

# SINERGIJA PREHRANE IN TELESNE DEJAVNOSTI

Nada Rotovnik Kozjek

**POVZETEK:** Za razumevanje vzajemne povezave med prehrano in telesno dejavnostjo ter njun vpliv na zdravje posameznika je potrebno poznati fiziološka izhodišča njihovih bioloških interakcij. Telesna dejavnost v telesu sproži stresni odziv in poveča energijsko presnovo. Odziv na telesno dejavnost je tako odvisen od izhodiščne presnovne nastavitve posameznika ter obsega, intenzivnosti in vrste telesne dejavnosti. Prehranska podpora pri telesni dejavnosti pripomore k zagotavljanju energijske in hranilne razpoložljivosti na kritičnih točkah presnovnega odziva na telesno dejavnost. To ni pomembno le za optimalno presnovno podporo med samo telesno dejavnostjo, temveč zagotavlja tudi regeneracijo, ki je izhodišče za vadbeno prilagoditvijo in v primeru elitnih športnikov tudi tekmovalno uspešnost. Fiziološke prilagoditve na vadbo tako izboljšajo presnovno zmogljivost in delovanje številnih organskih sistemov, tudi imunskega sistema. Preko teh mehanizmov prilagoditve na različne vadbene dražljaje telesne dejavnosti pripomorejo tudi k preventivi pred različnimi akutnimi in kroničnimi bolezenskimi stanji. V primeru kroničnih bolezenskih stanj pa funkcionalne, imunske in presnovne prilagoditve na telesno dejavnost pripomorejo k večji odpornosti posameznika na presnovni stres zaradi bolezni in k večji učinkovitosti terapevtskih postopkov in zdravil ter pripomorejo k učinkovitejšemu obvladovanju bremena kroničnih nenalezljivih bolezni. Zato je za izboljšanje zdravja posameznika potrebno razumeti kompleksnost interakcij presnovnega odziva na vadbo in prehranskih strategij za izboljšanje funkcionalne, imunske in presnovne zmogljivosti posameznika. Upoštevanje priporočil športne prehrane, kot nadgradnje splošnih priporočil za aktiven življenjski sloga, pa je namenjeno tudi preprečevanju morebitnih negativnih učinkov in zdravstvenih posledic telesne dejavnosti.

## UVOD

Skeletne mišice predstavljajo 45 % celotne telesne mase. Zato presnovni odziv na telesno dejavnost predstavlja največji delež v posameznikovi energijski in prehranski potrebi. Telesna dejavnost izzove kompleksen in zelo nadzorovan fiziološki odziv, ki ga usklajujejo različni organski sistemi. Skupaj omogočajo povečanje energijske presnove, oskrbo s kisikom

in hranili, potrebnimi za delovanje skeletnih mišic, promet presnovnih stranskih produktov in termoregulacijo (1). Telesna dejavnost tako močno vpliva na energijsko ravnovesje posameznika. Energija, porabljena s telesno dejavnostjo, je odvisna od stopnje telesne dejavnosti in presnovnega stanja posameznika. Pri splošni populaciji običajno predstavlja približno od 20 do 30 % celotne porabe energije. Pri telesno bolj dejavni populaciji in posameznikih z zelo nizko zmogljivostjo pa tudi več.

Na presnovni odziv imajo kompleksen vpliv tudi mediatorji, ki se sproščajo iz skeletnih mišic in jih na splošno opredelimo z imenom miokini. Njihov vpliv na delovanje organizma je poleg vadbenih prilagoditev tudi podlaga za zdravstvene učinke telesne dejavnosti (2). V sedanjem času epidemije COVID-19 pa je posebej pomemben pozitiven učinek na imunski sistem (3).

