



MUŠKI ATLETSKI TRIJAS

MALE ATHLETE TRIAD

Mihovil Plečko¹, Dora Dujmović Plečko², Filip Habeković¹, Andreja Vukasović Barišić³, Marko Pećina⁴

¹Klinika za ortopediju, Klinički bolnički centar Zagreb, Šalata 6-7, Zagreb, Republika Hrvatska

²Dječja bolnica „Srebrnjak“, Srebrnjak 100, Zagreb, Republika Hrvatska

³Zavod za ortopediju i traumatologiju s fizikalnom medicinom, Opća bolnica „Dr. Anđelko Višić“ Bjelovar,
Ulica Antuna Mihanovića 8, Bjelovar, Republika Hrvatska

⁴Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Šalata 2, Zagreb, Republika Hrvatska

Cite as: Plečko M, Dujmović Plečko D, Habeković F, Vukasović Barišić A, Pećina M. Muški atletski trijas.
Croat Sports Med J. 2025; 40(2):132-43.

Corresponding author: Dora Dujmović Plečko, dora7dujmovic@gmail.com

DOI: 10.69589/hsv.40.2.3

SAŽETAK

Muški atletski trijas je sindrom koji se definira s trima međusobno povezanim stanjima, a to su kronično nedostatna količina energije, hipogonadotropni hipogonadizam i osteoporoza s povećanim rizikom za nastanak prijeloma zamora. Nastanak muškog atletskog trijasa uzrokuje ponajprije kronično nedostatna količina energije koja može biti uslijed premalog unosa hrane zbog restriktivskih dijeta ili poremećaja prehrane, ili može biti uslijed pretjerane potrošnje energije tijekom treninga. Najčešće se javlja kod adolescenata i mladih sportaša koji se bave sportovima izdržljivosti (trčanje, biciklizam, triatlon, jahanje) te sportovima u kojima je nužno održavanje određene tjelesne težine (borilački sportovi, dizanje utega, veslanje). Za nastanak sindroma potrebno je dugo vrijeme te se može očitovati širokim, slabo definiranim spektrom simptoma koji dugo ostaju suptilni. Kronična nedostatna količina energije uzrokuje poremećaj funkcioniranja osovine hipotalamus – hipofiza – gonade i dovodi do stanja hipogonadotropnog hipogonadizma. Hipogonadotropni hipogonadizam u sportaša se očituje sniženim razinama testosterona, promjenama spermatogeneze i smanjenim libidom. Energetski i hormonalni disbalans posljedično dovode do narušenog zdravlja kostiju i povećanog rizika od nastanka prijeloma zamora. Dijagnosticiranje zahtijeva multidisciplinarni pristup koji uključuje liječnike, nutricioniste, trenere i specijaliste mentalnog zdravlja. Ključni su detaljna anamneza, laboratorijski nalazi te denzitometrija u rizičnih skupina. Prevencija se temelji na edukaciji sportaša, pravodobnom prepoznavanju simptoma i osiguravanju adekvatnoga energetskog unosa. Liječenje se u prvom redu zasniva na korekciji prehrane i eventualnoj redukciji opterećenja treninga, dok se farmakološka terapija

ABSTRACT

The Male Athlete Triad is a syndrome defined by three interrelated conditions: chronic low energy availability, hypogonadotropic hypogonadism, and osteoporosis with an increased risk of stress fractures. Its development is primarily driven by chronic low energy availability, which may result from insufficient dietary intake due to restrictive diets or eating disorders, or from excessive energy expenditure during training. The syndrome most commonly affects adolescents and young athletes engaged in endurance sports (e.g., running, cycling, triathlon, horseback riding) as well as sports that require strict weight regulation (e.g., combat sports, weightlifting, rowing). The onset of the syndrome is gradual and may initially manifest with subtle, nonspecific symptoms. Chronic low energy availability disrupts the hypothalamic–pituitary–gonadal axis, leading to hypogonadotropic hypogonadism, which in athletes is characterized by reduced testosterone levels, impaired spermatogenesis, and decreased libido. The associated energy and hormonal imbalance further compromise bone health, increasing susceptibility to stress fractures. Diagnosis requires a multidisciplinary approach involving physicians, nutritionists, coaches, and mental health professionals. Key diagnostic components include a detailed medical history, laboratory testing, and bone densitometry in at-risk populations. Prevention is based on athlete education, early symptom recognition, and ensuring adequate energy availability. Treatment primarily focuses on nutritional rehabilitation and, when necessary, adjustment of training load, while pharmacological interventions are reserved for severe cases. The Male Athlete Triad remains insufficiently investigated; however, its significance lies in the potential long-term consequences for reproductive

primjenjuje tek u težim slučajevima. Muški atletski trijas i dalje je nedovoljno istražen, a njegova važnost leži u činjenici da može uzrokovati dugoročne posljedice na reproduktivno i koštano zdravlje. Pravodobna prevencija, probir i liječenje ključni su u očuvanju zdravlja mladih sportaša.

Ključne riječi: muški atletski trijas, kronično nedostatna količina energije, hipogonadotropni hipogonadizam, narušeno zdravlje kostiju, prijelomi zamora

and skeletal health. Timely prevention, screening, and intervention are essential for protection of the health of young athletes.

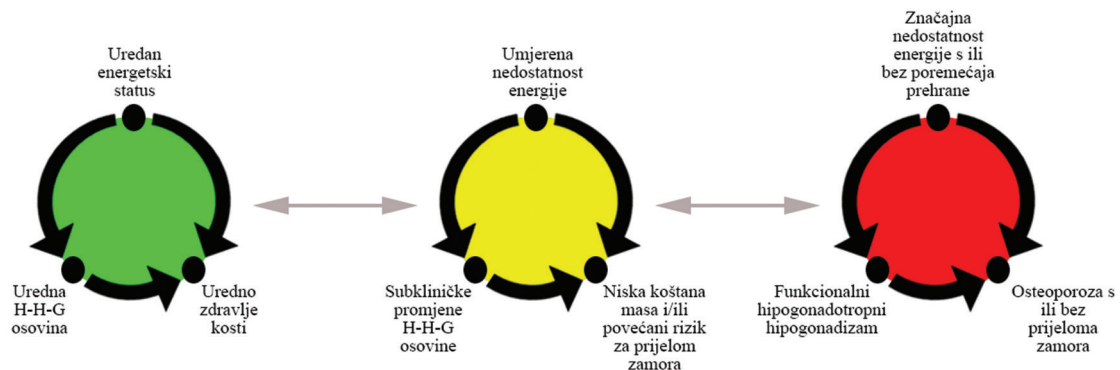
Keywords: Male Athlete Triad, chronic low energy availability, hypogonadotropic hypogonadism, impaired bone health, stress fractures

UVOD

Američki fakultet za sportsku medicinu opisao je 1993. godine pojam „ženskog atletskog trijasa“, odnosno „trijasa sportašica“, definirajući ga kao poremećaj prehrane, nepravilnost menstrualnog ciklusa i razvoj osteoporoze.¹⁰⁷ Poremećaj prehrane podrazumijeva unos nedostatne količine energije za potrebe određenih fizioloških procesa te uzrokuje prestanak normalnog funkcioniranja osovine hipotalamus – hipofiza – gonade (H-H-G). To dovodi do stanja hipoestrogenizma, što uzrokuje nepravilnosti menstrualnog ciklusa, a dugoročno dovodi i do razvoja osteoporoze.^{27-31,49,50,78,85,86} Ovaj poremećaj može se javiti u svih sportašica, no češće se javlja u balerina, klizačica, gimnastičarki i dugoprugašica.⁵⁰ Sportašice s ovim poremećajem imaju oko tri puta veći rizik od nastanka prijeloma zamora nego što je to u zdrave populacije.⁵⁰

