skeletal muscle characteristics in sedentary black and Caucasian males. *J Appl Physiol*; 61:1758e61.
8. Armstrong, R.B. (1990). Initial events in exercise-induced muscular injury. *Med. Sci. Sports Exerc*; 22:429–435.
9. Armstrong, R.B.; R.W. Ogilvie; Schwane, J.A. (1983). Eccentric exercise induced injury to rat skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.Respir. Environ. Exerc. Physiol*; 54:80 –93.
10. Arnason, A.; Andersen, T.E.; Holme, I.; Engebretsen, L.; Bahr, R. (2008). Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scand J Med Sci Sports*; 18(1):40-48.
11. Arnason, A.; Sigurdsson, S.B.; Gudmundsson, A.; et al. (2004). Risk factors for injuries in football. *Am J Sports Med*; 32 : (Suppl 1) : 5 – 16.
12. Arnold, A. S.; Salinas, S.; Asakawa, D.J.; Delp, L. (2000). Accuracy of muscle moment arms estimated from MRI-based musculoskeletal models of the lower extremity. *Comput. Aided Surg*; 5:108-119.

13. Askling, C.; Karlsson, J.; Thorstensson, A. (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports*; 13: 244–250.
14. Askling, C.; Lund, H.; Saartok, T.; Thorstensson, A. (2002). Self-reported hamstring injuries in student-dancers. *Scand J Med Sci Sports*; 12:230e5.
15. Askling, C.; Saartok, T.; Thorstensson, A. (2006). Type of acute hamstring strain affects flexibility, strength, and time to return to preinjury level. *Br J Sports Med*; 40:40-44.
16. Askling, C.M.; et.al. (2008). Proximal Hamstring Strains of stretching Type in Different Sports- Injury Situations, Clinical and Magnetic Resonance Imaging Characteristics, and Return to Sport. *Am J of Sports Med*; 10(10): 1-6.
17. Askling, C.M.; Tengvar, M.; Saartok, T.; Thorstensson, A. (2007). Acute first-time hamstring strains during high-speed running. A longitudinal study including clinical and MRI findings. *Am J Sports Med*; 35:197-206.
18. Asmussen E. (1953). Positive and negative work. *Acta Physiol Scand*; 28: 364-382.
19. Bennell, K.; Wajswelner, H.; Lew, P.; et al. (1998). Isokinetic strength testing does not predict hamstring injury in Australian rules footballers. *Br J Sports Med*; 32(4):309-314.
20. Best, T., et.al. (2013). Risk factors for hamstring injuries: a current view of the literature. *Aspetar Sports Med J*; 2: 446-450.
21. Bradley, P.S.; Portas, M.D. (2007). The relationship between preseason range of motion and muscle strain injury in elite soccer players. *J Strength Cond Res*; 21 (4): 1155-9.
22. Brockett, C.L.; Morgan, D.L.; Proske, U. (2004). Predicting hamstring strain injury in elite athletes. *Med Sci Sports Exerc*; 36:379e87.
23. Brockett, C.L.; Morgan, D.L.; Proske, U. (2001). Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med Sei Sports Exerc*; 33 (5): 783-90.

24. Brooks, J.H.; Fuller, C.W.; Kemp, S.P.; Reddin, D.B. (2006). Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. *Am J Sports Med*; 34:1297e306.
25. Brubaker, C.E.; James, S.L. (1974). Injuries to runners. *J Sports Med.*; 2(4):189-198.
26. Brughelli, M.; Cronin, J. (2008). Preventing hamstring injuries in sport. *Strength Cond J*; 30(1): 55–64.
27. Burkett, L.N. (1970). Causative factors in hamstring strains. *Med Sei Sports*; 2(1): 39-42.
28. Cameron, M.L.; Adams, R.D.; Maher, C.G.; Misson, D. (2007). Effect of the HamSprint Drills training programme on lower limb neuromuscular control in Australian football players. *J Sci Med Sport.*; 12:24-30.
29. Camilla, L., et.al. (2001). Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med and sci in sports and exerc*; 42 (2): 783-789.
30. Chakravarthy, J.; Ramisetty, N.; Pimpalnerkar, A.; Mohtadi, N. (2005). Surgical repair of complete proximal hamstring tendon ruptures in water skiers and bull riders: a report of four cases and review of the literature. *Br J Sports Med*; 39:569e72.
31. Cheung, R.T.H.; et.al. (2012). H:Q Ratios and Bilateral Leg Strength in College Field and Court Sports Players. *J of Human Kinetics*; 32: 5-15.
32. Chumanov E.S.; Heiderscheit B.C.; Thelen D.G. (2011). Hamstring musculotendon dynamics during tance and swing phases of high speed running. *Med Sei Sports Exerc*; 43 (3): 525-32.
33. Chumanov, E.S.; Heiderscheit, B.C.; Thelen, D.G. (2007). The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring mechanics during the swing phase of sprinting. *J Biomech*; 40 : 3555 – 62 .
34. Cibulka, M.T.; et.al. (1984). Hamstring Muscle Strain Treated by Mobilizing the Sacroiliac Joint. *Phys ther*; 66:1220-1223.
35. Clanton, T.O.; Coupe, K.J. (1998). Hamstring strains in athletes: diagnosis and treatment. *J Am Acad Orthop Surg*; 6(4):237-248.

