

S tekaško obutvijo povezani dejavniki tveganja za nastanek poškodb spodnjih udov rekreativnih tekačev

Running shoes risk factors for lower limb injuries in recreational runners

Darja Dobnik¹, Renata Vauhnik^{1,2}

IZVLEČEK

Uvod: Priljubljenost teka kot rekreativne aktivnosti narašča od leta 1970, s čimer sovpada razvoj tekaških čevljev. Ti so na podlagi visokega, normalnega ali nizkega stopalnega loka razdeljeni na tri tipe, in sicer »cushioned«, »stability« in »motion control«. Kljub stalnemu razvoju tehnologije tekaške obutve incidenca poškodb ostaja do 79,3 %, največkrat vključujoč koleno in gleženj. Dejavniki, ki vplivajo na poškodbe spodnjih udov pri rekreativnih tekačih, so osebni ali pa povezani s tekom oziroma treningom, zdravjem in življenjskim slogom. Vzrok za poškodbe je tako multifaktorialen. Namen je ugotoviti, kateri dejavniki v povezavi s tekaškimi čevlji povečajo tveganje za s tekom povezane poškodbe spodnjih udov pri rekreativnih tekačih. **Metode:** V pregled je bilo vključenih 12 raziskav, najdenih prek spletnih podatkovnih zbirk CINAHL, MEDLINE in Cochrane Library. **Rezultati:** Izpostavljeni so bili dejavniki: izbira tekaških čevljev glede na stopalni lok, hkratna uporaba več tekaških čevljev, novi tekaški čevlji, ukvarjanje z več različnimi športi hkrati, minimalistična obutev, uporaba vložkov, vmesni podplat iz etilen vinil acetat pene – EVA in modifikacija parametrov teka. **Zaključki:** Izbira primernih tekaških čevljev je odvisna od več dejavnikov in pomembno vpliva na pojavnost poškodb. Enoznačnega pravila za izbiro tekaških čevljev, na podlagi katerega bi bilo tveganje za poškodbe minimalno, ni.

Ključne besede: tekaški čevlji, rekreativni tekači, s tekom povezane poškodbe, spodnji ud.

ABSTRACT

Background: The rise in popularity of running since 1970s has brought about the development of running shoes. The latter are based on foot arch shape, which can be high, normal or low, and are divided into cushioned, stability and motion control shoe types. Despite the constant development of running shoes, the incidence of injuries is still as high as 79.3%, with the knees and the ankles being the most affected. Risk factors can be clustered into the following domains: personal, running, health and lifestyle related factors. Running related injuries are therefore multifactorial. **Objectives:** The aim is to determine how the running shoes when in connection to risk factors increase the risk of running related injuries of the lower limb in the instance of recreational runners. **Methods:** Twelve articles were included into the review. CINAHL, MEDLINE and Cochrane Library were searched for relevant articles. **Main results:** Several factors such as the choice of appropriate running shoes based on foot arch shape, the use of more pairs of running shoes, new running shoes, practicing more sports, minimalistic footwear, orthotic insoles, EVA (Ethylene Vinyl Acetate) midsole and modification of running parameters, can affect the incidence of running related injuries. **Conclusion:** The choice of the appropriate running shoes is multifactorial. Manipulating with the main mentioned factors lowers the risk of injuries. Despite that, there is no single applicable rule to the choice of the running shoes.

Key words: running shoes, recreational runners, running related injuries, lower limbs.

¹ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana

² Arthron, Sklepne in športne poškodbe, Celje

Korespondenca/Correspondence: doc. dr. Renata Vauhnik, dipl. fiziot.; e-pošta: renata.vauhnik@zf.uni-lj.si

Prispelo: 16.1.2017

Sprejeto: 20.2.2017

UVOD

Nastanek tekaških čevljev je povezan z olimpijskimi igrami in uporabo tekmovalnih sandalov tekmovalcev s hladnejših območij, razvoj sodobne tekaške obutve pa sega v 18. stoletje. Tekmo za razvoj čim boljših čevljev je leta 1940 sprožila nedodelana tekaška obutev znanih maratoncev Kellyja in Sempla, ki jo je začel angleški izdelovalec čevljev Richings. Sledili so drugi, danes vodilni proizvajalci: Reebok, Adidas, ASICS, New Balance in Nike (1).