Dok je ženski atletski trijas opsežno istraživan tijekom godina, uočeno je kako se i kod muških pojavljuju simptomi za koje se prethodno pretpostavljalo da su prisutni samo kod sportašica.⁷⁰ Tek je 2017. godine definiran „muški atletski trijas“ kao sindrom s tri preklapajuća stanja: nedostatna količina energije, narušena osovina H-H-G uz razvoj hipogonadotropnog hipogonadizma i narušeno zdravlje kostiju s prijelomom zamora ili bez njega.⁷⁰ Muški

atletski trijas najčešće se javlja u adolescenata ili mladih odraslih sportaša.³⁴ Nadalje, javlja se u onih sportaša čiji se sportovi temelje na izdržljivosti poput dugoprugaša, vozača bicikla, triatlonaca i jahača i u onih čiji se sportovi temelje na svrstavanju u kategorije prema tjelesnoj težini poput sudionika borilačkih sportova, dizača utega ili veslača.³⁴ U usporedbi sa ženskim atletskim trijasom, muški atletski trijas ima brojne sličnosti, no izraženost simptoma kod sportaša značajno varira u svom intenzitetu te se dugo vremena previdala činjenica kako se radi o zasebnom entitetu (slika 1). Razlog je činjenica da je za nastanak muškoga atletskog trijasa, u usporedbi sa ženskim atletskim trijasom, potrebna značajno veća nedostatnost energije koja traje dulje vrijeme prije nego što simptomi postanu klinički uočljivi.^{48,55,63,77,103} Ta dugotrajnost stanja dovodi do toga da se između zdravog sportaša i potpuno razvijene kliničke slike muškoga atletskog trijasa nalazi širok, slabo definiran spektar simptoma poput suptilnih promjena u osovini H-H-G i povećanog rizika za nastanak prijeloma zamora.⁷⁰ U potpuno razvijenoj kliničkoj slici muškoga atletskog trijasa nedostatna količina energije (s poremećajem prehrane ili bez njega) povezana je s hipogonadotropnim hipogonadizmom, oligospermijom, smanjenim seksualnim nagonima i osteoporozom s prijelomom zamora ili bez njega.⁷⁰



Slika 1. Kaskada nastanka muškoga atletskog trijasa temeljena na konsenzusu *The Female and Male Athlete Triad*.⁷⁰ Kratica H-H-G = hipotalamus – hipofiza – gonade.

Figure 1. Male Athlete Triad cascade based on the consensus of *The Female and Male Athlete Triad*.⁷⁰

NEDOSTATNA KOLIČINA ENERGIJE

Nedostatnu količinu energije možemo definirati kao razliku unosa energije i potrošnje koju organizam ima tijekom dana. U slučaju sportaša, može doći do razvoja kronično nedostatne količine energije zbog manjka energije za fiziološke procese nakon što se dostupna energija potroši za svrhu sportskih aktivnosti.^{62,63} Upravo je kronično nedostatna količina energije glavni pokretač nastanka muškoga atletskog trijasa. Kronično nedostatna količina energije uzrokuje prilagodbu tijela poput promjene tjelesne težine i sastava tijela, niskih vrijednosti indeksa tjelesne mase, potiskivanja funkcija bazalnog metabolizma, hormonalne promjene poput smanjenog lučenja T3, leptina i drugo.^{53,59,60,63,82,102,103} Ove se promjene događaju postupno tijekom nekoliko tjedana ili mjeseci.⁷⁰ Uzrok nedostatne količine energije može biti premali unos energije ili pretjerana potrošnja energije. Prema literaturi, premali unos energije može biti s namjerom zbog provođenja dijete ili uslijed poremećaja prehrane, a može biti i slučajan uslijed neznanja sportaša o potrebnim količinama i vrstama hranjivih tvari koje mora unositi da bi imao zadovoljavajuću zalihu energije za provođenje sportskih aktivnosti.⁷² Također, na energetske status mogu utjecati i ponašanja poput pretjeranog vježbanja, preskakivanja obroka, korištenja saune, diuretika i laksativa ili namjerno izazivanje povraćanja.^{7,26,69} Istraživanja u sportašica pokazala su da je utvrđivanje energetske statusa i rizika od pothranjenosti ključno u prevenciji i liječenju trijasa, budući da je ustanovljena jasna povezanost između količine energije i metaboličkih, reproduktivnih i koštanih promjena.⁴⁸ Osim toga, istraživanja su pokazala kako su poremećaji prehrane i loš energetske status češći u sportaša nego u kontrolne skupine, osobito u sportaša koji se bave sportovima koji zahtijevaju mršavost.^{15,88} Štoviše, van Erp-Baart i suradnici navode da većina sportaša uzima premale količine ugljikohidrata, dok su kod sportaša čiji sportovi zahtijevaju mršavost uočene navike provođenja dijete i generalno smanjenog unosa hrane tijekom cijele godine, a ne samo za vrijeme natjecateljske sezone.⁹⁶ Sundgot-Borgen i Torstveit analizirali su poremećaje prehrane u 687 sportaša, opisujući da prevalencija poremećaja prehrane među sportašima iznosi 8%, dok je u 629 ispitanika kontrolne skupine prevalencija iznosila 0,5%.⁸⁸ Nadalje, u sportaša čiji sportovi zahtijevaju mršavost prevalencija je iznosila 12,9% u usporedbi s ostalim sportovima u kojima je iznosila 4,6%.⁸⁸ Drugim riječima, sportaši čiji sportovi zahtijevaju mršavost imaju skoro 25 puta veću prevalenciju poremećaja prehrane u odnosu na opću populaciju.

Trenutno u literaturi ne postoji točno određena kvantitativna definicija kronično nedostatne količine energije.⁷⁰ Razlog je činjenica da je točan unos energije vrlo teško mjeriti i uvelike ovisi o podatcima koje sportaš daje sam za sebe. Također, isto zahtijeva i detaljno mjerenje svakodnevne energetske potrošnje koja značajno varira.⁷⁰ Stoga se većina istraživanja bazira na metaboličkim

promjenama koje nastaju kao kompenzacijski mehanizmi. Više istraživanja postavilo je graničnu vrijednost dnevnog unosa energije od 30 kcal/kg nemasne tjelesne mase ispod koje dolazi do razvoja stanja kronično nedostatne količine energije.^{54,104} S druge strane, istraživanje Papageorgiou i suradnika u kojem je unos iznosio 15 kcal/kg nemasne tjelesne mase dnevno nije uzrokovao značajnije promjene u lučenju T3, leptina, čimbenika rasta sličnog inzulinu 1 (IGF-1) niti inzulina.⁷⁷ Istraživanje Koehlera i suradnika pokazalo je pak kako nakon četiri dana s unosom 15 kcal/kg nemasne tjelesne mase dnevno dolazi do promjena u koncentraciji inzulina i leptina u odnosu na kontrolnu skupinu.⁵⁵ Što se tiče potrošnje energije, istraživanja su pokazala da je kod razvoja kronično nedostatne količine energije često energetske unos za 500 do 1000 kcal manji u odnosu na dnevnu potrošnju.^{45,64,76,98} Sustavni pregledni članak pokazao je da u muških sportaša koji se bave sportovima u kojima je potrebna izdržljivost prosječno imaju dnevni deficit od 577 kcal.⁴⁵ Nadalje, Geesmann i suradnici izvještavaju da je nakon 54-satnog ultramaratona prosječni dnevni energetske deficit trkača iznosio 2468 kcal.³⁷ Istraživanje provedeno kroz osam tjedana uvježbavanja vojnika u ekstremnim uvjetima uz značajnu restrikciju energetske unosa na oko 1100 kcal dnevno pokazalo je značajno sniženje koncentracije IGF-1 (za 57%) i T3 (za 15%).³⁵ Jedna grupa vojnika imala je dodatak prehrani od oko 400 kcal dnevno te je u njih zabilježen manji pad koncentracije IGF-1 i T3.³⁵ Nakon kraja provođenja istraživanja svim su se vojnicima vrijednosti koncentracija vratile u fiziološki raspon nakon jednoga do četiri tjedna.³⁵

Još uvijek ne postoji jasno definirana vrijednost energetske deficita koji bi prouzročio hormonalne poremećaje u sportaša. Potrebna su dodatna istraživanja koja će odrediti koliki energetske deficit i u kojem vremenskom periodu dovodi do metaboličkih promjena u sportaša.