36. Cohen, S.; Bradley, J. (2007). Acute proximal hamstring rupture. *J Am Acad Orthop Surg*; 15(6):350-355.
37. Comfort, P; Green, C.M.; Matthews, M. (2009). Training considerations after hamstring injury in athletes. *Strength Cond J*; 31: 68-74.
38. Connell, D.A.; Schneider-Kolsky, M.E.; Hoving, J.L.; Malara, F.; Buchbinder, R.; Koulouris, G.; et al. (2004). Longitudinal study comparing sonographic and MRI assessments of acute and healing hamstring injuries. *AJR Am J Roentgenol*; 183:975e84.
39. Coombs, R.; et.al. (2002). Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance. *J of Sports Sci and Med*; 1: 56-62.
40. Copland, S.T., et.al. (2009). Evidence-Based Treatment of Hamstring Tears. *Current Sports med rep*; 8(6):308-314.
41. Croisier, J.L. (2004). Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Med*; 34:681e95.
42. Croisier, J.L.; Crielaard, J.M. (2000). Hamstring muscle tear with recurrent complaints: an isokinetic profile. *Isokin Exerc Sci.*; 8:175-180.
43. Croisier, J-L.; et.al. (2008). Strength Imbalances and Prevention of Hamstring Injury in Professional Soccer Players. *Am J Sports Med*; 10(10): 1-7.
44. Dahmane, R.; et. al. (2006). Adaptive potential of human BF muscle demonstrated by histochemical, imunohistochemical and mechanomyographical methods. *Med Biol Eng Comput*; 44 (11): 999-1006.
45. De Smet, A.A.; Best, T.M. (2000). MR imaging of the distribution and location of acute hamstring injuries in athletes. *AJR Am J Roentgenol*;174:393e9.
46. Devlin, L. (2000). Recurrent posterior thigh symptoms detrimental to performance in rugby union: predisposing factors. *Sports Med*; 29 (4): 273-87.
47. Ekstrand, J.; Gillquist, J. (1982). The frequency of muscle tightness and injuries in soccer players. *Am J Sports Med*; 10:75e8.



48. Elliott, M.C.; Zarins, B.; Powell, J.W.; Kenyon, C.D. (2011). Hamstring muscle strains in professional football players: a 10-year review. *Am J Sports Med.*; 39(4):843-850.
49. Emery, C.A.; Rose, M.S.; McAllister, J.R.; Meeuwisse, W.H. (2007). A prevention strategy to reduce the incidence of injury in high school basketball: a cluster randomized controlled trial. *Clin J Sport Med*; 17: 17-24.
50. Engebretsen, A.H.; et.al. (2010). Intrinsic Risk Factors for Hamstring Injuries Among Male Soccer Players. *Am J Sports Med*, 10(20):8.
51. Engebretsen, A.H.; Myklebust, G.; Holme, I.; et.al. (2008). Prevention of injuries among male soccer players: a prospective, randomized intervention study targeting players with previous injuries or reduced function. *Am J Sports Med*; 36:1052–1060.
52. Foreman, T.K.; Addy, T., Baker, S.; et al. (2006). Prospective studies into the causation of hamstring injuries in sport: a systematic review. *Phys Ther Sport*; 7 (2): 101-9.
53. Franz, J.R.; Paylo, K.W.; Dicharry, J.; et al. (2009). Changes in the coordination of hip and pelvis kinematics with mode of locomotion. *Gait Post*; 29 : 494 – 8 .
54. Freckleton, G.; Pizzari, T. (2013). Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*; 47: 351-358.
55. Gabbe, B.J.; Bennell, K.L.; Finch, C.F. (2006). Why are older Australian football players at greater risk of hamstring injury?. *J Sei Med Sport*; 9 (4): 327-33. (1)
56. Gabbe, B.J.; Bennell, K.L.; Finch, C.F.; et al. (2006). Predictors of hamstring injury at the elite level of Australian football. *Scand J Med Sci Sports*; 16 : 7 – 13.
57. Gabbe, B.J.; Finch, C.F.; Bennell, K.L.; Wajswelner, H. (2005). Risk factors for hamstring injuries in community level Australian football. *Br J Sports Med.*; 39:106e10.
58. Gambetta, V.; Benton, D. (2006). A systematic approach to hamstring prevention and rehabilitation. *Sports Coach*; 28(4): 1–6.

