



Pia Mušič¹,
Špela Bokal¹, Žiga Kozinc^{1,2}, Nejc Šarabon^{1,3}

Biomehanika teka: kinematični in kinetični dejavniki tveganja za nastanek poškodb

Izvleček

Zaradi dostopnosti, cenovne ugodnosti in znanih zdravstvenih koristi je tek postal eden izmed najpopularnejših športov na svetu. Z naraščanjem njegove priljubljenosti se je povečalo tudi število z njim povezanih poškodb, predvsem spodnjih okončin. Med njimi so najpogostejše: plantarni fasciitis, tendinopatija ahilove tetive, patelofemoralni bolečinski sindrom, sindrom iliotibialnega trakta in stresni zlom golenice. V tem preglednem članku smo raziskali novosti na področju poznavanja biomehanskih dejavnikov tveganja za poškodbe pri teku ter jih primerjali s preteklimi sistematičnimi pregledi literature. Pri tem smo ločeno obravnavali posamezne poškodbe. Ugotovili smo, da so nekateri biomehanski dejavniki pojavljajo pri več poškodbah. Za primarno preventivo je najverjetneje smiselno odpravljati vse znane dejavnike tveganja, medtem ko se v sekundarni in terciarni preventivi lahko več pozornosti nameni dejavnikom, značilnim za poškodbo, ki jo je športnik utrpel. Na podlagi pregleda smo ugotovili tudi, da je pojavnost poškodb odvisna tudi od spola vadečih; pri moških je pogostejša tendinopatija ahilove tetive, medtem ko več žensk utrpi patelofemoralni bolečinski sindrom in sindrom iliotibialnega trakta. Glavna omejitev raziskav na področju je šibkost dokazov o vzročno-posledičnih povezavah med biomehanskimi lastnostmi teka ter pojavnostjo poškodb.

Ključne besede: tek, kinetika, kinematika, tekaške poškodbe.



Biomechanics of running: kinematic and kinetic injury risk factors

Abstract

Due to its accessibility, low cost and well-known health benefits, running has become one of the most popular sports in the world. With its increasing popularity the number of running related injuries, especially in the lower extremities have increased. The most common are plantar fasciitis, Achilles tendinopathy, patellofemoral pain syndrome, iliotibial band syndrome and tibial stress fracture. In this review paper, we explored the novel insights on the field of biomechanical running-related injury risk factors. We focused on individual injuries, rather than injury risk in general. We found out that certain biomechanical risk factors are similar across injuries. For primary prevention purposes, elimination of all running-related injury risk factors seems reasonable, while more attention should perhaps be given to injury-specific risk factors in secondary and tertiary prevention. Based on the literature review, we also found out that sex is an important factor in running-related injury incidence; male runners are more prone to develop Achilles tendinopathy, while female runners more often sustain patellofemoral pain syndrome and iliotibial band syndrome. The main limitation of the research that we reviewed is in the lack evidence regarding causal relationship between biomechanical risk factors and injury occurrence.

Key words: running, kinetics, kinematics, running related injuries.