HIPOGONADOTROPNI HIPOGONADIZAM

Ovisno o razmjeru nedostatka energije, u sportašica se poremećaj osi H-H-G očituje smanjenom količinom ili izostankom menstruacije, dok su promjene nešto suptilnije kad je energetske nedostatak manji te se očituje poremećajem lutealne faze menstrualnog ciklusa i anovulacijom.¹⁰³ U sportaša su promjene gotovo uvijek suptilne i često se otkrivaju tek u kasnijoj fazi.⁹⁰ Promjene se očituju na hormonalnoj razini te posljedično utječu na mogućnost reprodukcije.^{43,67,80} Nattiv i suradnici navode kako pretjerana količina vježbanja i prolongirani energetske deficit dovode do potiskivanja funkcije osi H-H-G, što se očituje hipogonadotropnim hipogonadizmom, tj. sniženim razinama LH, testosterona, smanjenom frekvencijom pulseva LH, smanjenim lučenjem gonadotropina u odgovoru na GnRH, promjenama spermatogeneze i smanjenim libidom.⁷⁰

Kod sportaša čiji sportovi zahtijevaju izdržljivost uočene su smanjene razine spolnih hormona, uključujući

i testosteron.^{2,8,39,41,43,67,80,100} Razina testosterona ispod 8 nmol/L smatra se klinički značajnom nedostatnošću testosterona, razina između 8 nmol/L i 12 nmol/L smatra se subkliničkom „sivom zonom“, dok iznad 12 nmol/L govorimo o zadovoljavajućim razinama testosterona.⁷⁰ Bitno je naglasiti kako u većine sportaša koji imaju poremećaj razine testosterona izmjerene vrijednosti spadaju u tzv. „sivu zonu“. U istraživanju na Ironman triatloncima samo četiri od 22 sportaša imala su klinički nisku razinu testosterona prije utrke, dok ih je nakon utrke trećina imala klinički nisku razinu testosterona.⁴⁷ Veći broj istraživanja pokazao je da u trkača koji pretrče više od 100 km tjedno postoje smanjene razine testosterona za 10% do 30% u odnosu na kontrolnu skupinu.⁹⁰ S druge strane, u istraživanjima koja su analizirala trkače koji trče manje od 100 km tjedno rjeđe su utvrđene niže razine testosterona u odnosu na kontrolnu skupinu.⁹⁰ Stoga de Souza i Miller pretpostavljaju da do promjena reproduktivnog sustava dolazi kod trkača koji tjedno pretrče više od 100 km.¹⁹ Wheeler i suradnici utvrdili su negativnu korelaciju između razine ukupnog testosterona i količine pretrčanih kilometara.¹⁰¹ Nadalje, smanjene razine testosterona uočene su i u veslača, triatlonaca i biciklista.^{66,84,97}

Osim smanjenih razina testosterona, u sportaša čiji se sportovi temelje na izdržljivosti uočeni su i drugi endokrini poremećaji. Zabilježene su smanjene amplitude i frekvencija pulsog lučenja LH.⁶⁵ Određena istraživanja ukazuju da su povišene razine kortizola povezane s nižim razinama testosterona.⁴⁷ Ranije spomenuto istraživanje tijekom uvježbavanja vojnika s dnevnim kalorijskim unosom od oko 1100 kcal pokazalo je smanjenje koncentracije LH i testosterona nakon osam tjedana na klinički niske razine.³⁵ Dodatak prehrani od 400 kcal dnevno spriječio je promjene razine i LH i testosterona. Nadalje, po završetku treninga unutar tjedan dana došlo je do oporavka razine testosterona i LH u svim skupinama.³⁵ Istraživanje provedeno u sklopu vojnih priprema za bitku uključilo je ispitanike kod kojih je energetski manjak iznosio oko 1800 kcal dnevno.³⁹ Nakon pet dana uočena je značajno snižena razina testosterona, inzulina i leptina, dok su adrenalin i dopamin bili povišeni.³⁹ Chan i suradnici pokazali su kako primjena leptina u muškaraca tijekom gladovanja čuva funkciju osovine H-H-G te razina testosterona i pulsatilnost LH ostaju u granicama normale.¹⁴ Nattiv i suradnici navode da je više istraživanja ukazalo na oporavak spolnih hormona u sportaša nakon normalizacije prehrane ili smanjenja razine vježbanja koja je dovela do poremećaja.⁷⁰

Roberts i suradnici pokazali su kako u dugoprugaša osim smanjenih razina testosterona dolazi i do smanjenog broja spermija za čak 43%.⁸⁰ Vaamonde i suradnici pokazali su da Ironman triatlonci imaju značajno nižu koncentraciju spermija, manji ukupan broj spermija te manji postotak normalnih oblika spermija u usporedbi s rekreativnim i trkačima natjecateljima.⁹⁵ De Souza i suradnici utvrdili su da u dugoprugaša postoji smanjen motilitet spermija, povećan broj nezrelih spermija i smanjena funkcija

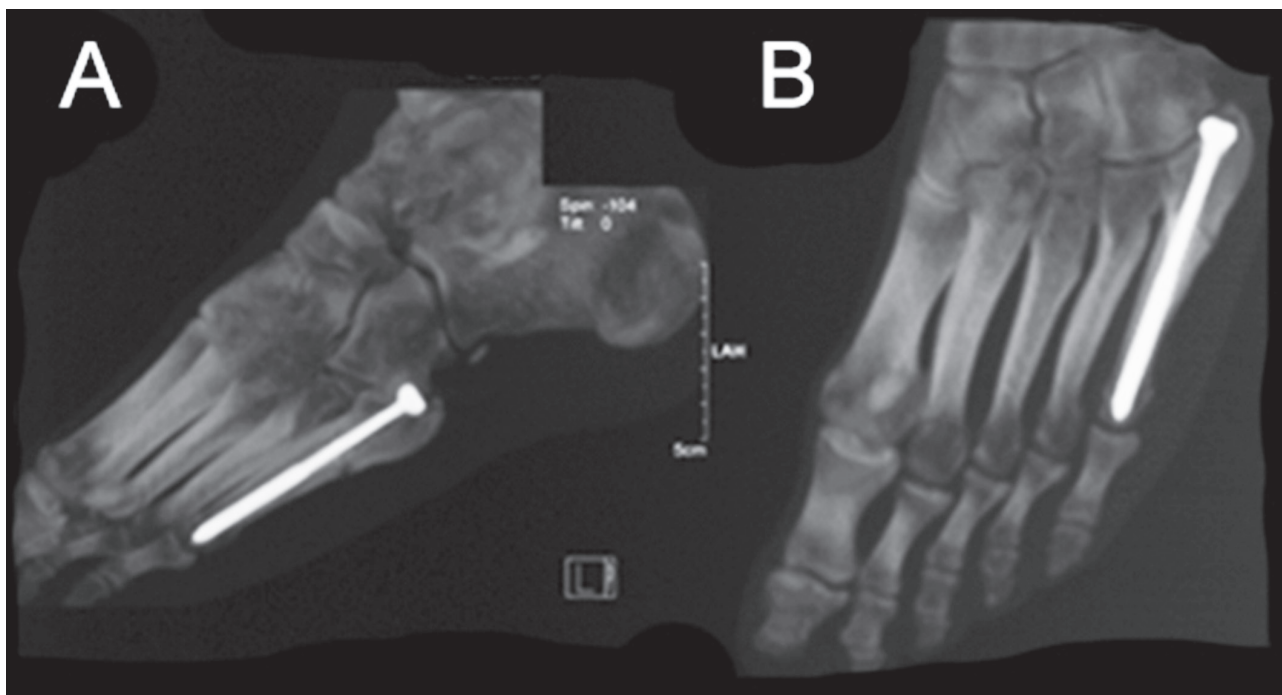
u usporedbi s trkačima koji trče srednje udaljenosti.¹⁸ Osim toga, dokazana je povezanost seksualne funkcije i testosterona.³⁶ Intenzitet i trajanje treninga povezani su s libidom tako da oni koji imaju sniženi intenzitet i trajanje treninga imaju normalan ili povećan libido, dok oni koji su u intenzivnijem i dugotrajnijem trenažnom procesu imaju smanjeni libido.⁴² Nattiv i suradnici navode kako se spolne funkcije i spermatogeneza oporavljaju ubrzo nakon prestanka pretjeranog treniranja.⁷⁰