59. Garrett W.E. (1990). Muscle strain injuries: clinical and basic aspects. *Med Sci Sports Exerc*; 22:436-443.
60. Garrett, W.E. (1996). Muscle strain injuries. *Am J Sports Med*; 24:S2-S8.
61. Garrett, W.E.; Rich, F.R.; Nikolaou, P.K.; Vogler, J.B. (1989). III. Computed tomography of hamstring muscle strains. *Med Sci Sports Exerc*; 21:506-514.
62. Gerret, Jr., W.E., et. al. (1984). Histochemical correlates of hamstrings injuries. *Am J Sports Med*, 12 (2): 98-103.
63. Goldman, E.F.; et.al. (2011). Interventions for preventing hamstring injuries: a systematic review. *Chart society of physio*; 97: 91-99.
64. Goldman, E.F.; Jones, D.E. (2010). Interventions for preventing hamstring injuries. *Cochrane Database Syst Rev*; (1);CDOO6782.
65. Gordon, A.M.; Huxley, A.F.; Julian, F.J. (1966). The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *J Physiol.*; 184(1):170–192.
66. Greco, C.C., et.al. (2012). Rapid hamstrings/quadriceps strength capacity in professional soccer players with different conventional isokinetic muscle strength ratios. *J Sports Sci and Med*; 11, 418-422.
67. Guex, K.; et.al. (2012). Influence of Hip-Flexion Angle on Hamstrings Isokinetic Activity in Sprinters. *J Athletic Train*; 47(4):390–395.
68. Hawkins, R.D.; Hulse, M.A.; Wilkinson, C.; et al. (2000). The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med*; 34:0–4.
69. Heiderscheid B.C.; Hoerth D.M.; Chumanov E.S.; Swanson S.C.; Thelen B.J.; Thelen D.G. (2005). Identifying the time of occurrence of a hamstring strain injury during treadmill running: a case study. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*; 20(10):1072-1078.
70. Heiderscheid, B.C.; Sherry, M.A.; Silder, A.; Chumanov, E.S.; Thelen, D.G. (2010). Hamstring strain injuries: Recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *J Orthop Sports Phys Ther*; 40: 67–81.
71. Heiser, T.M.; Weber, J.; Sullivan, G.; et al. (1984). Prophylaxis and management of hamstring muscle injuries in intercollegiate football players. *Am J Sports Med*; 12 (5): 368-70

72. Henderson, G.; Barnes, C.A.; Portas, M.D. (2010). Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English premier league soccer players. *J Sci Med Sport*; 13:397e402.
73. Hennessey, L.; Watson, A.W. (1993). Flexibility and posture assessment in relation to hamstring injury. *Br J Sports Med*; 27 (4): 243-6
74. Higashihara A.; Ono T.; Kubota J.; et al. (2010). Functional differences in the activity of the hamstring muscles with increasing running speed. *J Sports Sci*; 28:1085–92.
75. Hoskins, W.; Pollard, H. (2006). A randomized controlled trial of manual therapy for hamstring injury prevention. Unpublished report; 2008. Hoskins, W.T.; Pollard, H.T.; Orchard, J.W. The effect of sports chi-ropractic on the prevention of hamstring injuries: a randomized controlled trial. *Med Sci Sports Exerc*; 38(Suppl):S27. Dostupno na: [http://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2006/05001/The\\_Effect\\_of\\_Sports\\_Chiropractic\\_on\\_the.1003.aspx](http://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2006/05001/The_Effect_of_Sports_Chiropractic_on_the.1003.aspx) (last accessed 21/09/2009).
76. Kaufman, F.R.; An, K.N.; Chao, E.Y. (1989). Incorporation of muscle architecture into muscle length-tension relationship. *J Biomech*; 22:943e8.
77. Komi P.V. (1973). Measurement of the force-velocity relationship in human muscle under concentric and eccentric contractions. *Joki J, ed. Medicine and Sport: Biomechanics III*; 224-229.
78. Komi P.V. (1973). Relationship between muscle tension, EMG and velocity of contraction under concentric and eccentric work. *Desmedt JE (ed): New Dev in Electromyog and Clinical Neurophysio*; 1: 596-606. (1)
79. Koulouris, G.; Connell, D. (2003). Evaluation of the hamstring muscle complex following acute injury. *Skeletal Radiol*; 32:582e9.
80. Koulouris, G.; Connell, D.A.; Brukner, P.; et al. (2007). Magnetic resonance imaging parameters for assessing risk of recurrent hamstring injuries in elite athletes. *Am J Sports Med*; 35:1500–6.
81. Koulouris, G.; et.al. (2007). Magnetic Resonance Imaging Parameters for Assessing Risk of Recurrent Hamstring Injuries in Elite Athletes. *Am J Sports Medi*; 9(35): 1500-1056.