¹Univerza na Primorskem, Fakulteta za vede o zdravju, Izola

²Univerza na Primorskem, Inštitut Andrej Marušič, Koper

³S2P, Znanost v prakso, d. o. o., Ljubljana

■ Uvod

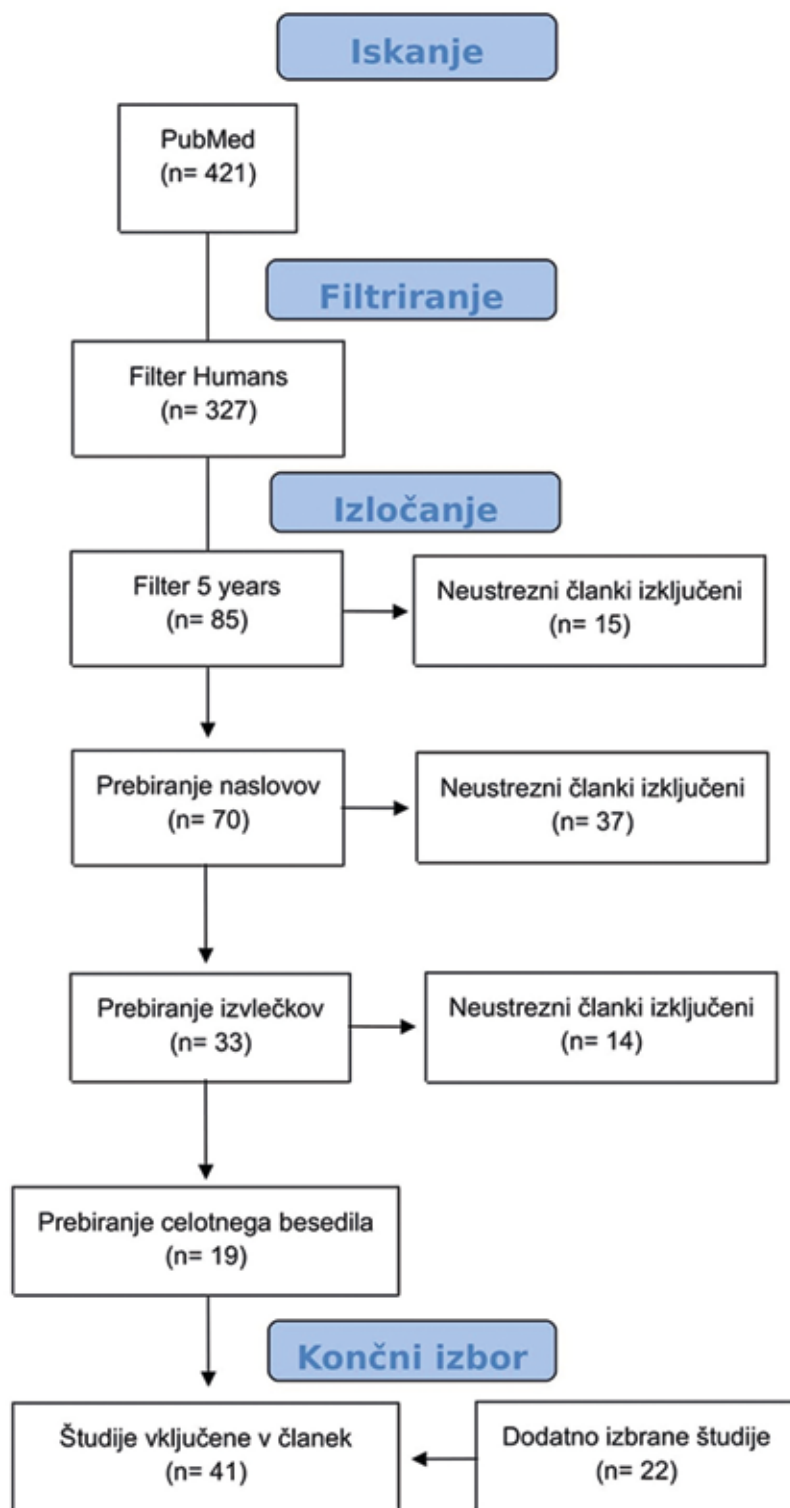
Čeprav sodi tek med dokaj nenevarne atletske discipline, lahko v primeru preobremenitev nastanejo številne poškodbe, predvsem v področju spodnjega uda. Na tveganje za nastanek poškodb imajo velik vpliv biomehanski dejavniki. Pri teku na daljše razdalje so značilnejše preobremenitvene poškodbe, medtem ko se pri šprintu pogostejše pojavljajo akutne poškodbe (Hamersak, 2011).

Poročano je bilo, da kar 10,9 % tekačev, ki se prvič srečajo s tekom in kratek čas izvajajo tekaški program, utrpijo poškodbo. Začetniki utrpijo daleč največ poškodb (84,9 % vseh poškodb). Ena izmed študij je pokazala, da kar 32 % tekačev letno utrpi preobremenitveno poškodbo, od tega je največ (22 %) poškodb ahilove tetive, sledijo plantarni fasciitis (16 %), patelarna tendinopatija (13 %) in sindrom iliotibialnega trakata (7 %) (Hamed Mousavi, Hijmans, Rajabi, Diercks, Zwerver in Worp, 2019). Med tekom se sile in navori prenašajo med sklepi spodnjih okončin ter navzgor po celotni kinematični verigi spodnjih okončin in trupa. Biomehanske spremembe v stopalu povzročajo povečane obremenitve tudi proksimalnih struktur (Hamed Mousavi idr., 2019). Strategije učenja boljše tehnike teka so učinkovite za odpravljanje simptomov poškodb spodnjih okončin (Barton idr., 2016). Zato je potrebno poznavanje kinematičnih in kinetičnih dejavnikov tveganja za nastanek posamezne tekaške poškodbe, saj tako lažje pripravimo uspešne preventivne ali kurativne strategije namenjene preprečevanju oziroma odpravljanju s tekom povezanih poškodb. Na dolgi rok je to v veliko pomoč strokovnjakom s področja gibanja, ki se dnevno ukvarjajo s poškodovanimi tekači (Hamed Mousavi idr., 2019).

Številni sistematični pregledi znanstvene literature so poročali o dejavnikih tveganja za nastanek poškodb pri teku (Saragiotto idr., 2014; van der Worp idr., 2015; Ceysens idr., 2019). Enotno poročajo o močni povezavi med pojavnostjo poškodb in količino treninga ter predhodno poškodbo. Medtem so biomehanski dejavniki manj raziskani, saj so v nedavnem pregledu literature kot dejavnik tveganja zanesljivo potrdili le povečan primik kolka med fazo opore. V tem članku smo pregledali najnovejšo znanstveno literaturo, pri čemer smo se osredotočili na povezave med biomehanskimi dejavniki in tveganjem za posamezne poškodbe. Domnevali smo,

da so biomehanski dejavniki za nastanek posameznih poškodb različni, kar bi pomenilo, da morajo biti pristopi k preventivi (predvsem sekundarni in terciarni) za vsako

poškodbo specifični. Pregledali smo novosti na omenjenem področju (zadnjih 5 let) in jih primerjali s preteklimi sistematičnimi pregledi literature.



Slika 1. Potek iskanja člankov.