Priljubljenost teka narašča od leta 1970, kljub stalnemu razvoju tehnologije tekaške obutve pa incidenca poškodb ostaja med 19 in 79 %. Razpon pripisujejo razlikam v definiciji poškodb, proučevani populaciji in času opazovanja (2). Prizadenejo predvsem spodnji ud, z 80 % prevladujejo preobremenitvene poškodbe (3). Največkrat je poškodovano koleno (4, 5). Nekateri avtorji enako trdijo za gleženj (2), medtem ko ga drugi uvrščajo med manj pogosto poškodovane predele (3, 6). Multifaktorialen izvor poškodb je povezan z osebnimi dejavniki, s tekom oziroma treningom in zdravjem ter življenjskim slogom. Tekaaški čevlji so s pretečeno razdaljo in številom tekaških dni v letu uvrščeni v skupino, povezano s tekom oziroma treningom (2).

Tekaški čevlji so pripomoček, ki naj bi tekača varoval pred poškodbami (7). Zasnovani so na podlagi posameznikovih značilnosti in razlik v kinematiki treh različnih tipov stopal, določenih s stopnjo pronacije v fazi opore med tekom (8). Pogosta je tako delitev na visok, normalen in nizek stopalni lok, ki določa razvrstitev v tri skupine tekaških čevljev: »cushioned«, »stability« in »motion control« (9, 10). Mehanika teka je s stopalnim lokom sicer povezana, a je slednji ne določa v celoti (7).

Pri posameznikih z visokim stopalnim lokom je s »cushioned« čevlji cilj zagotoviti več pronacije in absorbcije šoka ter zmanjšati odbojne sile podlage (11). Zanje sta značilna fleksibilnost in mehkejši neokrepljen vmesni podplat. Namenjeni so še tekačem s premalo pronacije oziroma tako imenovanim »funkcionalnim supinatorjem« (8). Normalen stopalni lok zagotavlja ravno pravo silo pri stiku s podlago in zadosten obseg pronacije, zato ima »stability« tip tekaških čevljev na

medialnem delu nadzorne mehanizme, medtem ko je lateralni rob oblazinjen (8, 11). Za nizek stopalni lok je značilna povečana premičnost zadnjega in srednjega dela stopala, kar se med tekom kaže s čezmerno pronacijo med fazo opore. »Motion control« čevlji nadzorujejo čezmerno pronacijo (11).

Namen članka je na podlagi pregleda literature ugotoviti, kateri dejavniki v povezavi s tekaškimi čevlji vplivajo na povečano tveganje za s tekom povezane poškodbe spodnjih udov.

METODE

Literatura je bila iskana po elektronskih zbirkah podatkov CINAHL, MEDLINE in Cochrane Library s ključnimi besedami v angleškem jeziku: running shoes, running shoes + injuries, types of running shoes + injuries, running + injuries. Vključene so bile prosto dostopne raziskave od januarja 2005 do februarja 2016 v angleškem jeziku, ki so vključevale odrasle posameznike brez predhodnih poškodb spodnjih udov in so rezultate kvantitativno ocenile. Izključene so bile raziskave, ki so preučevale profesionalne tekače oziroma tekače s tekmovalnimi izkušnjami.