82. Kraemer, R.; Knobloch, K. (2009). A soccer-specific balance training program for hamstring muscle and patellar and achilles tendon injuries: an intervention study in premier league female soccer. *Am J Sports Med*; 37:1384–1393.
83. Kyrolainen, H.; Komi, P.V.; Belli, A. (1999): Changes in muscle activity patterns and kinetics with increasing running speed. *J Strength Cond Res*; 13:400–6.
84. Lee, J.C.; et.al. (2012). Imaging of muscle injury in the elite athlete. *Br J of Radiology*; 85:1173–1185.
85. Lempainen, L.; Banke, I.J.; et.al. (2014). Clinical principles in the management of hamstring injuries. *Knee surg sports traumatolo arthrosc*; DOI 10.1007/s00167-014-2912-x.
86. Lempainen, L.; Sarimo, J.; Heikkila, J. Et. al. (2006). Surgical treatment of partial tears of the proximal origin of the hamstring muscles. *Br J Sports Med*; 40:688–691.
87. Lieber, R.L; Fridén, J. (1988). Selective damage of fast glycolytic muscle fibres with eccentric contraction of the rabbit tibialis anterior. *Acta Physiol Scand*; 133 (4): 587-8
88. Liu, H.; Garrett, W.E.; Moorman, C.T.; Yu, B. (2012). Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: A review of the literature. *J Sport and Health Sci*; (1) 92e101.
89. Lorenz, D.; et.al. (2011). The role and implementation of eccentric Training in athletic rehabilitation: Tendinopathy, hamstring strains, And acl reconstruction. *Intern J of Sports Physical ther*; 1(6): 27-40.
90. Mair, S.D., Seaber, A.V.; Glisson ,R.R.; et al. (1996). The role of fatigue in susceptibility to acute muscle strain injury. *Am J Sports Med*; 24 (2): 137-43.
91. Malliaropoulos, N.; et.al. (2004). The Role of Stretching in Rehabilitation of Hamstring Injuries: 80 Athletes Follow-Up. *Med and Sci in Sports and Exe*; doi: 10.1249/01.MSS.0000126393.20025.5E.
92. Mann, R.V.; Sprague, P.G. (1981). A kinetic analysis of sprinting. *Med and Sci in Sports and Exe*; 13, 325–328.
93. Mason, D.L.; Dickens, V.A.; Vail, A. (2007). Rehabilitation for hamstring injuries. *Cochrane Database System Rev*; 1:CD004575.