Legenda: n označuje število člankov.

Metode

Izvedli smo sistematičen pregled strokovne in znanstvene literature v medicinski in znanstveni podatkovni bazi PubMed. Iskanje literature v podatkovni bazi je potekalo v novembru 2019 s pomočjo naslednjega iskalnega niza: (running NOT barefoot) AND (injuries OR risk factors) AND (biomechanics OR kinematics OR kinetics) AND (syndrome OR tendinitis OR fasciitis OR stress fracture). Slika 1 prikazuje potek iskanja in preverjanja člankov, ki je bilo razdeljeno na več faz, preko katerih smo vključili vse merodajne članke, objavljene v obdobju zadnjih 5 let.

Rezultati in razprava

V končni izbor smo uvrstili 41 študij. V nadaljevanju povzemamo ugotovitve po posameznih izbrani poškodbi.

Plantarni fasciitis

Longitudinalni stopalni lok je pomembna anatomska struktura, ki sodeluje pri porazdelitvi in prenašanju obremenitev med tekom. Opravljanje svojih funkcij mu omogoča štirislojna zgradba, ki sestoji iz plantarne fascije, plantarnih intrinzičnih in ekstrinzičnih mišic ter plantarnih ligamentov. Te strukture skupaj s kostmi povečujejo togost stopalnega loka med aktivnostmi (Kirby, 2017).

Preobremenitev plantarne fascije je tretja najpogostejša poškodba tekačev. Označuje je mišično-skeletno poškodbo, za katero je značilna bolečina v predelu narastišča plantarne fascije na petnico (Ribeiro, João, Dinato, Tessutti, in Sacco, 2015). Ribeiro, Sacco, Dinato in João (2016) so raziskovali kinematične spremembe teka po nastanku plantarnega fasciitisa. Kot enega izmed dejavnikov tveganja avtorji navajajo povečan medialni longitudinalni stopalni lok, ki lahko povzroči večje sile na sprednji del stopala tekom koncentrične faze tekaškega koraka. Ugotovili so tudi povečan statični valgus, ki lahko med tekom vpliva na dodatne obremenitve zadnjega dela stopala ter predstavlja dejavnik tveganja za nastanek poškodbe (Ribeiro idr., 2016).

Kinetične spremembe po plantarnem fasciitisu so raziskovali tudi Ribeiro idr. (2015). Njihova študija je pokazala povečane plantarne obremenitve za 20 do 80 % (v dinamičnih pogojih) na zadnjem delu stopala. Kronične preobremenitve plantarne fascije

povzročijo njeno raztezanje ter posledično vnetje, degeneracijo, fragmentacijo in tvorbo fibroze (Chang, Kent-Braun in Hamill, 2012). Z danimi spremembami petna blazinica izgubi elastičnost, kar skupaj privede do odpovedi absorpcijskega mehanizma udarcev med tekom. V nekaterih študijah so poleg zmanjšane elastičnosti plantarne fascije ugotovili tudi njeno stanjšanje, kar še dodatno negativno vpliva na sposobnost prenašanja obremenitev (Ribeiro idr., 2015). Te ugotovitve so dopolnili Cheung, Sze, Mok in Ng (2016), ki so ugotovili, da nezadostno oporo medialnemu vzdolžnemu stopalnemu loku lahko povzroča tudi atrofija intrinzičnih mišic petnega dela stopala, kar prav tako povzroča povečano obremenitev plantarne fascije in s tem tveganje za poškodbo. Nismo zasledili sistematičnega pregleda literature, ki bi povzemal biomehanske dejavnike tveganja za nastanek plantarnega fasciitisa pri tekačih. Starejše študije so poročale tudi o povečanem obsegu upogiba gležnja pri tekačih s plantarnim fasciitisom (Riddle idr., 2003).

Tendinopatija ahilove tetive

Mesto poškodbe ahilove tetive se najpogosteje nahaja 2 do 6 cm od narastišča na petnici (Longo, Ronga in Maffulli, 2009). Simptom je bolečina, ki se poslabša z aktivnostjo, še posebej, če oseba predhodno dlje časa miruje (Pearce, Carmichael in Calder, 2012). Njena pojavnost je večja pri moških kot pri ženskah (Hootman, Macera, Ainsworth, Addy, Martin in Blair, 2002).

Wnuk, Mizia, Rutowicz in Walocha (2017) so ugotovili, da je eden izmed dejavnikov tveganja za pojav tendinopatije ahilove tetive sesedanje naravnega stopalnega loka. Povečanje prečne dimenzije stopala avtorji povezujejo s slabšo zmogljivostjo stabilizatorjev prečnega loka stopala, pasivnih globokih prečnih metatarzalnih ligamentov in aktivnih mišic v fazi opore tekaškega koraka. Omenjene spremembe lahko privedejo do biomehanskih motenj sklepov spodnjih okončin (Wnuk idr., 2017). Becker idr. (2017) so poročali, da je pri poškodovanih tekačih stopalo dlje časa v everziji med fazo opore, medtem ko so bile kotne hitrosti in amplitude gibanja gležnja in stopala v čelni ravni enake kot pri nepoškodovanih.