NARUŠENO ZDRAVLJE KOSTIJU

Za sportaše je vrlo bitno tijekom razvoja steći, a kasnije i održavati zadovoljavajuću koštanu masu da bi imali optimalnu snagu kostiju i otpornost na prijelome.⁹⁰ Među opisanim čimbenicima koji utječu na koštanu masu najizraženija je genetika, no prehrana i vježbanje također imaju značajnu ulogu.⁷² Tijekom razvoja vrlo je važno mehaničko opterećenje kostiju, osobito tijekom drugog desetljeća života unutar kojega dolazi gotovo do udvostručenja koštane mase.⁹⁰ Većina muškaraca dolazi do najviše razine koštane mase do dobi od 20 godina, dok je razdoblje najizraženijeg razvoja između 13 i 15 godina.⁴⁴ Wolffov zakon govori kako kost odgovara na silu i istovremeno započinje svoju prilagodbu na djelovanje sile.¹⁰⁶ U sportovima koji sadrže aktivnosti s izraženim opterećenjima i u kojima sile na kost djeluju iz više različitih smjerova dolazi do pojačanog razvoja mineralizacije kosti.^{23,91} Sportaši koji se bave takvim sportovima, poput košarke, nogometa ili borilačkih vještina, imaju povećanu koštanu masu u odnosu na populaciju iste dobi.^{23,90,91} Stoga neka istraživanja predlažu bavljenje sportovima s loptom ili drugim sportovima visokog intenziteta uz varijabilne smjerove opterećenja kosti tijekom rane adolescencije u trajanju od barem dvije godine kako bi koštana masa bila što veća i da bi se spriječili potencijalni prijelomi zamora u budućnosti.^{16,68,92}

S druge strane, sportaši čije je opterećenje na kosti ponavljajuće, slabijeg intenziteta i manje raznoliko, poput onoga u sportovima izdržljivosti, često imaju koštanu masu poput one u populacije iste dobi, a nerijetko te vrijednosti budu i niže.⁹⁰ Nadalje, osteoporoza i veći rizik od nastanka prijeloma zamora opisani su u sportaša čiji sport zahtijeva izdržljivost ili kontrolu tjelesne težine.^{56,92} Opisani čimbenici rizika za smanjenu koštanu masu jesu nedostatna količina energije, niska tjelesna težina (manja od 85% očekivane tjelesne težine), hipogonadizam, trčanje više od 50 km tjedno i prethodni prijelomi zamora (slika 2).⁴

Dolan i suradnici opisali su smanjenu koštanu masu u jahača u usporedbi s boksačima, iznoseći hipotezu kako je uzrok tomu nedostatna količina energije.²⁵ I u biciklista je ustanovljena smanjena koštana masa, osobito u području lumbalne kralježnice.^{74,83,87} Kad se procjenjuje koštano zdravlje u sportaša najčešće se koristi Z-vrijednost koštane gustoće, što označava usporedbu s prosječnom gustoćom kosti u populacije iste životne dobi.^{61,72} Tenforde



Slika 2. Postoperativni rendgenogrami lijevog stopala nogometaša s prijelomom zamora baze pete metatarzalne kosti: A) lateralni i B) anteroposteriorni rendgenogram stopala s vidljivom prijelomnom pukotinom baze 5. metatarzalne kosti koja je liječena osteosintezom maleolarnim vijkom

Figure 2. Postoperative radiographs of the left foot of the soccer player with a stress fracture of the basis of the fifth metatarsal bone: A) lateral and B) anteroposterior radiograph of the foot with a visible fracture on the basis of the fifth metatarsal bone that was treated by osteosynthesis with a malleolar screw

i suradnici ukazuju da su čak devetorica od 42 trkača imala Z-vrijednost -1 ili manju, naglašavajući da su ključni rizični čimbenici za takav rezultat bili indeks tjelesne mase manji od $17,5 \text{ kg/m}^2$ i uvjerenje trkača da zbog mršavosti imaju bolju brzinu.⁹² Nadalje, u sportaša je ustanovljeno da je manji indeks tjelesne mase povezan s većim rizikom od nastanka prijeloma zamora.⁵⁸

Opisano je da smanjena razina testosterona i drugih spolnih hormona može biti povezana s nižim vrijednostima mineralne gustoće kostiju.^{8,10} U trkača je pokazano kako mineralna gustoća kostiju u lumbalnim kralješcima nije u svezi s vrstom i količinom treninga, već ovisi o metaboličkim i energetske čimbenicima poput hipogonadizma i nedostatnoj količini energije.⁸⁹ S druge strane, u vratu bedrene kosti mehanički utjecaji značajno utječu na mineralnu gustoću kosti.⁸⁹ U skupine veslača opisana je smanjena vrijednost testosterona uz očuvanu mineralnu gustoću kostiju.⁹⁷ No, ako je razina testosterona bila veća i mineralna gustoća kostiju imala je veće vrijednosti. Nadalje, usporedbom gustoće kosti kalkaneusa dugoprugaša i kontrolne skupine utvrđeno je da dugoprugaši imaju značajno veću gustoću kostiju.³³ Ovo ukazuje na važnost mehaničkog opterećenja koje može potisnuti i nadvladati učinak hormona na kosti. Stoga za svakog sportaša treba detaljno razmotriti mjesto na kojem se provodi analiza mineralne gustoće kostiju. Iz navedenog proizlazi da je smanjena razina spolnih hormona

i nedostatna količina energije blisko povezana sa zdravljem kostiju, no često vrsta mehaničkog opterećenja koje sport zahtijeva mijenja njihove učinke na kosti ovisno o lokaciji na koju djeluje.⁹⁰

Prema jednom istraživanju, čak 27% trkača zadobilo je barem jedan prijelom zamora tijekom razdoblja od 1,9 godina.⁵⁶ Pozitivna anamneza na prijelome zamora povezana je s povećanom incidencijom novih prijeloma zamora u trkača.⁷⁰ Nattiv i suradnici ustanovili su da su dugoprugaši koji su imali veći broj tzv. trabekularnih prijeloma zamora (vrat bedrene kosti, stidna kost, sakrum) u usporedbi s onima s tzv. kortikalnim prijelomima zamora ujedno imali i značajno smanjenu mineralnu gustoću kostiju u području lumbalne kralježnice i vrata bedrene kosti.⁷¹ Dokazan je kumulativni učinak povećanog broja čimbenika rizika za muški atletski trijas na prognozu zdravlja kostiju kod sportaša.⁷⁰ Zbog toga je njihovo utvrđivanje ključno u prevenciji težih ishoda za zdravlje kostiju.

PREVENCIJA MUŠKOGA ATLETSKOG TRIJASA

Budući da nastanak muškoga atletskog trijasa ovisi o nedostatnoj količini energije, poticanje sportaša na uzimanje zadovoljavajuće količine kalorija tijekom dana kako bi osigurali dovoljno energije za održavanje muskuloskeletnog zdravlja od ključnog je značaja.³⁴ Također, preporučuje im

se unos suplemenata poput vitamina D i kalcija. Prevencija se temelji na dobroj edukaciji sportaša i preporukama da djeluju proaktivno prije pojave kliničkih simptoma.³⁴ Bitno je educirati mlade sportaše u dobi razvoja koštane mase kako bi se optimalno razvili. Osobito je važno educirati sportaše koji se bave sportovima u kojima se češće bilježi pojava muškoga atletskog trijasa. Preporučuje se izbjegavanje ranog usmjeravanja u samo jedan sport, pogotovo ako se radi o sportu izdržljivosti, kako bi se izbjegao nastanak sindroma prenapreznosti i nezadovoljavajući razvoj muskuloskeletnog sustava.²⁴