## **IZHODIŠČA ZA PREHRANSKE POTREBE PRI TELESNI DEJAVNOSTI**

Stopnja in obseg telesne dejavnosti preko vpliva na presnovo določata prehranske potrebe posameznika. Elitni tekmovalni športniki imajo praviloma drugačne prehranske potrebe v primerjavi z rekreativci ali osebami, ki se ukvarjajo s telesno dejavnostjo iz zdravstvenih razlogov, ni pa vedno tako. Na splošno velja, da posamezniki, ki vadijo nizko ali zmerno intenzivno 30–45 minut manj kot petkrat na teden, nimajo prehranskih potreb, ki bi bile drugačne od sedeče populacije, saj je to relativno majhno količino vadbe mogoče razumeti kot običajno telesno dejavnost (4). Glede na isti vir pa se posamezniki, ki sledijo priporočilom svetovne zdravstvene organizacije za telesno vadbo za zdravje, že uvrščajo med rekreativne športnike. Njihove prehranske potrebe se glede na količino in intenzivnost vadbe tako odmikajo od splošnih priporočil javnega zdravja za prehrano.

Znanstvene ugotovitve o osnovnih mehanizmih različnih fizioloških, molekularnih in celičnih pojavov, ki jih povzročajo vadba, vključno s procesom okrevanja, so podlaga za prehranske strategije pri telesni dejavnosti. Ključni cilji te prehranske podpore so (5):

- zagotoviti presnovna goriva (hranila), ki bodo omogočila energijsko podporo v pravi količini in ob pravem času za potrebe specifične vadbe;
- zagotoviti ustrezne količine beljakovin v pravem trenutku kot del ustreznih obrokov in ob primernem času, glede na vadbo in tekmovanje;
- zagotoviti zadostno energijsko dostopnost za regeneracijo;
- spodbujati vadbene prilagoditve, vključno s hipertrofijo mišic;
- ohranjanje dobrega počutja in zdravja.

Vnos presnovnih substratov s hrano ima takojšnje in dolgoročne učinke na počutje, zdravje in zmogljivost (6). Ker prehrana neposredno vpliva na ključne elemente zdravja in zmogljivosti posameznika, se je treba zavedati drugih dejavnikov, ki vplivajo na prehrano, kot so družbeni in kulturni vplivi ter osebnost športnika.

Odvisno od potreb posameznika strateško prilagojena poraba ključnih hranilnih substratov omogoča vpliv na atletske sposobnosti in regeneracijo, elitnim športnikom pa omogoča, da dosežejo svoj polni genetski potencial (7).

## **PORABA ENERGIJE MED TELESNO DEJAVNOSTJO**

Razumevanje energijskih procesov, ki omogočajo telesno dejavnost, je izhodišče za razumevanje prehranske podpore med vadbo in prilagajanje prehranskih vnosov. Na osnovi teh znanj tudi razumemo prilagajanje prehrane od splošnih priporočil javnega zdravja k prehranskim priporočilom za telesno dejavnost.

***Energijo, potrebno za telesno vadbo, lahko telo proizvede z anaerobno (neodvisno od kisika) in aerobno presnovo (odvisno od kisika).*** Kateri presnovni sistem bo uporabljen, poleg presnovnega stanja posameznika v glavnem določajo intenzivnost, trajanje in vrsta telesne dejavnosti. Pri vadbi nizke intenzivnosti praviloma potrebno energijo skoraj

izključno zagotavlja aerobni sistem. Z naraščanjem intenzivnosti vadbe postaja vloga anaerobnih sistemov vse pomembnejša.

Ločevanje med aerobnim in anaerobnim energetskim sistemom pa je pri športni dejavnosti zelo zabrisano, ker sta v večini primerov oba sistema vključena hkrati. Še posebej je ta meja neostro pri netreniranih in pri bolnikih, kjer se anaerobni sistem lahko vklaplja zelo zgodaj. Ko razpravljamo o prehodu med aerobnim in anaerobnim sistemom, je potrebno razumeti tudi, da je pojem »anaerobno« vezan predvsem na hitrost presnovnih odzivov, ki jih zahteva izvedba telesne dejavnosti. V mišicah se tako lahko laktat tvori v prisotnosti kisika, ki ga je v zraku vedno zadosti, saj največja aktivnost glikolitičnih encimov presega največjo zmogljivost oksidativne presnove (8). Vloga povečane hitrosti glikolize je zagotavljanje dodatnega ATP poleg njegove tvorbe pri popolni oksidaciji glukoze. Pri teh procesih se kopičijo razpadni produkti mlečne kisline ( $H^+$  ioni in laktat), ki prispevajo k poslabšanju puferske sposobnosti mišičnih celic in znižuje pH. Odziv anaerobne presnove na telesno obremenitev lahko merimo preko koncentracije laktata v krvi. Pri tem stanju se razvijejo motnje znotrajceličnega kislinsko-bazičnega ravnovesja in celične presnove, kar poslabša kontraktilno sposobnost mišic. Takšne mišične celice potrebujejo ure, da si opomorejo in ponovno vzpostavijo kislinsko-bazično in prehransko ravnotežje. V osnovi traja vsaj en dan za popolno regeneracijo zaloga glikogena s prehranskim vnosom ogljikovih hidratov in drugih hranil, ki so pomembna za okrevanje in presnovno prilagajanje stresnemu metabolizmu, ki ga povzroča vadba. Zato je pri uvajanju telesne dejavnosti v zdravstveno dejavnost nujno hkratno uvajanje ustreznih ukrepov športne klinične prehrane, sicer je presnovni odziv na telesno vadbo lahko moten in pri vadbi, ki ni energijsko in hranilno podprta, tudi zdravstveno škodljiv.