Spremembe pri tendinopatiji ahilove tetive so raziskovalci opazovali tudi v kolčnem sklepu. Frantetovich Smith, Honeywill, Wyndow, Crossley in Creaby (2014) so ugotovili spremenjeno živčno-mišično kontrolo kolka. Rezultati njihove študije kažejo,

da imajo tekači s to poškodbo kasnejšo in manj časa trajajočo aktivacijo mišic gluteus medius in maximus. Po mnenju avtorjev so spremembe v zadnjičnih mišicah lahko tudi posledica in ne vzrok prisotne bolečine in spremenjene funkcije. Omenjeni mišici sta pomembni za stabilizacijo medenice in stegenice v fazi opore, zato se posledice lahko kažejo tudi v prekomernem primiku in notranji rotaciji kolka. Vpliv na kinetiko kolka so raziskovali tudi Creaby, Honeywill, Frantetovich Smith, Schache in Crossley (2017). Njihovi rezultati o povečanem navoru in impulzu navora v kolčnem sklepu kažejo na spremembe ostalih mišic in pasivnih struktur, ki skupaj ustvarjajo navor. Njihovi rezultati so pokazali pomembne razlike v kinetiki in kinematiki kolka in ne gležnja, s čimer se kaže pomembna povezava omenjenih dveh sklepov tekom gibanja. Avtorji sklepajo, da bi do sprememb v kolku lahko prišlo kot mehanizem preprečevanja povečanega navora v gležnju in s tem zmanjšanje obremenitve na ahilovo tetivo, do katere bi lahko prišlo pri tej poškodbi. Poudarjajo tudi, da iz raziskave ni znano ali so spremembe dejavnik tveganja ali posledica poškodbe, lahko celo kombinacija obojega (Creaby idr., 2017). V nedavnem pregledu literature (Sancho idr., 2019) so, čeprav zadržkom zaradi slabše kakovosti dokazov, navedli kot dejavnike tveganja še povečan vrh navora v smeri zunanje rotacije kolka in manjšo togost spodnjih udov med poskoki.

Patelofemoralni bolečinski sindrom

Patelofemoralni bolečinski sindrom (v nadaljevanju PFP; angl: *"patellofemoral pain"*) je najpogostejša preobremenitvena poškodba v kolenskem sklepu pri splošni populaciji (Lopes, Hespanhol Júnior, Yeung in Costa, 2012) in med tekači (Luz idr., 2018). Predvideva se, da se mehanika teka pri moških in ženskah spremeni drugače, še posebej, če v ozir vzamemo dejstvo, da sta prevalenca in incidenca PFP pri ženskah večja (Bazett-Jones idr., 2013). Nastanek poškodbe je običajno povezan s povečanimi obremenitvami na patelofemoralni sklep, ki lahko med tekom znašajo 4–10 kratnik telesne mase (Vannatta in Kernozek, 2015).

Med tekači s PFP so opazili spremembe mehanike spodnjih okončin in sicer povečan primik kolka v fazi opore (Barton, Levinger, Menz in Webster, 2009) in impulz navora v smeri odmika kolka in kolena (Willson in Davis, 2009). Wilson idr. (2015) so prav

tako opazili večji primik kolka v fazi opore (1,3°) in večji impulz navora v smeri odmi-ka kolka (4 %) ter kolena (5 %) po utrujanju pri moških in ženskah. Luz idr. (2018) so v skupini preiskovancev s PFP opazili večji obseg giba everzije zadnjega dela stopala in primika stegnenice v fazi opore v primerjavi s kontrolno skupino. Poročali so tudi o močni povezavi med omenjenima spremenljivkama. Nekatere dosedanje študije so pokazale pomembnost odmikalk kolka za ohranjanje stabilnosti pri enonožnih obremenitvah. Aktivacija odmikalk pri PFP zmanjšana (Barton, Lack, Malliaras in Morrissey, 2012). S povečanjem jakosti odmikalk kolka bi lahko tako izboljšali kinematiko kolenskega sklepa z zmanjšanjem valgusa kolena in primernejšim drsenjem pogačice (Taylor-Haas, Hugentobler, DiCesare, Hickey in Bates, 2014). V sistematičnem pregledu literature (Neal idr., 2019) so poročali še o zmanjšani jakosti iztegovalk kolena kot dejavniku tveganja za nastanek PFP.