PROBIR ZA MUŠKI ATLETSKI TRIJAS

Skupine pod rizikom za razvoj muškoga atletskog trijasa jesu adolescenti i mladi sportaši čiji sport se temelji na izdržljivosti i/ili zahtijeva kontrolu tjelesne težine.³⁴ U literaturi je najviše takvih slučajeva opisano među dugoprugašima, biciklistima i jahačima.^{5,25,33,51,71,73,74,79,89,105} Probir bi trebao započeti krajem osnovne škole i u srednjoj školi te bi se trebao nastaviti i nakon završetka srednje škole. Cilj probira je osigurati optimalan razvoj koštanog tkiva. Probir bi se trebao vršiti u sklopu pregleda prije sudjelovanja na natjecanjima, odnosno tijekom redovitih sistematskih pregleda sportaša.³⁴ Nadalje, probir bi se trebao vršiti i kada se pojavi bilo koje zdravstveno stanje koje se može povezati uz nastanak muškoga atletskog trijasa. Koalicija za ženski i muški atletski trijas predložila je pitanja za probir koja se nalaze u tablici 1.³⁴

Također, razvijen je i alat za izračunavanje kumulativnog rizika za nastanak muškoga atletskog trijasa (tablica 2).³⁴ Ako ukupni kumulativni rizik iznosi 0 – 1 to govori da je rizik za nastanak muškoga atletskog trijasa nizak i sportaš nema ograničenja u bavljenju sportom. Ako je kumulativni rizik 2 – 3 radi se o umjerenom riziku i sportaš dobiva ili djelomično ili potpuno dopuštenje za bavljenjem sportom

Tablica 1. Predložena pitanja za probir muškoga atletskog trijasa³⁴
Table 1. Questionnaire for Male Athlete Triad screening³⁴

Pitanja za probir muškoga atletskog trijasa
1. Zabrinjava li Vas Vaša tjelesna težina?
2. Pokušavate li ili Vam je netko preporučio da dobijete/ izgubite na tjelesnoj težini?
3. Jeste li na posebnoj dijeti, ili izbjegavate određenu vrstu hrane?
4. Jeste li ikada imali poremećaj prehrane?
5. Jeste li ikada imali prijelom zamora?
6. Jeste li ikada imali dijagnostificirane niske razine testosterona u krvi?*
7. Imate li smanjeni libido (seksualni nagon)?*
8. Imate li jutarnje erekcije?*
9. Morate li sve rjeđe brijati bradu i brkove?*

*Navedena pitanja uključuju se u probir ako je sportaš prošao kroz razdoblje puberteta.

uz obvezne redovite kontrole liječnika, dok ako kumulativni rizik iznosi 4 i više bodova govorimo o visokom riziku koji zahtjeva potpunu obustavu treninga i natjecanja.

DIJAGNOSTICIRANJE MUŠKOGA ATLETSKOG TRIJASA

Muški atletski trijas, kao što je ranije spomenuto, može se očitovati cijelim spektrom simptoma koji se baziraju na tri međusobno povezana stanja. Također, nije uvijek nužno da se sva tri stanja očituju u isto vrijeme, no pojava svakog od ovih stanja zahtjeva brzu i temeljitu procjenu zdravlja sportaša.³⁴ Dijagnozu najuspješnije postavlja multidisciplinarni medicinski tim, koji se sastoji od liječnika, nutricionista i zdravstvenog radnika zaduženog za mentalno zdravlje. U tim mogu biti uključeni treneri, roditelji, ali i drugi specijalisti poput endokrinologa, ovisno o simptomima

Tablica 2. Alat za izračunavanje kumulativnog rizika za nastanak muškoga atletskog trijasa³⁴
Table 2. Cumulative risk assessment tool for male athlete triad³⁴

Faktor rizika	Nizak rizik = 0 bodova svaki	Umjereni rizik = 1 bod svaki	Visoki rizik = 2 boda svaki
Nedostatna količina energije	Bez ograničenja prehrane	Određena ograničenja u prehrani; trenutni ili prošli poremećaj prehrane	Poremećaj prehrane prema kriterijima DSM-5
Nizak BMI	BMI > 18,5 u odraslih ili > 90% medijana BMI za dob ili stabilna težina	BMI 17,5 – 18,5 u odraslih ili 86 – 89% medijana BMI za dob ili 5 – 10% izgubljene težine u godini dana	BMI < 17,5 u odraslih ili < 85% medijana BMI za dob ili >10% izgubljene tjelesne težine u godini dana
Niska BMD	Z-vrijednost > -1,0	Z-vrijednost između -1,0 i -2,0	Z-vrijednost < -2,0
Prijelom zamora	Nijedan	1	2 ili 1 visokog rizika/ trabekularne kosti
Kumulativni rizik	___ bodova	___ bodova	___ bodova = ___ ukupno

Kratice: DSM = Diagnostic and statistical manual of mental disorders, BMI = indeks tjelesne mase, BMD = mineralna gustoća kostiju

sportaša.³⁴ U tijeku detaljnog uzimanja anamneze ispituju se prehrambene navike, promjene u tjelesnoj težini, željena tjelesna težina i način postizanja željene tjelesne težine. Također, bitno je ustanoviti prethodne bolesti ili ozljede sportaša. Dio pitanja odnosi se i na seksualnu disfunkciju, smanjeni libido i smanjenu potrebu za brijanjem brade i brkova.³⁴ Potrebno je saznati prethodnu povijest prijeloma zamora ili općenito prijeloma te mentalno stanje sportaša, odnosno boluje li od depresije, anksioznosti, bipolarnog poremećaja, opsesivno-kompulzivnog poremećaja ili bilo kakvih poremećaja prehrane. Nadalje, važno je ustanoviti uzima li sportaš neke lijekove koji dugoročno mogu utjecati na zdravlje, poput kortikosteroida koji mogu utjecati na zdravlje kostiju, antidepresiva koji mogu utjecati na libido, odnosno lijekova koji mogu smanjiti apetit i uzrokovati gubitak tjelesne težine poput onih koji se koriste u poremećajima hiperaktivnosti. Također, važno je ustanoviti postoji li od ranije zabilježeno stanje hipotiroidizma, hiperprolaktinemije ili hipogonadizma.³⁴ Svakako se preporučuje korištenje alata za izračunavanje kumulativnog rizika za nastanak muškoga atletskog trijasa (tablica 2).³⁴ Ako postoji sumnja na muški atletski trijas, preporučuje se učiniti laboratorijske pretrage (tablica 3).³⁴

Tablica 3. Preporučena laboratorijska obrada s ciljem utvrđivanja postojanja muškoga atletskog trijasa³⁴

Table 3. Recommended laboratory tests for Male Athlete Triad assessment³⁴

Potpuna krvna slika
Prošireni metabolički panel
25-OH vitamin D
Ukupni i slobodni testosteron
TSH
Slobodni T4
Ukupni i slobodni T3
Ako razina testosterona ima niske 2vrijednosti ili se nalazi u sivoj zoni (8 – 12 nmol/L):
LH
FSH
Prolaktin
Fe, UIBC, TIBC, feritin
CRP i SE

Kod kliničkog pregleda pri sumnji na poremećaj prehrane može se ustanoviti bradikardija, ortostatska hipotenzija, dentalne erozije, lanugo dlačice, otekline parotidnih žlijezda, kalusi po proksimalnim interfalangealnim zglobovima.^{20,21} Nažalost, vrlo je teško ustanoviti nedostatnu količinu energije u sportaša budući da ona često ovisi o samoprocjeni energetskog unosa hranom, potrebama treninga i zalihama tijela. Kao indirektni pokazatelj često

se uzima indeks tjelesne mase < 18,5, odnosno kod djece i adolescenata procjenjuje se indeks tjelesne mase u odnosu na medijan vrijednosti indeksa tjelesne mase prema dobi.¹ Nedostatni unos može se očitovati i u gubitku tjelesne težine ili promjenama očekivanog rasta i razvoja.^{38,57} Svakako je važno naglasiti da stabilna tjelesna težina ne znači nužno kako je i energetski unos zadovoljavajuć, jer u određenim stanjima dolazi do potiskivanja fizioloških i metaboličkih funkcija pa se tjelesna težina ne smanjuje.^{20,21} Također, smanjena vrijednost određenih laboratorijskih parametara poput T3 može ukazati na nedostatnu količinu energije.