REZULTATI

V pregled literature je bilo zajetih dvanajst člankov (4, 7, 12–21) s skupno 907 rekreativnih tekačev in tekačic, starih povprečno 26,6 leta. Analiziranih je bilo osem s tekaškimi čevlji povezanih dejavnikov, ki vplivajo na poškodbe spodnjih udov pri rekreativnih tekačih. To so izbira tekaških čevljev glede na stopalni lok, hkratna uporaba več tekaških čevljev, novi tekaški čevlji, ukvarjanje z več različnimi športi hkrati, minimalistična obutev, uporaba vložkov, vmesni podplat iz etilen vinil acetat pene – EVA in modifikacija parametrov teka. Tveganje za poškodbe je bilo večinoma ocenjeno s plantarnimi obremenitvami, pridobljenimi s sistemom Novel Pedar (12), drugimi sistemi za merjenje plantarnega pritiska (13), senzorji (14) in markerji (7, 15, 16). Nekateri raziskave so incidenco izrazile s poškodbami na tisoč ur, povezavo med napovednimi dejavniki in poškodbami pa nato ocenile z matematičnimi modeli (4).

Vpliv starosti tekaških čevljev na poškodbe je bil proučevan s povprečno 120,5 tedna starimi

tekaškimi čevlji. Plantarni pritiski so bili razen srednjega dela stopala statistično značilno večji pri novih tekaških čevljih ($p < 0,05$). Podobno velja za tlakovno-časovne integrale. Avtorja sta rezultate povezala z večjo togostjo novih tekaških čevljev in posledično daljšim kontaktnim časom. Priporoča se vsaj štiritedenski prehod na uporabo novih tekaških čevljev. Vključeval naj bi lažjo telesno aktivnost. Z vidika togosti naj bi tekaške čevlje menjali vsakih 500 do 700 pretečenih kilometrov (12). V drugi raziskavi so predel čevlja pod peto najprej mehansko postarali, nato pa merili togost in viskoznost starih in novih čevljev (15). Staranje čevljev vodi v povečano togost in zmanjšano viskoznost; prva je povezana s pojavom stresnih fraktur (22).

Butler je s sodelavci (7) iskal povezavo med višino stopalnega loka in učinki »motion control« ter »cushioned« čevljev na mehaniko teka. Tekачi z nizkim stopalnim lokom imajo statistično značilno nižji največji prirast vertikalne sile, določen z največjim naklonom njene krivulje med dostopom na peto in prvim vrhom (bw/s -telesna teža/sekundo), v »motion control« čevljih ($105,4 \pm 22,5$) kot v »cushioned« ($115,8 \pm 38,6$). Ista spremenljivka je pri tekačih z visokim stopalnim lokom statistično značilno nižja v »cushioned« čevljih ($113,4 \pm 35,8$) v primerjavi z »motion control« ($125,2 \pm 45,3$). Zaključili so, da naj izbira tekaških čevljev, raje kot le na stopalnem loku, temelji na mehaniki teka. Med slednjima obstaja povezava, a stopalni lok mehanike teka nujno ne določa v celoti.

S primerjavo plantarnih sil pred 1,5 km pretečeno razdaljo in po njej v dveh testnih pogojih – z »motion control« in z nevtralnimi čevlji – so obravnavali učinkovitost »motion control« čevljev. Plantarna sila (N) se je na področju medialnih struktur stopala po teku z nevtralnimi čevlji statistično značilno povečala s 364 na 418, pri teku z »motion control« pa je ostala nespremenjena. Rezultati so lahko uporabni kot preventiva poškodb pri rekreativnih tekačih z več kot šest stopinj pronacije (14).

Hkratno ukvarjanje z različnimi športi in uporaba več različnih tekaških čevljev hkrati spreminjata obremenitve mišično-skeletnega sistema in tako ščitita pred poškodbami. Pri skupini, ki je

povprečno uporabljala $3,6 \pm 1,6$ para čevljev, je bilo ugotovljeno 39 % nižje tveganje za poškodbe. Skupna incidenca s tekom povezanih poškodb je bila 7,64 poškodb na tisoč pretečenih ur, v 67,8 % primerov so bile prizadete mišice in tetive. Avtorji sklepajo, da se lahko s strategijama preprečijo poškodbe pri rekreativnih tekačih (17).