Sindrom iliotibialnega trakta

Sindrom iliotibialnega trakta (v nadaljevanju ITB; angl: *"iliotibial band"*) je pogosta preobremenitvena poškodba, ki dvakrat pogostejše doleti ženske kot moške. Funkcija ITB je stabilizacija lateralne strani kolka in kolena ter omejevanje primika kolka in notranje rotacije kolena (Fredericson idr., 2000). Povečan primik kolka lahko poveča razteg ITB med fazo opore pri teku, medtem ko notranja rotacija kolena poveča torzijsko obremenitev ITB (Noehren, Davis in Hamill, 2007). Posledica je lahko poškodba ITB ali utesnitev oživčenega adipoznega tkiva med ITB in kondilom stegnenice (Fairclough idr., 2006), kar se največkrat kaže kot bolečina na lateralni strani kolena, ki omejuje zmožnost teka (Noehren, Davis in Hamill, 2007). Šibke odmikalk kolka povzročijo povečanje obsega giba, kar skupaj s povečano notranjo rotacijo kolena poveča obremenitev ITB med fazo opore (Hamed Mousavi idr., 2019). Študije, ki so za meritev uporabile ročni dinamometer, so ugotovile možno povezanost oslabeledih odmikalk kolka in sindroma ITB pri vzdržljivostnih tekačih (Mucha, Caldwell, Schlueter, Walters in Hassen, 2017). Predvsem pri ženskah, glede na rezultate raziskave, povečan primik kolka predstavlja dejavnik tveganja za nastanek sindroma ITB v primerjavi z moškimi (Brown, Zifhock, Hillstrom, Song in Tucker, 2016). V eni od raziskav, v kateri so spremljali kinematiko teka, je bil obseg giba v čelni ravnini (primik kolka) po 30 minutah večji v skupini s sindromom ITB (3,74°) kot pri

kontrolni (-1,48°) (Baker, Souza, Fredericson in Rosenthal, 2018). V nekaterih primerih so opazili zmanjšan primik kolka pri posameznikih, ki so sindrom ITB že sanirali, kar lahko morda predstavlja kompenzacijski mehanizem za omejitev raztega ITB (Foch in Milner, 2014), saj tak način teka zmanjša boleče simptome, povezane s poškodbo (Brown idr., 2016).

Phinyomark, Osis, Hettinga, Leigh in Ferber (2015) so se zanimali za dejavnike tveganja za nastanek sindroma ITB, vezane na spol. Ženske s sindromom ITB so pokazale večjo zunanjo rotacijo kolka med 52 do 54 % tekaškega cikla v primerjavi z moškimi in z žensko kontrolno skupino. Ženske s sindromom ITB v tej študiji so kazale tudi tendenco povečanega upogiba kolena, primika kolena in notranje rotacije kolena v primerjavi s kontrolno skupino žensk. Moški s sindromom ITB niso pokazali nobene razlike med fazo opore v primerjavi s kontrolno skupino moških. Kazali so povečan primik kolena in notranjo rotacijo kolka ob največjem sunku sile v zgodnji fazi opore. Moški s sindromom ITB so pokazali tudi večjo notranjo rotacijo gležnja. Razlika med kinematiko poškodovanih žensk v primerjavi s poškodovanimi moškimi je bila torej velika. Ženske so pokazale predvsem večjo zunanjo rotacijo kolka v primerjavi z moškimi; potrebno bi bilo ugotoviti, ali je tudi to morda zaščitni učinek na razvoj sindroma ITB za ženske tekačice, kot je zmanjšan primik kolka. Ženske s sindromom ITB so pokazale predvsem večje razlike v gibanju kolka v transversalni ravnini v primerjavi z zdravimi ženskami, pri moških pa je do razlik prišlo predvsem v gležnju (Phinyomark idr., 2015). Prejšnji sistematični pregled literature (Aderem in Louw, 2015) je navajal poleg obsega primika kolka in notranje rotacije kolena še lateralni upogib trupa med fazo opore.

Stresni zlom golenice

Stresni zlom je ena najresnejših tekaških poškodb in predstavlja 6–20 % vseh poškodb športnikov, pri čemer je najpogostejše (19–54 %) mesto zloma na golenici (Snyder, Koester in Dunn, 2006), najpogostejše na distalnem delu (Matijevich, Branscombe, Scott in Zelik, 2019). Tekachi na dolge proge so pod večjim tveganjem za nastanek te poškodbe zaradi visokih in ponavljajočih se obremenitev, saj je lahko poškodba kosti večja od zmožnosti njenega popravljanja (Warden, Burr in Brukner, 2006). Predvideva se, da povečanje sile reakcije podlage

poveča tudi obremenitev notranjih bioloških struktur, predvsem kosti. Matijevich in idr. (2019) so v študiji raziskovali, ali obstaja povezava med večjo silo reakcije podlage in večjimi kompresijskimi silami pri teku z različnimi hitrostmi in na različnih nakloninah terena. Povezave med večjimi silami reakcije podlage in obremenitvami kosti niso ugotovili, saj v raziskavi, ki so jo opravili, nobena od spremenljivk sile reakcije podlage ni bila močno povezana s silo v golenici. Sklenili so, da sila reakcije podlage ni neposredni pokazatelj obremenitve golenice. Študija je bila opravljena na 10 preiskovancih, kar predstavlja vprašljivo zanesljivost rezultatov. Potrebno je upoštevati še, da v realnem okolju lahko pride do spremembe v koordinaciji mišic ali do spreminjanja načina teka (zaradi utrujenosti, terena, lastnosti čevlja idr.), kar lahko še dodatno spremeni odnos med silo reakcije podlage in obremenitvijo golenice (Matijevich idr., 2019).