Hipogonadizam se definira kao snižena razina testosterona i/ili poremećaj spermatogeneze uz simptome koji se mogu pripisati smanjenoj razini testosterona.^{3,9} Simptomi su smanjeni libido, erektilna disfunkcija, neplodnost, smanjena potreba za brijanjem brade i brkova, ginekomastija, nastanak prijeloma kosti pri manjim ozljedama, smanjena mineralna gustoća kostiju, smanjena mišićna masa i snaga mišića, nedostatak motivacije i energije, depresija, slaba koncentracija, poremećaji spavanja i oslabljeni rezultati na natjecanjima.^{3,6,9,13,17,22,40} Sportaši koji imaju funkcionalni hipogonadotropni hipogonadizam koji nastaje kao poremećaj koji nije uzrokovan organskim ili strukturalnim oštećenjima uglavnom imaju niske razine testosterona uz niske i normalne vrijednosti LH i FSH.^{6,9,17,32} Važno je isključiti druge uzroke hipogonadizma poput genetskih, korištenja lijekova ili dodataka prehrani (npr. anabolički steroidi). U određenim situacijama potrebno je učiniti i magnetsku rezonanciju hipofize ako bolesnik ima hiperprolaktinemiju.³⁴

U sportaša se za koštano zdravlje kao prag za smanjenu razinu mineralizirane koštane gustoće koristi Z vrijednost < -1 s obzirom na veći rizik nastanka prijeloma zamora ili drugih vrsta prijeloma i na dodatne čimbenike rizika i pojačanu fizičku aktivnost.³⁴ U onih sportaša koji imaju jedan ili više čimbenika visokog rizika te u onih koji imaju dva ili više čimbenika umjerenog rizika potrebno je provesti denzitometriju. Također, denzitometrija se preporučuje i kod sportaša koji uzimaju lijekove koji mogu utjecati na mineralnu gustoću kostiju. Najčešće se kontrolni pregledi u sportaša pod rizikom ili u procesu liječenja provode svake godine ili svake dvije godine. Ako se ustanovi snižena mineralna gustoća kostiju, potrebno je ustanoviti ima li bolesnik hipogonadizam, značajan deficit vitamina D, uzima li lijekove štetne za metabolizam kosti poput kortikosteroida i ima li malapsorpcijski sindrom ili druge genetske ili sistemske bolesti.³⁴

LIJEČENJE MUŠKOGA ATLETSKOG TRIJASA

Liječenje se temelji na poboljšanju energetskog statusa sportaša s ciljem osiguravanja zadovoljavajućih količina energije za sportske zahtjeve koje sportaš ima. S obzirom na to da u sportaša rjeđe postoje poremećaji prehrane, oni često lakše prihvaćaju promjene u planu prehrane u

usporedbi sa sportašicama. Ako se korekcija energetskeg statusa ne može postići isključivo povećanjem energetskeg unosa, preporučuje se modifikacija i smanjenje intenziteta treninga. Opisano je kako sportaši često mogu biti pod rizikom od premalog unošenja ugljikohidrata, a također bi trebali uzimati preporučene dnevne doze kalcija, vitamina D, željeza, B vitamina i magnezija.^{11,12,46,52,75,81,93,99} Preporučuje se da se energetskeg unos povećava postupno, otprilike uz dodatnih 300 do 500 kcal po danu, što sportaši lakše podnose od naglih povećanja unosa. Navedeno se postiže dodavanjem jednog do dva manja obroka dnevno ili nadopunom već ranije predviđenih obroka. Također, sportaše se potiče da uzimaju male obroke nakon treninga koji sadrže veći udio ugljikohidrata i bjelančevina. U obzir treba uzeti i obroke prije vježbanja te izbjegavati preskakanje obroka ili duge periode gladovanja jer utječu na metabolizam i usporavaju ga.⁹⁴ Ako je ustanovljen manjak vitamina D, predlaže se suplementacija i održavanje razine

iznad 32 ng/mL.³⁴ Također, predlaže se i suplementacija kalcijem od 1300 mg dnevno za djecu i adolescente do 18 godina i 1000 mg dnevno za one od 19 do 70 godina.⁸¹

Najčešće se stanje u sportaša poboljša bez primjene farmakološke terapije. U sportaša u kojih se nakon godinu dana ne uspije poboljšati stanje mineralne gustoće kostiju ili ako sportaši zadobiju prijelom tijekom nefarmakološkog liječenja, započinje se farmakoterapija. U ovom slučaju obično se upućuje sportaše na liječenje i obradu specijalistu endokrinologu. On dalje razmatra upotrebu zamjenske terapije testosteronom, teriparatidom, bisfosfonatima ili drugim antiresorptivnim lijekovima.

Još uvijek nisu točno definirane smjernice kada se sportaš može vratiti sportskim aktivnostima, već se odluka temelji na procjeni cijelog tima uključenog u liječenje. Pri odluci pomažu alati za procjenu rizika za nastanak muškoga atletskog trijasa.

Literatura

1. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee. World Health Organ Tech Rep Ser. 1995;854:1–452.
2. Arce JC, De Souza MJ, Pescatello LS i sur. Subclinical alterations in hormone and semen profile in athletes. *Fertil Steril*. 1993;59(2):398–404.
3. Arver S, Lehtihet M. Current guidelines for the diagnosis of testosterone deficiency. *Front Horm Res*. 2009;37:5–20.
4. Barrack MT, Fredericson M, Tenforde AS i sur. Evidence of a cumulative effect for risk factors predicting low bone mass among male adolescent athletes. *Br J Sports Med*. 2017;51(3):200–5.
5. Barry DW, Kohrt WM. BMD decreases over the course of a year in competitive male cyclists. *J Bone Miner Res*. 2008;23(4):484–91.
6. Basaria S. Male hypogonadism. *Lancet*. 2014;383(9924):1250–63.
7. Beals KA, Manore MM. Nutritional status of female athletes with subclinical eating disorders. *J Am Diet Assoc*. 1998;98(4):419–25.
8. Bennell KL, Brukner PD, Malcolm SA. Effect of altered reproductive function and lowered testosterone levels on bone density in male endurance athletes. *Br J Sports Med*. 1996;30(3):205–8.
9. Bhasin S, Brito JP, Cunningham GR i sur. Testosterone therapy in men with hypogonadism: an endocrine society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab*. 2018;103(5):1715–44.
10. Bilanin JE, Blanchard MS, Russek-Cohen E. Lower vertebral bone density in male long distance runners. *Med Sci Sports Exerc*. 1989;21(1):66–70.
11. Burke LM, Loucks AB, Broad N. Energy and carbohydrate for training and recovery. *J Sports Sci*. 2006;24(7):675–85.
12. Burke LM, Slater G, Broad EM i sur. Eating patterns and meal frequency of elite Australian athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2003;13(4):521–38.
13. Buvat J, Maggi M, Guay A i sur. Testosterone deficiency in men: systematic review and standard operating procedures for diagnosis and treatment. *J Sex Med*. 2013;10(1):245–84.
14. Chan JL, Heist K, DePaoli AM i sur. The role of falling leptin levels in the neuroendocrine and metabolic adaptation to short-term starvation in healthy men. *J Clin Invest*. 2003;111(9):1409–21.
15. Chatterton JM, Petrie TA. Prevalence of disordered eating and pathogenic weight control behaviors among male collegiate athletes. *Eat Disord*. 2013;21(4):328–41.
16. Chen YT, Tenforde AS, Fredericson M. Update on stress fractures in female athletes: epidemiology, treatment, and prevention. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2013;6(2):173–81.
17. Davidiuk AJ, Broderick GA. Adult-onset hypogonadism: evaluation and role of testosterone replacement therapy. *Transl Androl Urol*. 2016;5(6):824–33.
18. De Souza MJ, Arce JC, Pescatello LS i sur. Gonadal hormones and semen quality in male runners. A volume threshold effect of endurance training. *Int J Sports Med*. 1994;15(7):383–91.
19. De Souza MJ, Miller BE. The effect of endurance training on reproductive function in male runners. A 'volume threshold' hypothesis. *Sports Med*. 1997;23(6):357–74.
20. De Souza MJ, Nattiv A, Joy E i sur. 2014 FeMale Athlete Triad Coalition consensus statement on treatment and return to play of the feMale Athlete Triad: 1st International Conference held in San Francisco, CA, May 2012, and 2nd International Conference held in Indianapolis, IN, May 2013. *Clin J Sport Med*. 2014;24(2):96–119.
21. De Souza MJ, Nattiv A, Joy E i sur. 2014 FeMale Athlete Triad Coalition consensus statement on treatment and return to play of the feMale Athlete Triad: 1st International Conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013. *Br J Sports Med*. 2014;48(4):289.
22. Dean JD, McMahon CG, Guay AT i sur. The International Society for Sexual Medicine's process of care for the assessment and management of testosterone deficiency in adult men. *J Sex Med*. 2015;12(8):1660–86.
23. Dias Quiterio AL, Carnero EA, Baptista FM i sur. Skeletal mass in adolescent male athletes and nonathletes: relationships with high-impact sports. *J Strength Cond Res*. 2011;25(12):3439–47.
24. DiFiori JP, Benjamin HJ, Brenner J i sur. Overuse injuries and burnout in youth sports: a position statement from the American Medical Society for Sports Medicine. *Clin J Sport Med*. 2014;24(1):3–20.
25. Dolan E, Crabtree N, McGoldrick A i sur. Weight regulation and bone mass: a comparison between professional jockeys, elite amateur boxers, and age, gender and BMI matched controls. *J Bone Miner Metab*. 2012;30(2):164–70.
26. Dolan E, O'Connor H, McGoldrick A i sur. Nutritional, lifestyle, and weight control practices of professional jockeys. *J Sports Sci*. 2011;29(8):791–9.
27. Dubravcic-Simunjak S, Kuipers H, Moran J i sur. Stress fracture prevalence in elite figure skaters. *J Sports Sci Med*. 2008;7(3):419–20.
28. Dubravcic-Simunjak S, Kuipers H, Moran J i sur. Injuries in synchronized skating. *Int J Sports Med*. 2006;27(6):493–9.
29. Dubravcic-Simunjak S, Pecina M, Kuipers H i sur. The incidence of injuries in elite junior figure skaters. *Am J Sports Med*. 2003;31(4):511–7.
30. Dušek T, Ivković A, Bojanić I i sur. Poremećaj menstrualnog ciklusa kod sportašica. *Liječ Vjesn*. 2004;126(Suppl 3):18.
31. Dušek T, Kaštelan D, Pećina M. Tjelesna aktivnost u prevenciji osteoporoze. *Arh Hig Rada Toksikol*. 2012;63(Suppl 3):41–6.