Vmesni podplat EVA kot najpomembnejši del sodobnih tekaških čevljev s svojo mikrostrukturo zagotavlja minimalen stres in pritisk na tkivo. Na poškodbe vpliva starost obutve, saj EVA sčasoma kolabira in tako zmanjša sposobnost absorpcije šoka (15, 18). Učinke EVA so preučevali tudi s tekom po tekočem traku, ki je opremljenim z EVA. V primerjavi s tekom po asfalti površini so ugotovili 12,1 % manjši prvi plantarni pritisk in 20,8 % manjše tlakovno-časovne integrale. Občutno večji pritiski nastajajo na področju pete; pri teku po EVA tekočem traku so za 9,1 % nižji od teka po asfaltu (13). Na spremenjeno mehaniko teka vpliva tudi različna trdnost vmesnega podplata, ki vpliva na togost sklepov, ta pa na trši dostop. Posledica so večje vertikalne udarne sile pri mehkejših vmesnih podplatih. Trdnost vmesnega podplata je v večji meri vplivala na togost gležnja kot kolena (19).

Z minimalistično obutvijo, ki posnema mehaniko bosega teka (20, 23) so poškodbam pri izkušenejših tekačih manj izpostavljeni kolk, koleno, spodnji del noge, gleženj in stopalo (24). Raziskava (20) je po teku s tremi različnimi hitrostmi na tekočem traku in štirimi tipi obutve pokazala, da dorzalna fleksija v gležnju in pogostost dostopa na zadnji del stopala pri čevljih z več blažilnimi značilnostmi naraščata. Za bos tek je značilna bolj ploska postavitev stopala pri stiku s podlago, kar generira manjše sile, to pa prepreči poškodbe.

Proučevanje teka z različnimi hitrostmi s tradicionalno in minimalistično obutvijo ter bosega teka je pokazalo spremembo vzorca dostopa s tipom tekaškega čevlja, ne pa s hitrostjo; slednja vpliva le na kinematiko kolena in ne gležnja. Hitrost in tip obutve določata kot v gležnju; podatki so pomembni za oceno tveganja poškodb pri teku z minimalistično obutvijo. Plantarna fleksija je večja pri bosem teku in minimalistični obutvi (19).

Kljub neenotnosti se kot način zdravljenja in preventive poškodb vse pogosteje uporabljajo ortotični vložki za čevlje, prilagojeni obliki posameznikovega stopala. Njihova uporaba ni zmanjšala preobremenitvenih poškodb spodnjih udov po opravljeni vojski. Vložki pripomorejo k blažitvi obremenitev in kompenzaciji deficitov stopala, a ne preprečijo poškodb spodnjih udov (21).

Raziskava, ki je preučevala vpliv predhodnih poškodb in značilnosti treninga, navaja predhodne poškodbe (OR = 1,88), trajanje treninga (OR = 1,01) in hitrostni trening (OR = 1,46) kot dejavnike tveganja. Nasprotno je intervalni trening zaščitni dejavnik za nastanek poškodb (OR = 0,61) (4).

RAZPRAVA

Pregled literature izpostavlja vprašanje normalnega stopala. Norme so postavljene, a omejene le na določeno populacijo, zato bi bilo treba izboljšati klasifikacije tipov stopala. Izbira prilagojenega čevlja je glede na 48,9 % rekreativnih tekačev, ki znajo pravilno določiti svoj stopalni lok, vprašljiva (9). Dodaten dvom prinaša podobno oziroma celo rahlo povišano tveganje za poškodbe pri uporabnikih, na podlagi plantarne oblike predpisanih čevljev v primerjavi z uporabniki »stability« čevljev, ne glede na obliko plantarne površine stopala (10).