Prav tako je pri vsakršni vadbi potrebno razumeti **pomen ogrevanja** za doseganje optimalnih učinkov vadbe. Aerobni proces oksidativne fosforilacije se namreč popolnoma aktivira po 2–3 minutah telesne aktivnosti. Na začetku aerobne vadbe se poraba kisika počasi povečuje, čeprav se energijske potrebe takoj povečajo. V praksi se ta primanjkljaj energije oskrbuje z anaerobno presnovo (glikoliza), zato je potrebno vsako vadbo pričeti s tempom, ki ni prenaporen, da se že na začetku vadbe ne doseže

previsoke ravni laktata. To izhodišče je pomembno tudi pri vadbi netreniranih posameznikov. Prehud občutek napora je namreč za marsikoga tudi razlog, da z vadbo preneha.

## BIOKEMIČNE OSNOVE VADBE

Energija, potrebna za delo, ne izvira neposredno iz zaužitih makrohranil. To je pogosta zmotna, ki jo na primer promovirajo tudi zagovorniki različnih diet. V energijski presnovi se uporabljajo energijsko bogate spojine **adenozin-trifosfat (ATP)**, ki se tvorijo iz presnove različnih hranil za celične potrebe. V reakciji med molekulami ATP in vode (hidroliza ATP v ADP – adenzin-difosfat), ki jo katalizira encim ATPaza, se zadnja fosfatna skupina odcepi in sprosti približno 7,3 kcal proste energije (tj. energije, ki je na voljo za presnovno delo). Posledično se ATP imenuje visokoenergijska fosfatna spojina. Razgradnja ATP ustvarja energijo za hitro uporabo in ne potrebuje kisika. Da so ta izhodišča praktično pomembna, nam ponazarja že primer prehoda iz sedenja na stolu v hojo, kar povzroči približno štirikratno nenadno povečanje prenosa energije. Kadar pa nato iz hoje preidemo v hitri tek, se energijske potrebe v aktivni mišici nenadno povečajo za približno 120-krat (9). Vsaka pospešitev energetske presnove zahteva skoraj v trenutku razpoložljivost ATP in tudi pot za njegovo hitro ponovno sintezo. Ker je v mišičnih celicah prisotna le majhna količina ATP (približno 5 mmol/kg ali 3,4 g/kg), ima povprečna oseba z 20 kg mišične mase na voljo skupaj približno 70 g ATP (9). Hitri tek na primer zahteva približno 2,7 mmol/kg na sekundo in ker je na voljo le 5 mmol/kg ATP, ga je treba hitro ponovno sintetizirati, da podpira vadbo, ki traja več kot nekaj sekund (10).

Drugi vir lahko dostopne energije je prisoten v obliki **kreatin fosfata** (ang. creatin phosphat, CP), znan tudi kot fosfo-kreatin. CP velja za »rezervoar« visokoenergetskih fosfatnih vezi in je v mišični celici prisoten v koncentraciji, ki je približno 3–4-krat večja od koncentracije ATP (~ 17 mmol/kg mišičnih celic). Za razliko od ATP se energija, ki se sprošča pri razgradnji CP, ne uporablja neposredno za opravljanje celičnega dela. Namesto tega obnavlja ATP, da ohrani relativno konstantno oskrbo (10). Po 5–10

sekundah intenzivne telesne dejavnosti se skladiščenje CP izčrpa in je treba uporabiti drugo gorivo.