32. Dwyer AA, Chavan NR, Lewkowitz-Shpuntoff H i sur. Functional hypogonadotropic hypogonadism in men: underlying neuroendocrine mechanisms and natural history. *J Clin Endocrinol Metab.* 2019;104(8):3403–14.
33. Fredericson M, Chew K, Ngo J i sur. Regional bone mineral density in male athletes: a comparison of soccer players, runners and controls. *Br J Sports Med.* 2007;41(10):664–8.
34. Fredericson M, Kussman A, Misra M i sur. The Male Athlete Triad-A consensus statement from the Female and Male Athlete Triad Coalition part II: diagnosis, treatment, and return-to-play. *Clin J Sport Med.* 2021;31(4):349–66.
35. Friedl KE, Moore RJ, Hoyt RW i sur. Endocrine markers of semistarvation in healthy lean men in a multistressor environment. *J Appl Physiol* (1985). 2000;88(5):1820–30.
36. Gannon JR, Walsh TJ. Testosterone and sexual function. *Urol Clin North Am.* 2016;43(2):217–22.
37. Geesmann B, Gibbs JC, Mester J i sur. Association between energy balance and metabolic hormone suppression during ultraendurance exercise. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12(7):984–9.
38. Golden NH, Katzman DK, Sawyer SM i sur. Position paper of the Society for Adolescent Health and Medicine: medical management of restrictive eating disorders in adolescents and young adults. *J Adolesc Health.* 2015;56(1):121–5.
39. Gomez-Merino D, Chennaoui M, Drogou C i sur. Decrease in serum leptin after prolonged physical activity in men. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(10):1594–9.
40. Hackett G, Kirby M, Edwards D i sur. British Society for Sexual Medicine guidelines on adult testosterone deficiency, with statements for UK Practice. *J Sex Med.* 2017;14(12):1504–23.
41. Hackney AC, Fahrner CL, Gulledge TP. Basal reproductive hormonal profiles are altered in endurance trained men. *J Sports Med Phys Fitness.* 1998;38(2):138–41.
42. Hackney AC, Lane AR, Register-Mihalik J i sur. Endurance exercise training and male sexual libido. *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(7):1383–8.
43. Hackney AC, Sinning WE, Bruot BC. Reproductive hormonal profiles of endurance-trained and untrained males. *Med Sci Sports Exerc.* 1988;20(1):60–5.
44. Heaney RP, Abrams S, Dawson-Hughes B i sur. Peak bone mass. *Osteoporos Int.* 2000;11(12):985–1009.
45. Heydenreich J, Kayser B, Schutz Y i sur. Total energy expenditure, energy intake, and body composition in endurance athletes across the training season: a systematic review. *Sports Med Open.* 2017;3(1):8.
46. Hinton PS, Sanford TC, Davidson MM i sur. Nutrient intakes and dietary behaviors of male and female collegiate athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2004;14(4):389–405.
47. Hooper DR, Kraemer WJ, Stearns RL i sur. Evidence of the exercise-hypogonadal male condition at the 2011 Kona Ironman World Championships. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019;14(2):170–5.
48. Ihle R, Loucks AB. Dose-response relationships between energy availability and bone turnover in young exercising women. *J Bone Miner Res.* 2004;19(8):1231–40.
49. Ivković A, Bojanić I, Ivković M. Trijas sportašica. *Liječ Vjesn.* 2001;123(7-8):200–6.
50. Ivković A, Franić M, Bojanić I, i sur. Overuse injuries in female athletes. *Croat Med J.* 2007;48(6):767–78.
51. Jackson KA, Sanchez-Santos MT, MacKinnon AL i sur. Bone density and body composition in newly licenced professional jockeys. *Osteoporos Int.* 2017;28(9):2675–82.
52. Jenner SL, Trakman G, Coutts A i sur. Dietary intake of professional Australian football athletes surrounding body composition assessment. *J Int Soc Sports Nutr.* 2018;15(1):43.
53. Kandemir N, Becker K, Slattery M i sur. Impact of low-weight severity and menstrual status on bone in adolescent girls with anorexia nervosa. *Int J Eat Disord.* 2017;50(4):359–69.
54. Koehler K, Achtzehn S, Braun H i sur. Comparison of self-reported energy availability and metabolic hormones to assess adequacy of dietary energy intake in young elite athletes. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2013;38(7):725–33.
55. Koehler K, Hoerner NR, Gibbs JC i sur. Low energy availability in exercising men is associated with reduced leptin and insulin but not with changes in other metabolic hormones. *J Sports Sci.* 2016;34(20):1921–9.
56. Kraus E, Tenforde AS, Nattiv A i sur. Bone stress injuries in male distance runners: higher modified Female Athlete Triad Cumulative Risk Assessment scores predict increased rates of injury. *Br J Sports Med.* 2019;53(4):237–42.
57. Kuczmariski RJ, Ogden CL, Grummer-Strawn LM i sur. CDC growth charts: United States. *Adv Data.* 2000(314):1–27.
58. Kussman A, Fredericson M, Kraus E i sur. Risk factors for bone stress injuries in NCAA division I collegiate distance runners: a 3 year retrospective study. *Clin J Sport Med.* 2015;25(2):195.
59. Leibel RL, Hirsch J. Diminished energy requirements in reduced-obese patients. *Metabolism.* 1984;33(2):164–70.
60. Leibel RL, Rosenbaum M, Hirsch J. Changes in energy expenditure resulting from altered body weight. *N Engl J Med.* 1995;332(10):621–8.
61. Lewiecki EM, Gordon CM, Baim S i sur. International Society for Clinical Densitometry 2007 adult and pediatric official positions. *Bone.* 2008;43(6):1115–21.
62. Loucks AB, Heath EM. Induction of low-T3 syndrome in exercising women occurs at a threshold of energy availability. *Am J Physiol.* 1994;266(3 Pt 2):R817–23.
63. Loucks AB, Thuma JR. Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. *J Clin Endocrinol Metab.* 2003;88(1):297–311.
64. Lun V, Erdman KA, Reimer RA. Evaluation of nutritional intake in Canadian high-performance athletes. *Clin J Sport Med.* 2009;19(5):405–11.