Franklyn, Oakes, Field, Wells in Morgan (2008) ter Popp idr. (2009) navajajo, da je pri moških in ženskah z zgodovino stresnih zlomov prečni presek golenice manjši kot pri osebah brez zgodovine stresnih zlomov, za razliko od Meardon idr. (2015), ki teh razlik niso opazili, oziroma so bile le-te majhne. Meardon idr. (2015) so se zanimali za to, kakšni sta geometrija in obremenitev golenice pri tekačih z zgodovino stresnega zloma golenice v primerjavi s posamezniki brez poškodb. Opazili so večjo obremenitev na anteriorni in posteriorni strani golenice. Prispevek h kompresijskim silam na distalni del golenice je tudi s strani iztegovalk gležnja (Sasimontontkul, Bay in Pavol, 2007). Rezultati nakazujejo na vpliv obremenitve na večjo obremenitev kosti pri tekačih, ki imajo zgodovino stresnega zloma golenice (Meardon idr., 2015). Med tekom večji del sile na golenico prispeva mišična kontrakcija (Matijevich idr., 2019), kar je v interpretaciji rezultatov prav tako potrebno upoštevati.

Pamukoff in Blackburn (2015) sta primerjala viskoelastične lastnosti (mišično-tetivna togost, togost tetive) iztegovalk gležnja in mišično arhitekturo in geometrijo (peresni kot, debelina mišice, dolžina snopa mišičnih vlaken) medialnega m. gastrocnemius med moškimi z zgodovino stresnega zloma golenice in kontrolno skupino. Preiskovanci z zgodovino stresnega zloma golenice so imeli večjo togost iztegovalk gležnja in ahilove tetive med največjo izometrično hoteno kontrakcijo v primerjavi s kontrolno skupino. Razlik v debelini mišice, penaciji

skem kotu in dolžini snopa mišičnih vlaken ni bilo.

Dejavniki, ki vplivajo na tveganje za nastanek stresne poškodbe kosti, vključujejo intenzivnost aktivnosti (velikost, smer in trajanje), razmerje ponovne izgradnje kostnine (odvisno od trajanja aktivnosti in počitka) ter ostale dejavnike, ki so odvisni od posameznika (starost, spol, gostota kosti, geometrija, mineralna gostota) (Edwards, 2018). Te ugotovitve je možno uporabiti v praksi na področju vadbe z namenom izboljšanja strukturnih lastnosti kosti. Sistematičnega pregleda literature na temo biomehanskih dejavnikov tveganja za stresni zlom golenice nismo zasledili. Tudi starejše študije to poškodbo povezujejo predvsem s silami reakcije podlage (Milner idr., 2006; Clansey idr., 2012).

■ Zaključek

Nekateri biomehanski dejavniki tveganja so značilni za več poškodb, medtem ko so drugi pomembni le v oziru tveganja za specifično poškodbo. Za primarno preventivo je najverjetneje smiselno odpravljati vse znane dejavnike tveganja, medtem ko se v sekundarni in terciarni preventivi lahko več pozornosti nameni dejavnikom, značilnim za poškodbo, ki jo je športnik utrpel. Ugotovili smo tudi, da spol vpliva na pojavnost nekaterih poškodb. Moški so bolj dovzetni za tendinopatijo ahilove tetive, medtem ko več žensk utрпи patelofemoralni bolečinski sindrom in sindrom iliotibialnega trakta. V tem oziru lahko tudi primarno preventivno dodatno individualiziramo glede na spol športnika. Glavna omejitev raziskav na področju je dvom o vzročno-posledičnem odnosu med biomehanskimi lastnostmi teka ter pojavnostjo poškodb.