**Ogljikovi hidrati (glukoza v krvi in v obliki glikogena iz mišic ali jeter)** so edina makrohranila, katerih potencialna energija lahko ustvari ATP anaerobno in aerobno (8):

- Anaerobni proces izrabe glukoze/glikogena se pojavi v citoplazmi celice, zunaj mitohondrija, in se imenuje »anaerobna glikoliza« ali »pot mlečne kisline za proizvodnjo energije«. Ta pot pridobivanja ATP je sicer energijsko nesmotna, ker med tem procesom iz vsakega ostanka glukoze, ki izvira iz glikogena, nastanejo 3 molekule ATP in iz vsake molekule glukoze nastane 2 molekuli ATP. Anaerobna glikoliza prispeva energijo med intenzivnim naporom, ki traja največ 1–2 minuti in ne more proizvajati energije za dolgotrajnejše dejavnosti. Poleg tega proizvodnja mlečne kisline ne vpliva samo na zmanjšanje Ph v celici in sistemsko, temveč poslabša tudi delovanje glikolitičnega sistema in zmanjša sposobnost vezave kalcija mišičnih vlaken, kar lahko ovira krčenje mišic (11). Za proizvodnjo energije v količinah, ki zadostujejo za vzdrževanje mišične aktivnosti, daljše od 2 minut, je potrebna takšna hitrost presnove, da se ATP lahko tvori po oksidativni poti.
- Aerobna pot lahko zagotovi tudi ATP s presnovo maščob in beljakovin. Trigliceride v zalogah maščobne energije je treba hidrolizirati (lipoliza) v maščobne kisline in glicerol. V skeletnih mišicah se uporabljajo predvsem maščobne kisline, sproščene iz maščobnega tkiva. Majhna količina jih izvira iz plazme in intramuskularnih trigliceridov. Glicerol zagotavlja tudi ogljikovo okostje za sintezo glukoze v procesu glukoneogeneze.

**Beljakovine oziroma njihovi sestavni deli (aminokisline)** se lahko uporabljajo kot nadomestni vir energije. Oksidacija aminokislin kot goriva se poveča takrat, kadar zmanjka glikogena ali glukoze ni na voljo za energijsko presnovo. V normalnih pogojih oksidacija aminokislin med dolgotrajno vadbo ne predstavlja več kot 5 % energetskih potreb (8). Aminokisline se lahko pretvorijo v presnovke acetil-CoA ali Krebsovega cikla,

da vstopijo v oksidativni proces, ali v glukozo, ko so zaloge glikogena majhne (glukoneogeneza).

**Maščobe** predstavljajo vir energije pri aerobni poti tvorbe energije, torej pri nižji intenzivnosti. Ker so zaloge maščevja v telesu praviloma velike, je dodaten vnos maščob s hrano redko potreben.

### **Intenzivnost vadbe in doprinos različnih energijskih substratov**

Ogljikovi hidrati (mišični glikogen in glukozo v plazmi) in maščobe (plazemske maščobne kisline in intramuskularni trigliceridi) so glavni vir energije med vadbo. Delež njihovega prispevka k porabi energije je v veliki meri odvisen od intenzivnosti in trajanja uporabe substrata (12).

**Med vadbo z nizko intenzivnostjo** (25 % največjega vnosa kisika –  $VO_{2max}$ ), kar ustreza hoji pri 4–5 km/h, večino energije potrebuje oksidacija maščobnih kislin, pri čemer več kot 85 % te količine izvira iz plazme (11).