65. MacConnie SE, Barkan A, Lampman RM i sur. Decreased hypothalamic gonadotropin-releasing hormone secretion in male marathon runners. *N Engl J Med.* 1986;315(7):411–7.
66. Maïmoun L, Lumbroso S, Manetta J i sur. Testosterone is significantly reduced in endurance athletes without impact on bone mineral density. *Horm Res.* 2003;59(6):285–92.
67. McColl EM, Wheeler GD, Gomes P i sur. The effects of acute exercise on pulsatile LH release in high-mileage male runners. *Clin Endocrinol (Oxf).* 1989;31(5):617–21.
68. Milgrom C, Simkin A, Eldad A i sur. Using bone's adaptation ability to lower the incidence of stress fractures. *Am J Sports Med.* 2000;28(2):245–51.
69. Moore JM, Timperio AF, Crawford DA i sur. Weight management and weight loss strategies of professional jockeys. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2002;12(1):1–13.
70. Nattiv A, De Souza MJ, Koltun KJ i sur. The Male Athlete Triad—a consensus statement from the Female and Male Athlete Triad Coalition part 1: definition and scientific basis. *Clin J Sport Med.* 2021;31(4):335–48.
71. Nattiv A, Kennedy G, Barrack MT i sur. Correlation of MRI grading of bone stress injuries with clinical risk factors and return to play: a 5-year prospective study in collegiate track and field athletes. *Am J Sports Med.* 2013;41(8):1930–41.
72. Nattiv A, Loucks AB, Manore MM i sur. American College of Sports Medicine position stand. The Female Athlete Triad. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(10):1867–82.
73. Nichols JF, Palmer JE, Levy SS. Low bone mineral density in highly trained male master cyclists. *Osteoporos Int.* 2003;14(8):644–9.
74. Nichols JF, Rauh MJ. Longitudinal changes in bone mineral density in male master cyclists and nonathletes. *J Strength Cond Res.* 2011;25(3):727–34.
75. Nielsen FH, Lukaski HC. Update on the relationship between magnesium and exercise. *Magnes Res.* 2006;19(3):180–9.
76. Onywera VO, Kiplamai FK, Boit MK i sur. Food and macronutrient intake of elite Kenyan distance runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2004;14(6):709–19.
77. Papageorgiou M, Elliott-Sale KJ, Parsons A i sur. Effects of reduced energy availability on bone metabolism in women and men. *Bone.* 2017;105:191–9.
78. Pećina M, Bojanić I. *Overuse Injuries of the Musculoskeletal System*, 2nd Ed. Boca Raton-London-New York-Washington (DC): CRC Press, 2004.
79. Penteadó V, Castro CHM, Pinheiro MM i sur. Diet, body composition, and bone mass in well-trained cyclists. *J Clin Densitom.* 2010;13(1):43–50.
80. Roberts AC, McClure RD, Weiner RI i sur. Overtraining affects male reproductive status. *Fertil Steril.* 1993;60(4):686–92.
81. Ross AC, Taylor CL, Yaktine AL i sur., ur. *Dietary reference intakes for calcium and vitamin D*. Washington (DC): National Academies Press, 2011.
82. Singhal V, de Lourdes Eguiguren M, Eisenbach L i sur. Body composition, hemodynamic, and biochemical parameters of young female normal-weight oligo-amenorrheic and eumenorrheic athletes and nonathletes. *Ann Nutr Metab.* 2014;65(4):264–71.
83. Smathers AM, Bembien MG, Bembien DA. Bone density comparisons in male competitive road cyclists and untrained controls. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(2):290–6.
84. Smith R, Rutherford OM. Spine and total body bone mineral density and serum testosterone levels in male athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1993;67(4):330–4.
85. Smoljanovic T, Bojanic I, Hannafin JA i sur. Traumatic and overuse injuries among international elite junior rowers. *Am J Sports Med.* 2009;37(6):1193–9.
86. Smoljanović T, Bojanić I, Troha I i sur. Prijelomi zbog zamora rebara u veslača: prikaz triju slučajeva i pregled literature. *Liječ Vjesn.* 2007;129(10-11):327–32.
87. Stewart AD, Hannan J. Total and regional bone density in male runners, cyclists, and controls. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(8):1373–7.
88. Sundgot-Borgen J, Torstveit MK. Prevalence of eating disorders in elite athletes is higher than in the general population. *Clin J Sport Med.* 2004;14(1):25–32.
89. Tam N, Santos-Concejero J, Tucker R i sur. Bone health in elite Kenyan runners. *J Sports Sci.* 2018;36(4):456–61.
90. Tenforde AS, Barrack MT, Nattiv A i sur. Parallels with the Female Athlete Triad in male Athletes. *Sports Med.* 2016;46(2):171–82.
91. Tenforde AS, Fredericson M. Influence of sports participation on bone health in the young athlete: a review of the literature. *PM R.* 2011;3(9):861–7.
92. Tenforde AS, Fredericson M, Sayres LC i sur. Identifying sex-specific risk factors for low bone mineral density in adolescent runners. *Am J Sports Med.* 2015;43(6):1494–504.
93. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: nutrition and athletic performance. *J Acad Nutr Diet.* 2016;116(3):501–28.
94. Torstveit MK, Fahrenholtz I, Stenqvist TB i sur. Within-day energy deficiency and metabolic perturbation in male endurance athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2018;28(4):419–27.
95. Vaamonde D, Da Silva-Grigoletto ME, García-Manso JM i sur. Response of semen parameters to three training modalities. *Fertil Steril.* 2009;92(6):1941–6.
96. van Erp-Baart AM, Saris WH, Binkhorst RA i sur. Nationwide survey on nutritional habits in elite athletes. Part I. Energy, carbohydrate, protein, and fat intake. *Int J Sports Med.* 1989;10(Suppl 1):S3–10.
97. Vinther A, Kanstrup IL, Christiansen E i sur. Testosterone and BMD in elite male lightweight rowers. *Int J Sports Med.* 2008;29(10):803–7.

98. Vogt S, Heinrich L, Schumacher YO i sur. Energy intake and energy expenditure of elite cyclists during preseason training. *Int J Sports Med.* 2005;26(8):701–6.
99. Volpe SL. Magnesium and the athlete. *Curr Sports Med Rep.* 2015;14(4):279–83.
100. Wheeler GD, Singh M, Pierce WD i sur. Endurance training decreases serum testosterone levels in men without change in luteinizing hormone pulsatile release. *J Clin Endocrinol Metab.* 1991;72(2):422–5.
101. Wheeler GD, Wall SR, Belcastro AN i sur. Are anorexic tendencies prevalent in the habitual runner? *Br J Sports Med.* 1986;20(2):77–81.
102. Williams NI, Helmreich DL, Parfitt DB i sur. Evidence for a causal role of low energy availability in the induction of menstrual cycle disturbances during strenuous exercise training. *J Clin Endocrinol Metab.* 2001;86(11):5184–93.
103. Williams NI, Leidy HJ, Hill BR i sur. Magnitude of daily energy deficit predicts frequency but not severity of menstrual disturbances associated with exercise and caloric restriction. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2015;308(1):E29–39.
104. Wilson G, Drust B, Morton JP i sur. Weight-making strategies in professional jockeys: implications for physical and mental health and well-being. *Sports Med.* 2014;44(6):785–96.
105. Wilson G, Hill J, Sale C i sur. Elite male flat jockeys display lower bone density and lower resting metabolic rate than their female counterparts: implications for athlete welfare. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2015;40(12):1318–20.
106. Wolf JH. [Julius Wolff and his “law of bone remodeling”]. *Orthopade.* 1995;24(5):378–86.
107. Yeager KK, Agostini R, Nattiv A i sur. The feMale Athlete Triad: disordered eating, amenorrhea, osteoporosis. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25(7):775–7.