94. Mendiguchia, J., Brughelli, M. (2010). A return-to-sport algorithm for acute hamstring injuries, *Phy Ther in Sport*; doi:10.1016/j.ptsp.2010.07.003.
95. Mendiguchia, J.; Alentorn-Geli, E.; Brughelli, M. (2012). Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction?. *Br J Sports Med*; 46 (2): 81-84.
96. Mohr, M.; Krustup, P.; Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J of Sports Sci*; 21(7):519–28.
97. Morgan, D.L. (1990). New insights into the behavior of muscle during active lengthening. *Biophys J*; 57 (2): 209-21.
98. Morgan-Jones, R.L.; et.al. (2000). Hamstring injuries. *Critical Reviews in: Physic and Rehab Med*; 12:277-282.
99. Mosner, E.A.; Bryan, J.M.; Stull, M.A.; Shippee, R. (1989). A comparison of actual and apparent lumbar lordosis in black and white adult females. *Spine (Phila Pa 1976)*; 14:310e4.
100. Newsham, K. (2006). The role of neural tension in minor and recurrent hamstring injury, part 1: evaluation. *Athl Ther Today*; 11(4):54e6.
101. Novacheck, T.F., (1998). The biomechanics of running- Review Paper. *Gait and Posture*; 77–95.
102. O'Donoghue, D. (1984). Principles in the management of specific injuries. In: *O'Donoghue D, ed. Treatments of injuries to athletes*; 4:39–91.
103. Onishi, H.; Yagi, R.; Oyama, M.; et al. (2002). EMG-angle relationship of the hamstring muscles during knee flexion. *J Electromyogr Kinesiol*; 12:399–406.
104. Ono, T.; Okuwaki, T.; Fukubayashi, T. (2010). Differences in activation patterns of knee flexor muscles during concentric and eccentric exercises. *Res Sports Med*; 18 (3); 188-98.
105. Opar, A.; et.al. (2012). Hamstrings strain injuries- factors that lead to injury and re-injury. *Sports Med*; 42 (3):209-226.
106. Opar, D.A.; et.al. (2014). Eccentric Hamstring Strength and Hamstring Injury Risk in Australian Footballers. *Med & Sci in sports & Exe*; DOI: 10.1249/MSS.0000000000000465.

107. Orchard, J.; Best, T.M. (2002). The management of muscle strain injuries: an early return versus the risk of recurrence. *Clin. J. Sport Med*; 12:3Y 5.
108. Orchard, J.; Marsden, J.; Lord, S.; et al. (1997). Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *Am J Sports Med*; 25(1): 81-5.
109. Orchard, J.W. (2001). Intrinsic and extrinsic risk factors for muscle strain in Australian football. *Am. Spims Med.*; 29(3):300-3.
110. Orchard, J.W.; Farhart, P.; Leopold, C. (2004). Lumbar spine region pathology and hamstring and calf injuries in athletes: is there a connection?. *Br J Sports Med*; 38 (4): 502.
111. Petersen, J.; Thorborg, K.; Nielsen, M.B.; et.al. (2011). Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: a cluster-randomized controlled trial. *Am J Sports Med*; 39:2296–2303.
112. Pinniger, G.J.; Steele, J.R., Groeller, H. (2000). Does fatigue induced by repeated dynamic efforts affect hamstring muscle function?. *Med Sei Sports Exerc*; 32 (3): 647-53.
113. Prior, M.; Guerin, M.; Grimmer, K. (2009). An evidencebased approach to hamstring strain injury: a systematic review of the literature. *Sports Health: A Multidisc Appr*; 1 : 154 – 64 .
114. Rahnama, N.; Reilly, T.; Lees, A.; Graham-Smith, P. (2003). Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer. *J of Sports Sci*; 21:933–42.
115. Riley, P.O.; Franz, J.; Dicharry, J.; et al. (2010). Changes in hip joint muscle-tendon lengths with mode of locomotion. *Gait Posture*; 31 : 279-83 .
116. Ropiak, C.R.; Bosco, J.A (2012). Hamstring injuries. *Bull NYU Hosp Jt Dis.*; 70(1):41-8.
117. Safran, M.R.; Garrett, W.E.; Seaber, A.V.; Glisson, R.R.; Ribbeck, B.M. (1988). The role of warmup in muscular injury prevention. *Am J Sports Med.*; 16:123-129.

118. Schache, A.G.; Dorn, T.W.; Wrigley, T.V.; et al. (2013). Stretch and activation of the human biarticular hamstrings across a range of running speeds. *Eur J Appl Physiol*; 113:2813–28.
119. Schache, A.G.; Wrigley, T.V.; Baker, R.; Pandy, M.G. (2009). Biomechanical response to hamstring muscle strain injury. *Gait Posture*; 29(2):332-338.
120. Schache, A.G.; Crossley, K.M.; Macindoe, I.G.; Fahrner, B.B.; Pandy, M.G. (2011). Can a clinical test of hamstring strength identify football players at risk of hamstring strain?. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*; 19:38e41.
121. Schache, A.G.; Blanch, P.; Rath, D.; Wrigley, T.; Bennell, K. (2002). Threedimensional angular kinematics of the lumbar spine and pelvis during running. *Hum Mov Sci.*; 21(2):273–293.
122. Schuerman, J.; Van Tiggelen, D.; Danneels, L.; et al. (2014). Biceps femoris and semitendinosus-teammates or competitors? New insights into hamstring injury mechanisms in male football players: a muscle functional MRI study. *Br J Sports Med*; 48:1599–1606.
123. Sherry, M.A.; Best, T.M. (2004). A comparison of 2 rehabilitation programs in the treatment of acute hamstring strains. *J Orthop Sports Phys Ther*; 34 (3): 116-25.
124. Sherryl, M.A.; et.al. (2011). Hamstrings strains: basic science and clinical research applications for preventing the recurrent injury. *National strength and cond association*; 33 (3): 56-69.
125. Shrier, I. (1999). Stretching before exercise does not reduce the risk of local muscle injury: a critical review of the clinical and basic science literature. *Clin. J. Sport Med*; 4:221–227.
126. Small, K.; McNaughton, L.R.; Greig, M.; et al. (2009). The effects of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. *J of Sci and Med in sport*; doi:10.1016/j.jsams.2008.08.005.
127. Söderman, K.; Werner, S.; Pietilä, T.; Engström, B.; Alfredson, H. (2000). Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*; 8:356–63.