**Ko se intenzivnost vadbe poveča na zmerno raven (65 %  $VO_{2max}$ )**, se razpoložljivost plazemskih maščobnih kislin zmanjša, medtem ko se intramuskularna oksidacija trigliceridov poveča. Na tej ravni plazemske maščobne kisline in intramuskularni trigliceridi enako prispevajo k skupni oksidaciji maščob. Čeprav je skupna oksidacija maščob najvišja pri tej stopnji vadbe ( $> 40 \mu\text{mol/kg/min}$ ), maščob ni mogoče oksidirati z dovolj visoko hitrostjo, da bi zagotovila vso potrebno energijo. Posledično je približno polovica vseh energijskih potreb pokrita z oksidacijo ogljikovih hidratov (mišični glikogen in glukozo v krvi) (13). Pri intenzivnosti napora 65 %  $VO_{2max}$  intramuskularni trigliceridi postanejo glavni vir maščobnih kislin za oksidativne energijske procese. Dostopnost maščobnih substratov iz maščobnega tkiva se zmanjšuje, zato se pri tej intenzivnosti vadbe maščobne kisline nekako »ujamejo« v maščobnem tkivu, dodaten razlog je tudi zmanjšana prekrvavitev zaradi redistribucije krvnega obtoka ob višji intenzivnosti vadbe (14). Zaradi tega razpoložljivost plazemskih maščobnih kislin upada kljub ohranjanju visoke stopnje lipolize iz adipocitov.

**Ko intenzivnost vadbe doseže 85 % VO<sub>2</sub>max**, se absolutna stopnja oksidacije maščobe zmanjša (od > 40 μmol/kg/min na ~ 30 μmol/kg/min), oksidacija ogljikovih hidratov pa zagotavlja več kot dve tretjini potrebne energije. Prednost presnove ogljikovih hidratov med visoko intenzivno vadbo je v njeni dvakrat hitrejši zmogljivosti prenosa energije v primerjavi z maščobnimi kislinami (15). Zato pri vadbi z nizko intenzivnostjo maščoba prevladuje kot energetskega substrata, medtem ko pri vadbi z visoko intenzivnostjo ogljikovi hidrati predstavljajo glavno gorivo za izrabo. Za tiste, ki so slabo trenirani in/ali imajo slabo izražene presnovne prilagoditve za uporabo maščob kot energijskega substrata, ker vadijo pri previsoki intenzivnosti, je tako zadostna dostopnost ogljikovih hidratov med vadbo ključnega pomena za energijsko presnovo. Opisane prilagoditve predstavljajo tudi fiziološko ozadje za rek, da »maščoba izgoreva v ognju ogljikovih hidratov« in so podlaga za ustrezne prehranske vnose pri telesni dejavnosti ter so pomembne tudi za vadbo oseb s preveliko maščobno maso.

Pri načrtovanju prehrane med telesno dejavnostjo je potrebno upoštevati tudi **trajanje vadbe**, kajti vzorec uporabe substrata se s časom spreminja, tudi če intenzivnost vadbe ostane konstantna. Čim daljši je čas vadbe, večji je prispevek maščob kot energijskega substrata. Običajne stopnje oksidacije maščob so med 0,2 in 0,5 g/min, po 6 urah teka pa so poročali o vrednostih nad 1,0–1,5 g/min (13). Povečana oksidacija maščob, ki lahko prispeva do 90 % celotne porabe energije, je posledica zmanjšanja zaloga glikogena v mišicah v poznejših fazah dolgotrajne vadbe (9). Povečana stopnja oksidacije maščob je posledica povečanja ravni kateholaminov v krvi (adrenalina in noradrenalina) in zmanjšanja ravni insulina v obtoku. Kateholamini igrajo vlogo pri spodbujanju procesa lipolize, insulin pa ga zavira.

Kljub povečanemu izkoristku maščobnih substratov, samo oksidacija maščob ne more popolnoma zadostiti energijskim potrebam pri višji intenzivnosti vadbe. Ko se zaloge glikogena izčrpajo, glukoza v krvi postane primarni, a skromen vir energije. Brez dodajanja eksogenih ogljikovih hidratov telo ne more podpreti zahtevane stopnje proizvodnje energije in zelene ravni zmogljivosti. To je verjetno glavni vzrok utrujenosti. Ko se koncentracija glikogena v jetrih in mišicah močno zmanjša, v vsakodnevni



praksi to običajno opišemo, da »**se zaletimo v steno**«, četudi je mišicam na voljo dovolj kisika in skoraj neomejena razpoložljivost shranjene maščobe za proizvodnjo energije.