■ Literatura

- Aderem, J. in Louw, Q. A. (2015). Biomechanical risk factors associated with iliotibial band syndrome in runners: a systematic review. *BMC musculoskeletal disorders*, 16(1), 356.
- Baker, R. L., Souza, R. B., Rauh, M. J., Fredericson, M. in Rosenthal, M. D. (2018). Differences in knee and hip adduction and hip muscle activation in runners with and without iliotibial band syndrome. *PM&R*, 10(10), 1032–1039.
- Barton, C. J., Lack, S., Malliaras, P. in Morrissey, D. (2012). Gluteal muscle activity and patellofemoral pain syndrome: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 47(4), 207–214.
- Barton, C. J., Bonanno, D. R., Carr, J., Neal, B. S., Malliaras, P., Franklyn-Miller, A. in Menz, H. B. (2016). Running retraining to treat lower limb injuries: a mixed-methods study of current evidence synthesised with expert opinion. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 513–526.
- Barton, C. J., Levinger, P., Menz, H. B. in Webster, K. E. (2009). Kinematic gait characteristics associated with patellofemoral pain syndrome: A systematic review. *Gait and Posture*, 30(4), 405–416.
- Bazett-Jones, D. M., Cobb, S. C., Huddleston, W. E., O'Connor, K. M., Armstrong, B. S. R. in Earl-Boehm, J. E. (2013). Effect of Patellofemoral Pain on Strength and Mechanics after an Exhaustive Run. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(7), 1331–1339.
- Becker, J., James, S., Wayner, R., Osternig, L., & Chou, L. S. (2017). Biomechanical factors associated with achilles tendinopathy and medial tibial stress syndrome in runners. *The American journal of sports medicine*, 45(11), 2614–2621.
- Brown, A. M., Zifchock, R. A., Hillstrom, H. J., Song, J. in Tucker, C. A. (2016). The effects of fatigue on lower extremity kinematics, kinetics and joint coupling in symptomatic female runners with iliotibial band syndrome. *Clinical Biomechanics*, 39, 84–90.
- Ceyssens, L., Vanelderden, R., Barton, C., Malliaras, P., & Dingenen, B. (2019). Biomechanical risk factors associated with running-related injuries: a systematic review. *Sports medicine*, 1–21.
- Chang, R., Kent-Braun, J. A., in Hamill, J. (2012). Use of MRI for volume estimation of tibialis posterior and plantar intrinsic foot muscles in healthy and chronic plantar fasciitis limbs. *Clinical biomechanics*, 27(5), 500–505.
- Cheung, R. T. H., Sze, L. K. Y., Mok, N. W. in Ng, G. Y. F. (2016). Intrinsic foot muscle volume in experienced runners with and without chronic plantar fasciitis. *Journal of science and medicine in sport*, 19(9), 713–715.
- Clansey, A. C., Hanlon, M., Wallace, E. S., & Lake, M. J. (2012). Effects of fatigue on running mechanics associated with tibial stress fracture risk. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(10), 1917–1923.
- Creaby, M. W., Honeywill, C., Franettovich Smith, M. M., Schache, A. G. in Crossley, K. M. (2017). Hip Biomechanics Are Altered in Male Runners with Achilles Tendinopathy. *Medicine & science in sports & exercise*, 49(3), 549–554.
- Edwards, W. (2018). Modeling overuse injuries in sport as a mechanical fatigue phenomenon. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 46(4), 224–231.
- Fairclough, J., Hayashi, K., Toumi, H., Lyons, K., Bydder, G., Phillips, N., ... Benjamin, M. (2006). The functional anatomy of the iliotibial band during flexion and extension of the knee: implications for understanding iliotibial band syndrome. *Journal of Anatomy*, 208(3), 309–316.
- Foch, E. in Milner, C. E. (2014). The influence of iliotibial band syndrome history on running biomechanics examined via principal components analysis. *Journal of Biomechanics*, 47(1), 81–86.
- Franklyn, M., Oakes, B., Field, B., Wells, P. in Morgan, D. (2008). Section modulus is the optimum geometric predictor for stress fractures and medial tibial stress syndrome in both male and female athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(6), 1179–1189.
- Fredericson, M., Cookingham, C. L., Chaudhari, A. M., Dowdell, B. C., Oestreich, N. in Sahrman, S. A. (2000). Hip abductor weakness in distance runners with iliotibial band syndrome. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 10(3), 169–175.
- Hamed Mousavi, S., Hijmans, J. M., Rajabi, R., Diercks, R., Zwerver, J. in Worp, H. van der. (2019). Kinematic risk factors for lower limb tendinopathy in distance runners: A systematic review and meta-analysis. *Gait and posture*, 69, 13–24.
- Hootman, J. M., Macera, C. A., Ainsworth, B. E., Addy, C. L., Martin, M. in Blair, S. N. (2002). Epidemiology of musculoskeletal injuries among sedentary and physically active adults. *Medicine & science in sports & exercise*, 34(5), 838–844.
- Kirby, K. A. (2017). Longitudinal arch load-sharing system of the foot. *Revista Española de Podología*, 28(1), e18–e26.
- Lieberman, D. E., Venkadesan, M., Werbel, W. A., Daoud, A. I., D'Andrea, S., Davis, I. S., ... Pitsiladis, Y. (2010). Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature*, 463(7280), 531–535.
- Lin-Wei Chen, T., Wai-Chi Wong, D., Wang, Y., Lin, J. in Zhang, M. (2018). Foot arch deformation and plantar fascia loading during running with rearfoot strike and forefoot strike: a dynamic finite element analysis. *Journal of biomechanics*.
- Longo, U. G., Ronga, M. in Maffulli, N. (2009). Achilles Tendinopathy. *Sports medicine and srthroscopy review*, 17(2), 112–126.
- Lopes, A. D., Hespagnol, L. C., Yeung, S. S. in Costa, L. O. P. (2012). What are the main running-related musculoskeletal injuries? *Sports Medicine*, 42(10), 891–905.
- Luz, B. C., dos Santos, A. F., de Souza, M. C., de Oliveira Sato, T., Nawoczenski, D. A. in Serrão, F. V. (2018). Relationship between rearfoot, tibia and femur kinematics in runners with and without patellofemoral pain. *Gait and Posture*, 61, 416–422.
- Matijevich, E. S., Branscombe, L. M., Scott, L. R. in Zelik, K. E. (2019). Ground reaction force metrics are not strongly correlated