Plantarni pritiski, na podlagi katerih se sklepa o tveganju za poškodbe, so povezani z vsemi zgoraj naštetimi dejavniki tveganja. V zvezi s starostjo tekaških čevljev, natančneje začetkom uporabe novih, se postavlja vprašanje o hkratni debelosti in morebitnih posledicah zaradi verjetno povečanih plantarnih pritiskov. Ti so bili hkrati z daljšim kontaktnim časom sicer večji pri novih tekaških čevljih, upoštevajoč indeks telesne mase, pa se večajo z njim (12). Primerjava devetnajstih različnih parov tekaških čevljev je izpostavila statistično pomembne razlike na vseh merjenih točkah, kar kaže na pomen upoštevanja tipa obutve in uporabo več različnih čevljev hkrati (25). Razmerje ogroženosti (HR = 0,85) kaže na zaščitno vlogo pri s tekom povezanih poškodbah (17). Uporaba vložkov ne zmanjša poškodb spodnjih udov (21), niža pa pritiske, ki se z naraščajočo debelino vložka nagibajo k asimptoti,

torej dodatno oblažinjene nima bistvenega učinka (18).

Izbira tekaškega čevlja na podlagi stopalnega loka je bila v raziskavi (7) z ugotovitvami, da »motion control« čevlji manj obremenijo stopalo z nizkim stopalnim lokom, »cushioned« pa stopalo z visokim stopalnim lokom, posredno potrjena. Sklepamo lahko, da se prednosti posameznih tipov čevljev različno izrazijo pri različnih stopalih. V primerjavi z »neutral-cushioned« čevlji »motion control« pomembno zmanjšajo pronacijo, neprimerno izbrani čevlji pa jo povečajo. Povezanost »motion control« z nizkim stopalnim lokom se kaže z njihovim nadzorom povečanega pritiska na medialni del stopala kot posledice mišične utrujenosti invertorjev in supinatorjev, hkrati pa vzdržujejo aktivnost stabilizatorjev stopala in zakasnijo njihovo utrujenost (14). Zmanjšana everzija zadnjega dela stopala in zmanjšana celotna everzija nakazujeta na boljši nadzor gibanja zadnjega dela stopala v primerjavi s »cushioned« tekaškimi čevlji, kar kaže na morebitno večjo uporabnost za tekače z dostopanjem na zadnji del stopala. Prav tako so pomembno zmanjšali obseg notranje rotacije tibie, kar naj bi zmanjšalo obremenitev patelofemoralnega sklepa in potencialno tudi incidenco poškodb kolena, ki so pogostejše pri tekačih z nizkim stopalnim lokom (26).

S starostjo obutve je povezan vmesni podplat EVA. Njegova optimalna trdnost ni določena (19), na mehaniko teka pa vpliva prek svoje geometrije oziroma togosti. Ta se zato pri posameznikih, ki nosijo en par čevljev, razlikuje od mehanike teka pri posameznikih, ki uporabljajo več parov čevljev hkrati (27). Sposobnost čevljev za blažitev sil se s starostjo obutve zmanjša; raziskave navajajo 75 % sposobnost šok absorpcije po 50 pretečenih miljah, po 250 do 500 pretečenih miljah pa ta pade že pod 60 % (28). Model ene izmed raziskav je pokazal povečan pritisk opetnika z upadom debeline vmesnega podplata EVA (18), kar kaže na pomembno vlogo vmesnega podplata iz struktur z blažilnimi značilnostmi. Na vmesni podplat EVA in njegov pomen lahko pogledamo tudi kot na površino za tek. Izid raziskave je pokazal 12,1 % znižanje prvega največjega pritiska ter 9,1 % znižanje največjega plantarnega pritiska na področju pete na EVA tekočem traku v primerjavi

s tekom po asfaltni površini (22). Poleg podlage imajo s poškodbami pri teku veliko opraviti parametri posameznikove športne aktivnosti in posredno vzorec uporabe tekaških čevljev (7).