## **PRILAGODITVE V PRESNOVNEM IN FIZIOLOŠKEM SISTEMU SO ODVISNE OD VRSTE VADBE**

**Redne ponovitve telesne dejavnosti**, ki se izvajajo v daljšem časovnem obdobju, povzročijo prilagoditve v pljučnem, srčno-žilnem in živčno-mišičnem sistemu, kar izboljša dovajanje kisika v mitohondrije in nadzor nad presnovo v mišičnih celicah. Te spremembe omogočajo vadbene prilagoditve, ki se kažejo kot povečana zmogljivost (16). Prilagoditve vzdržljivostne vadbe vključujejo tudi povečanje velikosti mitohondrijev in število aerobno treniranih vlaken skeletnih mišic (izboljšanje njihove sposobnosti za proizvodnjo ATP z oksidativno fosforilacijo), povečanje števila encimov aerobnega sistema (kar omogoča manjše kopičenje laktata med vadbo), izboljšano sposobnost oksidacije trigliceridov, shranjenih v aktivni mišici, in sorazmerno zmanjšanje porabe mišičnega glikogena in glukoze v krvi (17, 18).

**Telesne dejavnosti, ki zahtevajo visoko raven anaerobnega metabolizma**, izboljšujejo energijske sisteme za takojšnjo in kratkoročno tvorbo ATP ter imajo majhen vpliv na aerobno presnovo. Prilagajanje anaerobne vadbe vključuje povečano intramuskularno raven anaerobnih substratov (adenozin trifosfat (ATP), fosfokreatin, glikogen), povečano količino in aktivnost encimov, ki nadzorujejo anaerobno fazo razgradnje glukoze (fosfofruktokinazo, laktat dehidrogenazo), povečano sposobnost tvorbe in prenašajo visoke ravni laktata v krvi med največjo vadbo. Ker so ta energijska izhodišča podlaga za vadbo proti uporu in vadbo moči, je zelo pomembno, da se pri terapevtskih ukrepih za zdravljenje sarkopenije zagotovijo priporočeni dnevni in na vadbo naravnani vnosi ogljikovih hidratov.

Če povzamemo, vadba ne spremeni skupne količine porabljene energije, temveč razmerje med deleži energije, pridobljene iz ogljikovih hidratov in maščob, tako da se tvorba energije, pridobljena iz maščob, med aerobnim

treningom poveča, doprinos energijskih virov iz ogljikovih hidratov pa se zmanjša. Zato lahko bolj trenirane osebe tudi uspešneje uporabljajo maščobne zaloge. Ta spoznanja so tudi podlaga za razlago eksperimentov, ki so prikazali, da že redna vadba brez zmanjševanja običajnega vnosa energije (»ad libidum«) povzroči zmanjševanje maščobne mase. Pri odraslih moških s prekomerno telesno maso, ki so povečali raven telesne aktivnosti z 1,7 na 1,9 PAL (ang. Physical exercise level) so v 8-tedenskem obdobju povzročili dolgotrajno negativno energijsko bilanco, pri čemer niso spremenili »ad libidum« vnosa energije (19).

Presnovne prilagoditve telesne vadbe tako ob ustrezni prehranski podpori preko opisanih mehanizmov izboljšujejo presnovno učinkovitost in pripomorejo k vzdrževanju funkcionalne mase telesa. Na ta način, skupaj z neposrednimi učinki vadbe na telo preko miokinskih mehanizmov, izboljšujejo zdravje posameznika in omogočajo učinkovitejšo obvladovanje različnih bolezenskih stanj, predvsem debelosti in drugih kroničnih nena-lezljivih bolezni.

## **RED SINDROM**

Upoštevanje fizioloških zakonitosti energijske presnove predstavlja eno izmed ključnih izhodišč za vpliv telesne dejavnosti na zdravje in zmogljivost posameznika. V zadnjih letih se uveljavlja izraz sindrom »relativnega pomanjkanja energije v športu« (ang. Relative energy deficiency in sports syndrome, RED-S), s katerim opisujemo oslavljen fiziološki odziv na vadbo v povezavi z nezadostnim pokritjem energijskih potreb za telesno dejavnost (20). Nastane zaradi pomanjkanja energije (ang. energy deficiency, ED), ki je posledica neravnovesja med vnosom energije s prehrano (ang. energy intake, EI) in njeno razpoložljivostjo (ang. energy availability, EA) za vzdrževanje zdravja in aktivnosti vsakodnevnega življenja, rast in telesne dejavnosti. EA vpliva predvsem na hitrost presnove, menstrualno funkcijo, gostoto kostne mase (BMD), imunost, sintezo beljakovin, presnovo maščob in zdravje srca in ožilja.