128. Stanton, P.; Purdam, C. (1989). Hamstring injuries in sprinting: the role of eccentric exercise. *J. Orthop. Sports Phys. Ther*; 10:343– 349.
129. Sugiura, Y.; Saito, T.; Sakuraba, K.; et al. (2008). Strength deficits identified with concentric action of the hip extensors and eccentric action of the hamstrings predispose to hamstring injury in elite sprinters. *J Orthop Sports Phys Ther*; 38: 457-464.
130. Thacker, S.B.; Gilchrist, J.; Stroup, D.F.; Kimsey, Jr. C.D. (2004). The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Med Sci Sports Exerc*; 36:371–8.
131. Thelen D.G.; Chumanov E.S.; Hoerth D.M.; et al. (2005). Hamstring muscle kinematics during treadmill sprinting. *Med Sei Sports Exerc*; 37 (1): 108-14.
132. Turl, S.E.; George, K.P. (1998). Adverse neural tension: a factor in repetitive hamstring strain? *J Orthop Sports Phys Ther*; 27:16e21.
133. van Mechelen, W.; Hlobil, H.; Kemper, H.C.; et al. (1993). Prevention of running injuries by warm-up, cool-down, and stretching exercises. *Am J Sports Med*; 21 (5); 711-9.
134. Varrall, G.M.; et.al. (2001). Clinical risk factors for hamstring muscle strain injury: a prospective study with correlation of injury by magnetic resonance imaging. *Br J Sports Med*; 35:435–440.
135. Verrall, G.M.; Slavotinek, J.P.; Barnes, P.G.; Fon, G.T.; Spriggins, A.J. (2001). Clinical risk factors for hamstring muscle strain injury: a prospective study with correlation of injury by magnetic resonance imaging. *Br J Sports Med.*; 35(6):435-440.
136. Verrall, G.M.; Slavotinek, J.P.; Barnes, P.G. (2005). The effect of sports specific training on reducing the incidence of hamstring injuries in professional Australian Rules football players. *Br J Sports Med*; 39 (6): 363-8.
137. Volpi, P.; Melegati, G.; Tornese, D.; Bandi M. (2004). Muscle strains in soccer: a five-year survey of an Italian major league team. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*; 12(5):482–485.



138. Weldon, S.M.; Hill, R.H. (2003). The efficacy of stretching for prevention of exercise-related injury: a systematic review of the literature. *Man Ther*; 8:141–50.
139. Whiteside, J.A.; Fleagle, S.B.; Kalenak, A.; Weller, H.W. (1985). Manpower loss in football: a 12 year study at the Pennsylvania State University. *Physician Sports Med*; 13:103-114.
140. Witvrouw, E.; Danneels, L.; Asselman, P.; et al. (2003). Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med*; 31 (1): 41-6.
141. Woods, C.; Hawkins, R.D.; Maltby, S.; Hulse, M.; Thomas, A.; Hodson, A. (2004). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football—analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med*; 38:36-41.
142. Yamamoto, T. (1993). Relationship between hamstring strains and leg muscle strength. *J Sports Med Phys Fitness*; 33(2):194-199.
143. Yeung, S.S.; Suen, A.M.; Yeung, E.W. (2009). A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: preseason muscle imbalance as a possible risk factor. *Br J Sports Med*; 43:589–94.
144. Yu, B.; Queen R.M.; Abbey A.N.; et al. (2008). Hamstring muscle kinematics and activation during overground sprinting. *J Biomech*; 41 (15): 3121-6.