- with tibial bone load when running across speeds and slopes: Implications for science, sport and wearable tech. *PLOS ONE*, 14(1), e0210000.
28. Meardon, S. A., Willson, J. D., Gries, S. R., Kernozek, T. W. in Derrick, T. R. (2015). Bone stress in runners with tibial stress fracture. *Clinical Biomechanics*, 30(9), 895–902.
 29. Milner, C. E., Ferber, R., Pollard, C. D., Hamill, J. O. S. E. P. H. in Davis, I. S. (2006). Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(2), 323.
 30. Mucha, M. D., Caldwell, W., Schlueter, E. L., Walters, C. in Hassen, A. (2017). Hip abductor strength and lower extremity running related injury in distance runners: A systematic review. *Journal of science and medicine in sport*, 20(4), 349–355.
 31. Neal, B. S., Lack, S. D., Lankhorst, N. E., Raye, A., Morrissey, D., & van Middelkoop, M. (2019). Risk factors for patellofemoral pain: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*, 53(5), 270–281.
 32. Noehren, B., Davis, I. in Hamill, J. (2007). ASB clinical biomechanics award winner 2006. *Clinical Biomechanics*, 22(9), 951–956.
 33. Pamukoff, D. N. in Blackburn, J. T. (2015). Comparison of plantar flexor musculotendinous stiffness, geometry, and architecture in male runners with and without a history of tibial stress fracture. *Journal of Applied Biomechanics*, 31(1), 41–47.
 34. Pearce, C. J., Carmichael, J. in Calder, J. D. (2012). Achilles tendinopathy and plantaris tendon release and division in the treatment of non-insertional Achilles tendinopathy. *Foot and ankle surgery*, 18(2), 124–127.
 35. Phinyomark, A., Osis, S., Hettinga, B. A., Leigh, R. in Ferber, R. (2015). Gender differences in gait kinematics in runners with iliotibial band syndrome. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(6), 744–753.
 36. Popp, K. L., Hughes, J. M., Smock, A. J., Novotny, S. A., Stovitz, S. D., Koehler, S. M. in Petit, M. A. (2009). Bone geometry, strength, and muscle size in runners with a history of stress fracture. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(12), 2145–2150.
 37. Ribeiro, A. P., João, S. M. A., Dinato, R. C., Tessutti, V. D. in Sacco, I. C. N. (2015). Dynamic Patterns of Forces and Loading Rate in Runners with Unilateral Plantar Fasciitis: A Cross-Sectional Study. *PLOS ONE*, 10(9), e0136971.
 38. Ribeiro, A. P., Sacco, I. C. N., Dinato, R. C. in João, S. M. A. (2016). Relationships between static foot alignment and dynamic plantar loads in runners with acute and chronic stages of plantar fasciitis: a cross-sectional study. *Brazilian journal of physical therapy*, 20(1), 87–95.
 39. Riddle, D. L., Pulisic, M., Pidcoe, P. in Johnson, R. E. (2003). Risk factors for plantar fasciitis: a matched case-control study. *JBJS*, 85(5), 872–877.
 40. Saragiotto, B. T., Yamato, T. P., Junior, L. C. H., Rainbow, M. J., Davis, I. S. in Lopes, A. D. (2014). What are the main risk factors for running-related injuries?. *Sports medicine*, 44(8), 1153–1163.
 41. Sasimontongkul, S., Bay, B. K. in Pavol, M. J. (2007). Bone contact forces on the distal tibia during the stance phase of running. *Journal of Biomechanics*, 40(15), 3503–3509.
 42. Snyder, R. A., Koester, M. C. in Dunn, W. R. (2006). Epidemiology of stress fractures. *Clinics in Sports Medicine*, 25(1), 37–52.
 43. Taylor-Haas, J. A., Hugentobler, J. A., DiCesare, C. A., Hickey, L. K. C. in Bates, N. A. (2014). Reduced hip strength is associated with increased hip motion during running in young adult and adolescent male long-distance runners. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(4), 456–288.
 44. Vannatta, C. N. in Kernozek, T. W. (2015). Patellofemoral Joint Stress during Running with Alterations in Foot Strike Pattern. *Medicine & science in sports & exercise*, 47(5), 1001–1008.
 45. Warden, S. J., Burr, D. B., in Brukner, P. D. (2006). Stress fractures: Pathophysiology, epidemiology, and risk factors. *Current Osteoporosis Reports*, 4(3), 103–109.
 46. Willson, J. D. in Davis, I. S. (2009). Lower extremity strength and mechanics during jumping in women with patellofemoral pain. *Journal of Sport Rehabilitation*, 18(1), 76–90.
 47. Willson, J. D., Loss, J. R., Willy, R. W. in Meardon, S. A. (2015). Sex differences in running mechanics and patellofemoral joint kinetics following an exhaustive run. *Journal of biomechanics*, 48(15), 4155–4159.
 48. Wnuk, A., Mizia, E., Rutowicz, B. in Walocha, J. A. (2017). Is there a relationship between functional flat foot and prevalence of non-insertional achilles tendinopathy in joggers? — a pilot study. *Folia Med Cracov*, 57(3), 77–86.
 49. van der Worp, M. P., Ten Haaf, D. S., van Cingel, R., de Wijer, A., Nijhuis-van der Sanden, M. W. in Staal, J. B. (2015). Injuries in runners; a systematic review on risk factors and sex differences. *PLoS One*, 10(2), e0114937.

Nejc Šarabon
Univerza na Primorskem /
University of Primorska
Fakulteta za vede o zdravju /
Faculty of Health Sciences
Polje 42
SI-6310 Izola
Slovenija
nejc.sarabon@fvz.upr.si