Patofiziološko ozadje RED-S predstavlja podaljšanje kliničnega sindroma, ki je bil prej opisan kot »ženska atletska triada« (tudi »triada«). Na osnovi raziskovalnih dokazov o zdravstvenih posledicah nizke EA (ang. Low energy availability, LEA) je leta 2014 Mednarodni olimpijski komite objavil konsenz in vpeljal termin RED-S, s katerim opredeljuje negativen vpliv LEA na zdravje in zmogljivost pri telesni dejavnosti (20). Prevalenca RED-S se med različnimi športi bistveno razlikuje. V zadnjih letih poročajo tudi o prevalenci več kot 10 % med rekreativnimi športniki (21). Verjetno te številke predstavljajo le vrh ledene gore zdravstvenih problemov, ki so velikokrat tudi posledica splošne naravnosti po »hujšanju«. Številni posamezniki, tako zdravi kot tudi s kroničnimi nenalezljivimi boleznimi, se zaradi kombinacije splošnega ideala vitke linije in težnje javnega zdravja po »idealnem« indeksu telesne mase, nespametno lotevajo kombinacije telesne vadbe in različnih diet (21, 22).

Ključni patogenetski mehanizem RED-S je torej LEA za podporo telesnim funkcijam, ki sodelujejo pri optimalnem zdravju in zmogljivosti, kadar količina energije, porabljena za vadbo in regeneracijo, presega skupni vnos energije in zato organizem črpa telesne zaloge, kot sta mišično in maščobno tkivo (20). To lahko vodi tudi v izgubo nemaščobne ali puste telesne mase, kar vodi v zdravstvene probleme ali pa jih pri določeni populaciji, kot so starostniki ali kronični bolniki, še pogloblja. EA se pri zdravih posameznikih izračuna kot EI minus poraba energije pri vadbi glede na telesno maso brez maščob (ang. fat free mass, FFM). Vrednosti EA, ki ustrezajo presnovnim, fiziološkim in kliničnim posledicam RED-S, si danes predstavljamo kot individualno pogojene vrednosti v spektru energijskih vrednosti, ki se gibljejo od vrednosti 45 kcal/kg FFM/dan do približno najmanj > 30 kcal/kg FFM/dan. LEA vodi v zmanjšanje bazalne porabe energije telesa in povzroča motnje v vrsti hormonskih in presnovnih procesov ter se odraža z različnimi funkcionalnimi stanji. Ker je pogosto pri razvoju RED-S prisoten tudi razvoj podhranjenosti, klinične slike lahko sovpadajo tudi s simptomi in znaki podhranjenosti. Zaenkrat raziskav o pragu za LEA pri kroničnih bolnikih, ki imajo lahko spremenjeno hitrost bazalne presnove, še nimamo. V večini primerov je LEA povezana z neko obliko neurejenega prehranjevanja, v nekaterih situacijah pa je povezana z nerealnimi ocenami glede nizke skupne telesne maščobe, nezmožnostjo

upoštevanja pravilne prehranjevalne strategije zaradi skrajne predanosti telesni vadbi ali pa je prisotno pomanjkanje znanja o pravilni prehrani pri telesni dejavnosti.

## ZAKLJUČEK

Za zdravstvene učinke telesne vadbe je potrebno vzpostaviti sinergijo med energijskimi in hranilnimi potrebami telesne dejavnosti ter presnovnimi potrebami posameznika. Pri tem izhajamo iz splošnih, javnozdravstvenih priporočil za prehrano in upoštevamo priporočila klinične prehrane za specifične populacije in bolnike. Ta strokovna izhodišča omogočajo načrtovanje osnovne prehrane, ki jo nato prilagodimo in ustrezno nadgradimo glede na energijske in hranilne potrebe telesne dejavnosti. Pri načrtovanju prehranske strategije ob telesni vadbi izhajamo iz strokovnih priporočil športne prehrane, ki so osnovana na fiziološkem odzivu na specifično telesno dejavnost. Na ta način lahko vzpostavimo sinergijo med prehranskimi vnosi in zdravstvenimi učinki telesne vadbe ter se izognemo različnim zdravstvenim težavam, predvsem razvoju RED-S. Ker je optimalno načrtovanje prehrane in tudi telesne vadbe posameznika klasičen primer personalizirane medicine, je za doseganje preventivnih in kurativnih učinkov prehrane ter telesne vadbe potrebna strokovno podkrovana individualna prehranska in gibalna obravnava posameznika.