Pregled literature nakaže pozitivne strani uporabe tekaške obutve, hkrati pa tudi novih načinov preprečitve poškodb, kot je minimalistična obutev oziroma posnemanje bosega teka. Tu sta opaženi manjša dorzalna fleksija pri začetnem kontaktu s podlago in manjša fleksija v kolenu, kar zmanjšuje ročico štiriglave stegenske mišice ter manj obremenjuje pri teku pogosto poškodovan patelofemoralni sklep (29). Prednost uporabe obutve med tekom so senzorične informacije prek dorzalne in plantarne površine stopala, kar zaradi posledičnih živčno-mišičnih mehanizmov zmanjša asimetrijo hoje med tekom. Razviden je pomen posameznikovega odziva na obutev; pri treh izmed petnajstih preiskovancev se je z obutvijo povečala asimetrija med tekom (30). Povezava med senzoričnim prilivom in obutvijo je po drugi strani vprašljiva. Čezmerna debelina vmesnega podplata namreč zmanjša senzorni priliv in poveča možnost poškodb (8).

Zaradi nasprotujočih si rezultatov raziskav, majhnega števila preiskovancev, pomanjkanja randomiziranih kontrolnih študij, posameznikovega odziva na posamezen tip obutve in različnih tehnik teka ne moremo z gotovostjo potrditi zmanjšanje možnosti za poškodbe na podlagi primerne izbire čevljev. Zajeti bi bilo treba večjo populacijo in vključiti več različnih parov čevljev. Hkrati bi lahko čim bolj podobno izhodiščno stanje preiskovanih tekačev in tekačic zagotovili z delitvijo glede na določene značilnosti mehanike teka, kot je dostop, poenotenjem pretečene razdalje in časa ukvarjanja s tekom pred izvajanjem raziskave.

ZAKLJUČKI

Tek je ena izmed najbolj priljubljenih rekreativnih aktivnosti za izboljšanje telesne pripravljenosti, od tekača pa zahteva le opremljenost s tekaškimi čevlji. V povezavi z njimi je bilo izpostavljenih osem dejavnikov: izbira tekaških čevljev glede na stopalni lok, hkratna uporaba več tekaških čevljev, novi tekaški čevlji, ukvarjanje z več različnimi športi hkrati, minimalistična obutev, uporaba vložkov, vmesni podplat iz etilen vinil acetat pene

– EVA in modifikacija parametrov teka. Kljub mogočemu vplivu na pojavnost poškodb, enoznačnega recepta za izbiro primernih tekaških čevljev, s katerimi bi bilo tveganje za poškodbe minimalno, še ni.

LITERATURA

1. Werd MB, Subotnick SI (2014). The history of the running shoe - Part 1. *Podiatry management*: 170–2.
2. van Gent RN, Siem D, van Middelkoop M, van OS AG, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW (2007). Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *Br J Sports Med* 41: 469–80.
3. van der Worp MP, ten Haaf DSM, van Cingel R, de Wijer A, Nijhuis-van den Sanden MWG, Bart Staal J (2015). Injuries in runners: A systematic review on risk factors and sex differences. *PloS ONE* 10 (2): e0114937.
4. Hespanhol Junior LC, Oliveira Pena Costa L, Dias Lopes A (2013). Previous injuries and some training characteristics predict running-related injuries in recreational runners: a prospective cohort study. *J Physiother* 59: 263–9.
5. Taunton JE, Ryan MB, Clement DB, McKenzie DC, Lloyd-Smith DR, Zumbo BD (2002). A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *Br J Sports Med* 36: 95–101.
6. Buist I, Bredeweg SW, Bessem B, van MW et al. (2010). Incidence and risk factors of running-related injuries during preparation for a 4-mile recreational running event. *Br J Sports Med* 44: 598–604.
7. Butler RJ, Davis IS, Hamill J (2006). Interaction of arch type and footwear on running mechanics. *Am J Sports Med* 34 (12): 1998–2005.
8. Plazar P, Strojnik V, Dolenc A (2015). Choice of appropriate running shoes as a way of preventing running injuries. V: *Youth sport: proceedings of the 7th conference for youth sport*. Ljubljana: Fakulteta za šport, 236–41.
9. Hohmann E, Reaburn P, Imhoff A (2012). Runner's knowledge of their foot type: Do they really know? *Foot (Edinb)* (22): 205–10.
10. Knapik JJ, Brosch LC, Venuto M, Swedler et al. (2010). Effect of injuries of assigning shoes based on foot shape in air force basic training. *Am J Prev Med* 38 (1S): S197–S211.
11. Knapik JJ, Swedler DI, Grier TL et al. (2009). Injury reduction effectiveness of selecting running shoes based on plantar shape. *J Strength Cond Res* 23 (3): 685–97.
12. Rethnam U, Makwana (2011). Are old running shoes detrimental to your feet? A pedobarographic study. *BMC Res Notes* 4: 307–12.

13. Fu W, Fang Y, Ming Shuo Liu D, Wang L, Ren S, Liu Y (2015). Surface effects on in-shoe plantar pressure and tibial impact during running. *J Sport Health Sci* 4: 384–90.
14. Cheung RTH, Ng GYF (2008). Influence of different footwear on force of landing during running. *Phys Ther* 88 (5): 620–8.
15. Chambon N, Sevrez V, Ly HQ, Guéguen N, Berton E, Rao G (2014). Aging of running shoes and its effect on mechanical and biomechanical variables: implications for runners. *J Sports Sci* 32 (11): 1013–22.
16. Fredericks et al., 2015
17. Malisoux L, Ramesh J, Mann R, Seil R, Urhausen A, Theisen D (2015). Can parallel use of different running shoes decrease running-related injury risk? *Med Sci Sports* 25: 110–15.
18. Even-Tzur N, Weisz E, Falk-Hirsch Y, Gefen A (2006). Role of EVA viscoelastic properties in protective performance of a sport shoe: Computational studies. *Biomed Mater Eng* 16: 289–99.
19. Baltich et al., 2015
20. Hollander K, Argubi-Wollesen A, Reer R, Zech A (2014). Comparison of minimalist footwear strategies for simulating barefoot running: A randomized crossover study. *PloS ONE* 10 (5): e0125880.
21. Mattila VM, Sillanpää PJ, Salo T, Laine HJ, Mäenpää H, Pihlajamäki H (2011). Can orthotic insoles prevent lower limb overuse injuries? A randomized-controlled trial of 228 subjects. *Scand J Med Sci Sports* 21: 804–8.
22. Milner CE, Ferber R, Pollard CD, Hamill J, Davis IS (2006). Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. *Med Sci Sports Exerc* 38: 323–8.
23. Tam N, Astephen Wilson JL, Noakes TD, Tucker R (2014). Barefoot running: an evaluation of current hypothesis, future research and clinical applications. *Br J Sports Med* 48: 349–55.
24. Goss D, Gross M (2012). Relationships among self-reported shoe type, footstrike pattern, and injury incidence. *US Army Medical Department Journal* Oct-Dec: 25–30.
25. Hennig EM, Milani TL (1995). In-shoe distribution for running in various types of footwear. *J Appl Biomech* 11: 299–310.
26. Williams DS, McCLAY IS, Hamill J, Buchanan TS (2001). Lower extremity kinematic and kinetic differences in runners with high and low arches. *J Appl Biomech*, 17: 153–63.
27. Kong PW, Candelaria NG, Smith DR (2009). Running in new and worn shoes - a comparison of three types of cushioning footwear. *Br J Sports Med* 43: 745–9.
28. Verdejo R, Mills N (2002). Performance of EVA foam in running shoes. *The Engineering of Sport* 4: 580–7.
29. Lieberman D, Venkadesan M, Werbel W et al. (2010). Footstrike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature* 463 (28): 531–6.
30. Hoerzer S, Federoll PA, Maurer C, Baltich J, Nigg BM (2015). Footwear decreases gait asymmetry during running. *PloS ONE* 10 (10): e0138631.