## LITERATURA

1. Garber C. E., Blissmer B., Deschenes M. R. et al. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.*, 2011; 43: 1334–59.
2. Scientific report – 2018. Physical Activity Guidelines Advisory Committee. Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report. Washington, DC: U. S. Department of Health and Human Services, 2018. Dostopno na: <https://health.gov/paguidelines/second-edition/report/>.
3. Walsh N. P., Gleeson M., Shephard R. J. et al. Position statement. Part one: Immune function and exercise. *Exercise immunology review*, 2011; 17: 6–63.

4. WHO, 2020. Physical activity. Geneva, World Health Organization. Dostopno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>.
5. International Olympic Committee (IOC) consensus statement on sports nutrition, 2010. *J. Sports Sci* 2011; 29 (SI): S3–S4.
6. Cederholm M., Barazzoni R., Austin P., Ballmer P., Biolo G., S. Bischoff S. et al. Espen guidelines on definitions and terminology of clinical nutrition, *Clinical Nutrition*, 2017; 36: 49–64. Dostopna na: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.09.004>.
7. Hargreaves M. Exercise physiology and metabolism. In: Burke L., Deakin L. *Clinical sports nutrition* 3rd ed. Sydney: McGraw-Hill, 2006.
8. Knuttgen H. G., Komi P. V. Basic consideration for exercise. In: Komi P. V. (eds), 2nd ed. *Strength and power in sport*, 2003. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
9. Mc Ardle, Katch F. I., Katch W.L. *Essentials of exercise physiology*: Lippincott Williams & Wilkins, 2000.
10. Karlsson J. In *Muscle ATP, CP, and Lactate in Submaximal and Maximal Exercise*. In Pernow and Saltine (1971) *Muscle Metabolism During Exercise*. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1971; 11: 383–393.
11. Wilmore J. H. CD. *Physiology of sport and exercise: Human Kinetics*, 2004.
12. van Baak M. A. Physical activity and energy balance. *Public Health Nutr*, 1999; 2 (3A): 335–9.
13. Romijn J. A., Coyle E. F., Sidossis L. S., Gastaldelli A., Horowitz J. F., Enderit E. et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J. Physiol*, 1993; 265 (3 Pt 1): E380–91.
14. Hodgetts V., Coppack S. W., Frayn K. N., Hockaday T. D. Factors controlling fat mobilization from human subcutaneous adipose tissue during exercise. *J. Appl Physiol*, 1991; 71 (2): 445–51.
15. Jeukendrup A. E. High-carbohydrate versus high-fat diets in endurance sports. *Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 2003; 51 (1): 17–23.
16. Jones A. M., Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med.*, 2000; 29 (6): 373–86.
17. Wibom R., Hultman E., Johansson M., Matherei K., Constantin-Teodosiu D., Schantz P. G. Adaptation of mitochondrial ATP production in human skeletal muscle to endurance training and detraining. *J. Appl Physiol* (1985), 1992; 73 (5): 2004–10.
18. Fujimoto T., Kempainen J., Kalliokoski K. K., Nuutila P., Ito M., Knuuti J. Skeletal muscle glucose uptake response to exercise in trained and untrained men. *Med Sci Sports Exerc.*, 2003; 35 (5): 777–83.
19. Melzer K., Kayser B., Saris W. H., Pichard C. Effects of physical activity on food intake. *Clin Nutr.*, 2005; 24 (6): 885–95.

20. Mountjoy M. et al. *Br J. Sports Med.*, 2014; 48: 491–497; doi:10.1136/bjsports-2014-093502 5.
21. Black K., Slater J., Brown R. C. et al. Low energy availability, plasma lipids, and hormonal profiles of recreational athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 2018; 32: 2816–24.
22. Birkenhead K. L., Slater G. A review of factors influencing athletes' food choices. *Sports Medicine*, 2015; 45: 1511–22.